

# **ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»**

## **Отчет по исследованию возможности контроля влажности углеродистого восстановителя (полукокса) с помощью анализаторов влажности (влагомеров) FIZEPR-SW100**

### **1. Введение**

Для определения возможности измерения влажности углеродистого восстановителя (полукокса) применялись лабораторные влагомеры двух вариантов исполнения:

- вариант FIZEPR-SW100.30.2;
- вариант FIZEPR-SW100.30.26.

Оба варианта содержат датчики, выполненные в виде кюветы с размерами 200 x 100 x 100мм. По принципу действия влагомеры FIZEPR-SW100 представляют собой радиоволновый прибор – диэлькометр. Метод измерения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_r$ ) прямой, основанный на измерении коэффициента замедления ( $k_{зам}$ ) электромагнитной волны в контролируемом материале. Связь между коэффициентом замедления  $k_{зам}$  и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r$  для материалов с низкими диэлектрическими потерями описывается следующим выражением:

$$\epsilon_r = (k_{зам})^2 .$$

Коэффициент замедления, называемый также коэффициентом преломления, представляет собой отношение скорости распространения электромагнитной волны в воздухе (т.е. скорости света) к скорости ее распространения в контролируемом материале. Измерения производятся путем зондирования среды радиоволнами на частотах диапазона 2...750МГц. Для нахождения  $k_{зам}$  влагомер вычисляет отношение резонансной частоты датчика в воздухе к его резонансной частоте в контролируемом материале.

Методы формирования указанной выше резонансной частоты датчика во влагомерах FIZEPR-SW100.30.2 и FIZEPR-SW100.30.26 различаются между собой. В влагомере FIZEPR-SW100.30.2 производится оцифровка амплитудного резонанса (резонансной амплитудной характеристики датчика), а во влагомере FIZEPR-SW100.30.26 производится обработка резонансной характеристики, полученной с помощью измерения разности фаз сигналов.

По найденному значению коэффициента замедления процессор влагомера рассчитывает содержание воды с учетом температуры материала. Расчет производится на основе калибровочных таблиц, подготовленных для каждого типа контролируемого материала и записанных в память влагомера.

Предварительными испытаниями установлено, что влагомер FIZEPR-SW100.30.2 не позволяет измерять полукокс из-за высокой электропроводности этого материала. Дальнейшие результаты исследований приведены для влагомера FIZEPR-SW100.30.26.

### **2. Проведение измерений начальной влажности образца материала**

Перед началом эксперимента была измерена фактическая влажность полученного от заказчика образца материала.

Измеряемый влагомером параметр – влажность – представляет собой отношение массы воды, содержащейся в материале, к массе влажного материала и определяется следующим выражением:

$$W = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{в}}} \times 100\%$$

где  $W$  - влажность материала;

$m_{\text{в}}$  - масса образца влажного материала;

$m_{\text{с}}$  - масса того же образца материала после сушки.

Перед началом испытаний была измерена фактическая влажность образца полукокса, полученного от предприятия ООО «Завод углеродистых материалов» Кемеровской области. Контрольное измерение влажности образца выполнялось с помощью анализатора влажности AND ML-50 (см. фотографию на рис.1).

Метод измерения - термогравиметрический. В результате было отобрано и измерено несколько проб, чтобы получить более точное значение влажности. Среднее значение влажности полученного образца полукокса составило 12%. Это значение учитывалось в дальнейших измерениях.



Рис.1. Термогравиметрический анализатор влажности AND ML-50

### **3. Измерение зависимости коэффициента замедления $k_{\text{зам}}$ полукокса от содержания в нем воды**

При дальнейших экспериментах в пробы материала добавляли отмеренные дозы воды, полученную смесь тщательно перемешивали и таким способом получали образцы полукокса с разными значениями влажности. Также часть материала была просушена для увеличения диапазона контролируемой влажности полученного образца.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.26, заполненный полукоксом, показан на рис.2.



Рис.2. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.26

Калибровка (градуировка) влагомера состоит в получении экспериментальной зависимости коэффициента замедления  $k_{зам}$  электромагнитной волны, распространяющейся в материале, от содержания в материале воды. Для получения этой зависимости снимается спектр сигнала датчика и определяется частота резонанса (положение минимума резонансной кривой на оси частот).

Для пустой кюветы частота резонанса  $F_{калиб} = 508$  МГц. При заполнении кюветы полукоксом с влажностью  $W = 12\%$  было получено значение частоты резонанса  $F_{рез} = 152,8$  МГц.

Коэффициент замедления  $k_{зам}$  определяется по формуле:

$$k_{зам} = F_{калиб} / F_{рез} = 3,325.$$

С помощью программы SWPro на экране компьютера отображается спектр сигнала с датчика влагомера. На рис.3 показан спектр (резонансная кривая) для значения влажности 12%.

