

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

## **Отчет по исследованию возможности контроля влажности угольного концентрата марок «ОС», «КС», «Ж» с помощью анализаторов влажности (влагомеров) FIZEPR-SW100**

### **1. Введение**

Для определения возможности измерения влажности угольного концентрата применялся влагомер варианта исполнения FIZEPR-SW100.30.2. Данный лабораторный влагомер по своим метрологическим характеристикам соответствует поточным влагомерам серии FIZEPR-SW100.10.x.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2 выполнен в виде кюветы с размерами 200 x 100 x 100 мм. По принципу действия влагомеры серии FIZEPR-SW100 представляют собой измерители диэлектрической проницаемости (диэлькометры). 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  $k_{зам}$ , 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. 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.

### **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:

$$W = \frac{m_{\epsilon} - m_c}{m_{\epsilon}} \times 100 \% ,$$

где  $W$  - влажность материала;

$m_{\epsilon}$  - масса образца влажного материала;

$m_c$  - масса того же образца материала после сушки.

Измерение влажности полученных образцов угольного концентрата выполнялась с помощью анализатора влажности AND ML-50 (см. фотографию на рис.1). Метод измерения - термогравиметрический.

В результате просушки образца отобранной пробы угольного концентрата марки «КС» получено значение влажности  $W = 1,9\%$ . Для марки угольного концентрата «ОС» начальная влажность  $W = 1,5\%$ , а для марки угольного концентрата «Ж» начальная влажность  $W = 1,8\%$  Эти значения учитывались при дальнейших измерениях.



Рис.1. Термогравиметрический анализатор влажности AND ML-50

### ***3. Измерение зависимости коэффициента замедления $K_{зам}$ угольного концентрата от содержания в нем воды***

При дальнейших экспериментах в пробы материала добавляли отмеренные дозы воды, полученную смесь тщательно перемешивали и таким способом получали образцы угольного концентрата с разными значениями влажности.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2, который применялся при испытаниях, показан на рис. 2.



Рис.2. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2

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  $F_{калиб} = 633$  МГц. При заполнении кюветы угольным концентратом марки «ОС» с влажностью  $W = 1,5\%$  было получено значение частоты резонанса  $F_{рез} = 408,8$  МГц.

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

$$k_{зам} = F_{калиб} / F_{рез} = 1,548.$$

С помощью программы SWPro на экране компьютера отображается спектр сигнала с датчика влагомера. На рис.3 показан спектр (резонансная кривая) для значения влажности 1,5%.

Следует отметить, что указанное значение было получено при засыпке материала в кювету без его уплотнения, то есть в образце материала содержался воздух. Далее значения коэффициента снимались после уплотнения материала с помощью вибрации, а затем после дополнительного уплотнения с придавливанием материала сверху. Такие действия производились при каждом измерении.

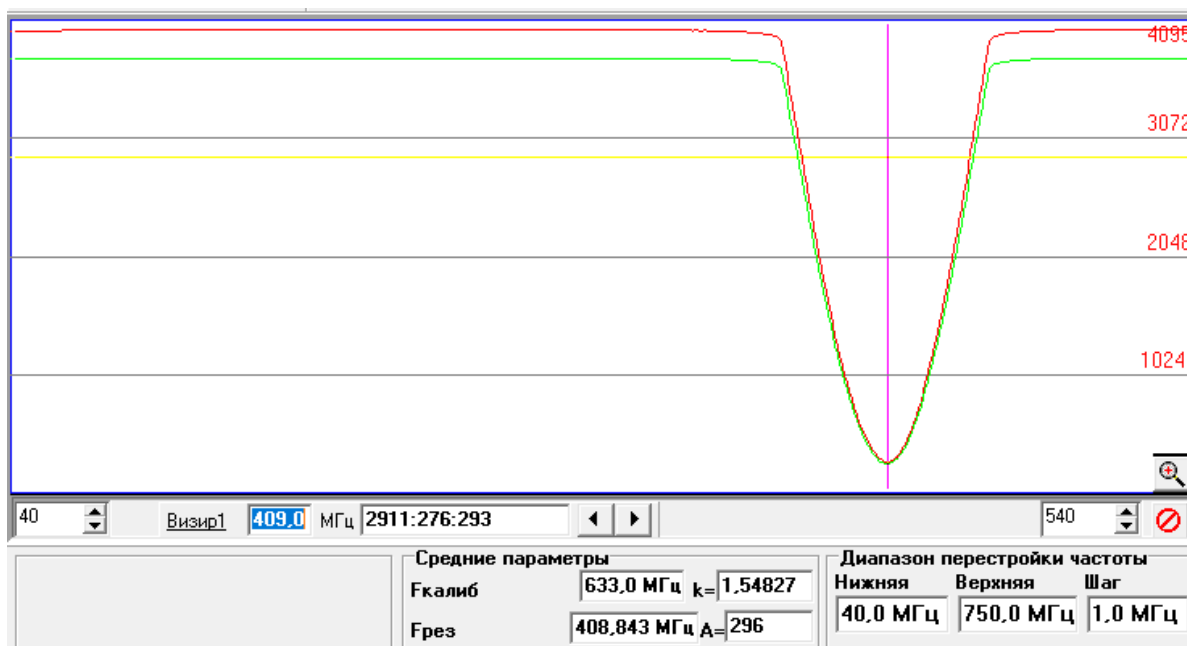


Рис.3. Спектр сигнала с датчика влагомера при заполнении кюветы образцом угольного концентрата марки «ОС» с влажностью  $W = 1,5\%$

После измерения образца концентрата с исходной влажностью ( $W = 1,5\%$ ) 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 для каждой марки угольного концентрата приведены в таблицах 1 - 3, причем, первое значение  $k_{зам}$  приведено для материала без

утрамбовки, второе значение – после утрамбовки, третье – с дополнительной утрамбовкой, с придавливанием сверху.

Угольный концентрат марки «ОС»

Таблица 1

Влажность, W, %	$k_{зам}$		
	материал в кювете не утрамбован	материал в кювете утрамбован	материал в кювете утрамбован и придавлен
1,5	1,55	1,65	1,67
5	1,64	1,72	1,79
8	1,51	1,76	1,95
12	1,65	1,91	2,25

Угольный концентрат марки «КС»

Таблица 2

Влажность, W, %	$k_{зам}$		
	материал в кювете не утрамбован	материал в кювете утрамбован	материал в кювете утрамбован и придавлен
1,9	1,55	1,61	1,65
5	1,59	1,62	1,76
8	1,56	1,71	1,85
12	1,69	1,91	2,18

Угольный концентрат марки «Ж»