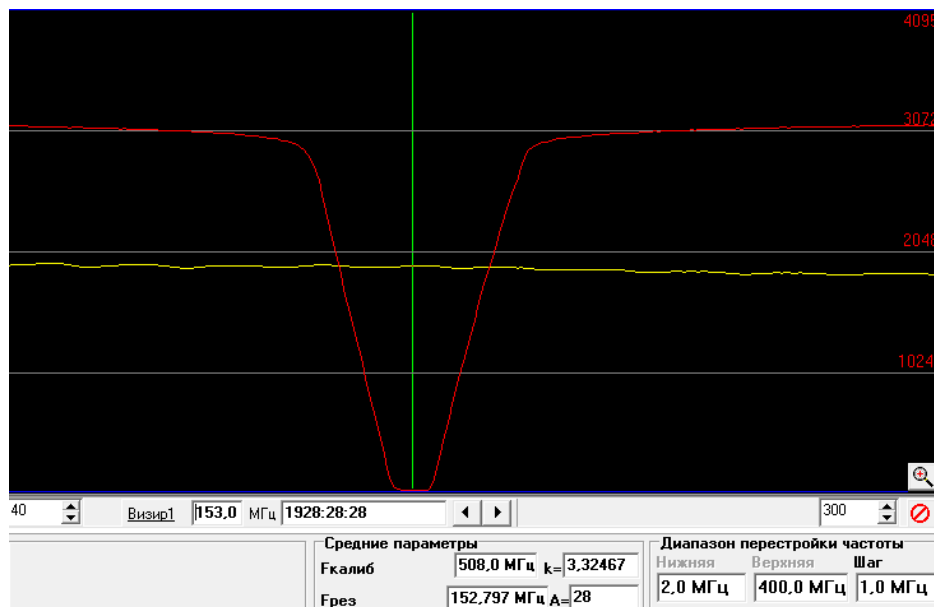


Рис.3. Спектр сигнала с датчика влагомера при заполнении кюветы образцом полукокса с влажностью  $W = 12\%$

После измерения образца с исходной влажностью ( $W= 12\%$ ) он был извлечен из кюветы. Далее в исследуемый материал последовательно добавляли (с тщательным перемешиванием) измеренные количества воды и на каждом этапе проводили измерения  $k_{зам}$ .

Результаты серии таких экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влажность, W, %	$k_{зам}$
8,5	2,847
12	3,325
17	5,45
21	10,25
25	15,45

По результатам таких измерений в память влагомера заносится калибровочная (градуировочная) таблица. Но такая калибровка должна быть уточнена в реальных условиях эксплуатации влагомера, т.е. должна быть учтена насыпная плотность контролируемого материала в месте установки датчика.

## Заключение

В результате проведенных экспериментов установлено, что влагомеры фазового типа серии FIZEPR-SW100.10.X6 на полукоксе работоспособны и могут быть применены для его измерения. Для достижения минимальной погрешности измерений, как и при измерении любого другого сыпучего материала, необходимо обеспечить выполнение ряда условий и требований, указанных ниже.

---

### **Требования к условиям эксплуатации датчика влагомера сыпучих материалов, выбор оптимального места установки датчика**

*Следует отметить, что выполнение указанных ниже условий и требований обязательно и для любых других существующих в мире влагомеров (кроме оптических)*

1) Контролируемая датчиком влагомера область (пространство между электродами датчика, а также вокруг электродов) должна быть полностью заполнена измеряемым материалом. Если вместо контролируемого материала указанная область будет заполнена, хотя бы частично, воздухом или посторонними предметами (мусором), то правильные измерения невозможны.

Указанное требование применительно к датчикам FIZEPR-SW100.10.56, применяемым на конвейере сводится к следующему: толщина (высота) слоя материала на ленте конвейера должна быть такова, чтобы исключить появление воздушной прослойки под «лыжей» (основанием) датчика. Выполнение этого условия возможно только при не слишком высокой скорости конвейера и при толщине слоя материала на ленте – не ниже 10см, причем, ширина слоя при указанной его толщине должна быть не меньше, чем 15см. При

высокой скорости конвейера датчик может разбрасывать материал, что приведет к занижению измеренной влажности, но если с боков датчика и над датчиком будет слой материала с «запасом», то эффект «разбрасывания» материала в ряде случаев удастся скомпенсировать.

2) Количество материала в контролируемом датчиком объеме (области) должно быть примерно одинаковым при всех измерениях, т.е. должна быть стабильна насыпная плотность материала. При изменении насыпной плотности материала меняется масса материала, попавшего в объем пространства, контролируемый датчиком. Соответственно, в указанном объеме вместе с изменением массы материала изменяется и количество воды, на которое реагирует датчик. Это утверждение справедливо для всех существующих в мире влагомеров любого принципа измерения, кроме оптических (инфракрасных) влагомеров. Следует отметить, что в бункере, как показывает практика, насыпная плотность сыпучего материала оказывается наиболее стабильной, поэтому максимальная точность измерения достигается именно на влагомерах варианта FIZEPR-SW100.10.46, установленных в бункерах.

3) При измерении материалов на конвейере необходимо исключить налипания материала, т.к. именно налипший слой будет влиять на результаты измерений. Если налипания исключить нельзя, то для датчиков на конвейере рекомендуется перейти на периодическое измерение, например, 1 раз в 30 секунд или еще реже. При этом датчик следует вводить в поток материала на 5...10 секунд, потом датчик поднимать. С помощью стандартного привода задача легко решается. Вариант такого использования датчика FIZEPR-SW100.10.56 показан на рисунке 4.

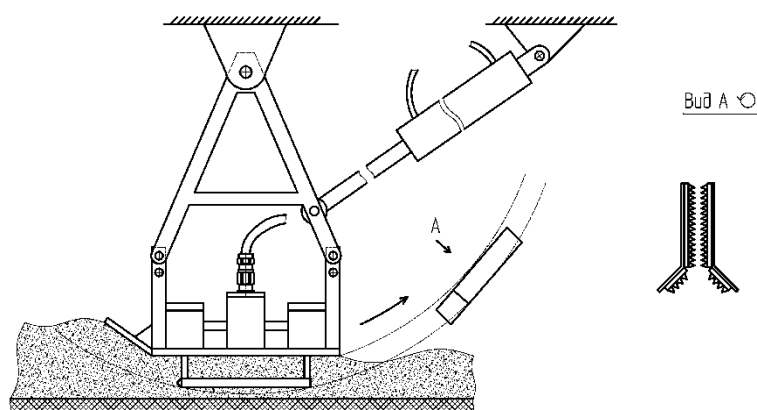


Рис. 4. Пример крепления датчика влагомера FIZEPR-SW100.10.56 над лентой транспортера

Благодаря такому режиму уменьшится налипание материала на датчик. Кроме того, можно сделать так, чтобы при подъеме датчика он проходил между щетками, которые счищают налипший слой.

#### ***Точность измерения влажности сыпучих материалов***

Для сыпучих материалов в бункере и, тем более, на ленте конвейера, измерить влажность с точностью, лучшей, чем 0,4 ...0,5% практически не реально. Причина этого: влияние насыпной плотности материала, которая при взаимодействии датчика и

движущегося материала может меняться в пределах более широких чем, например, при засыпке в бункер.

Отдельную проблему представляет собой также организация процедуры подтверждения точности, которая осложнена тем, что взятие представительной пробы с движущегося конвейера может представлять собой значительные трудности из-за неравномерного распределения влаги, как по длине конвейера, так и по толщине слоя материала. В результате не всегда можно сопоставить с заданной точностью ряд проб, взятых с конвейера и текущее показание влагомера, которое, как правило, представляет собой некое среднее значение за некоторый промежуток времени. По тем же причинам ограничена точность проведения калибровки датчика. Из-за влияния насыпной плотности, калибровка датчиков на неподвижном материале, как правило, сильно отличается от калибровки на движущемся материале. Несмотря на это, при достаточно медленных изменениях влажности можно получить вполне приемлемую точность калибровки, максимально достижимую в данных условиях измерения.

Следует отметить, что налипания материала на установленные в бункере датчики вариантов FIZEPR-SW100.10.46, и на стенки самого бункера вполне допустимы, т.к. измеряется сразу объем материала в сотни литров, а налипает, обычно, не более десяти литров, поэтому налипший материал, в силу его относительно малого объема, на измерения не влияет.

***Итак, для точного измерения влажности сыпучих материалов необходимо:***

- а) обеспечить стабильность насыпной плотности материала в месте размещения датчика;
- б) полностью заполнить датчик контролируемым материалом;
- в) исключить засорения датчика, т.к. если датчик «забьется» материалом, то этот застрявший материал и будет определять показания влагомера.

Пояснение причин влияния на измерения насыпной плотности материала:

измерение любым влагомером (кроме оптических влагомеров) можно представить как измерение суммарного кол-ва воды в объеме, охватываемого при измерениях датчиком. Если в этот объем поместить (утрамбовать) большее количество сыпучего материала, то и воды в этом объеме тоже окажется больше. Соответственно, влагомер покажет большее значение влажности.

Отметим, что на ленте транспортера, особенно при высокой скорости движения ленты, сравнительно сложно обеспечить стабильность насыпной плотности. В бункере, если материал прижат верхним слоем, насыпная плотность стабилизируется и измерения уже получаются более точными.

Ст. инженер ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

Зобнин П.Ю.

23.04.2024