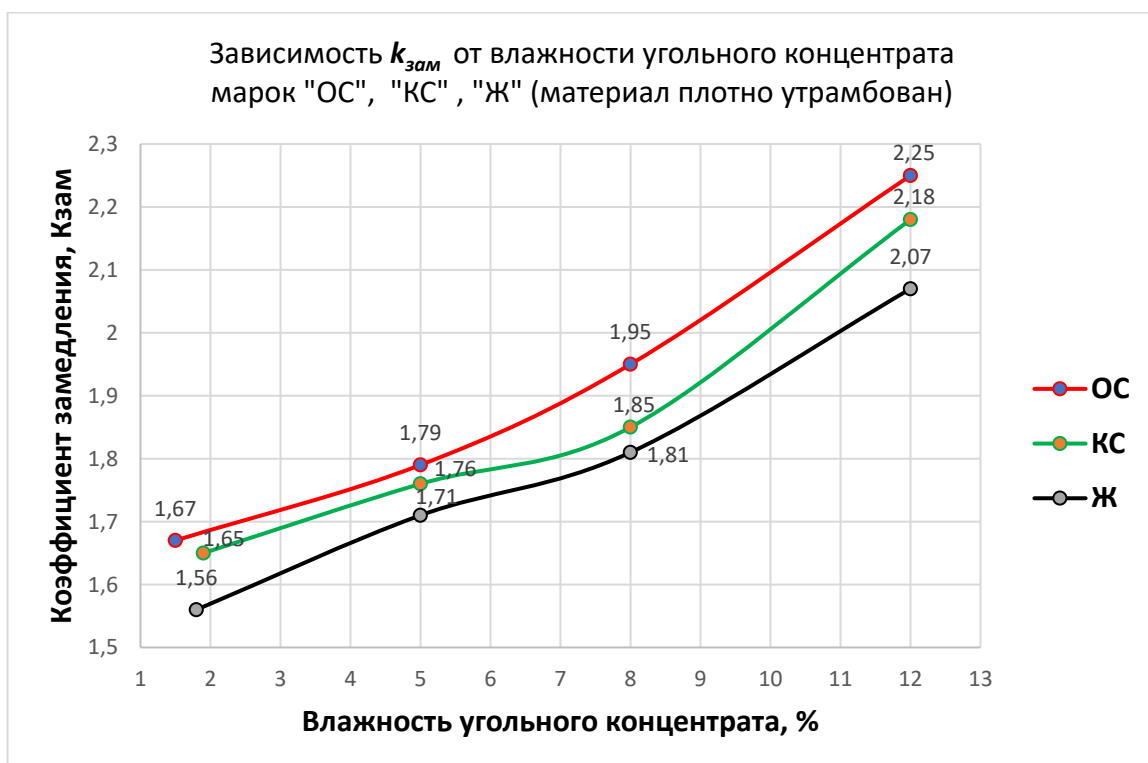
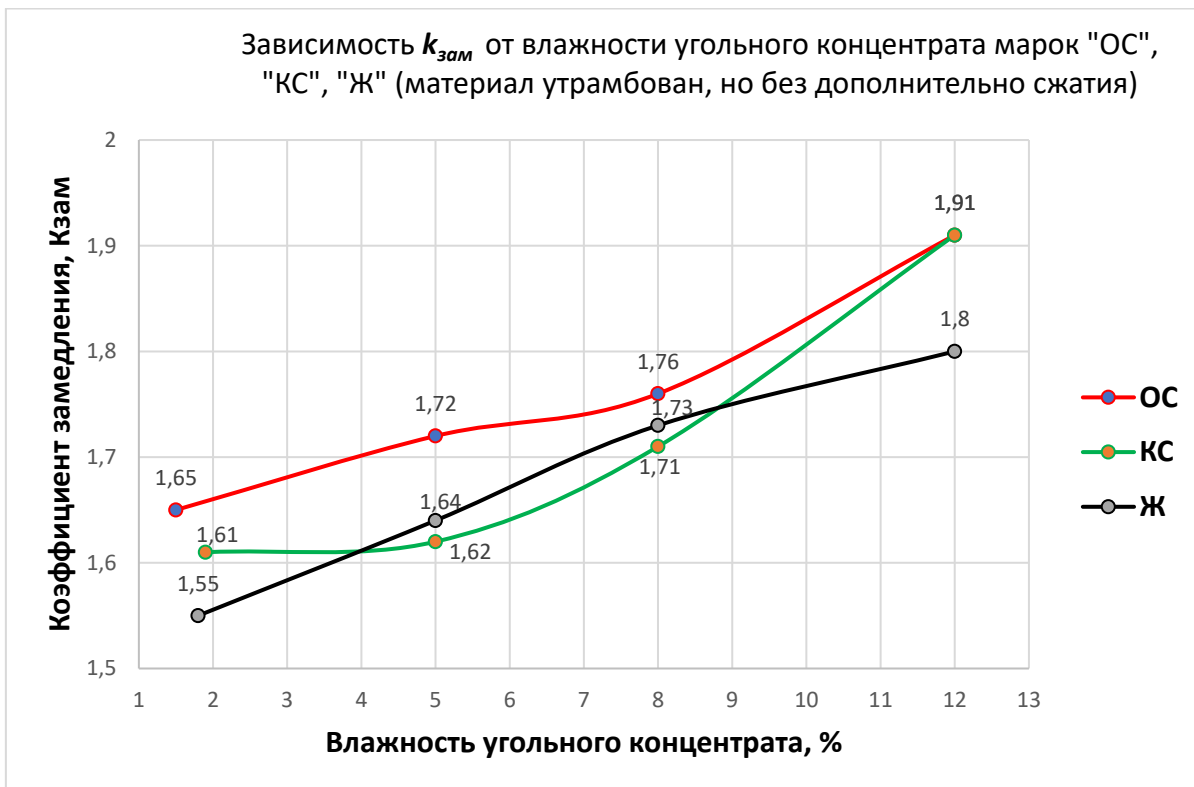
Таблица 3

Влажность, W, %	$k_{зам}$		
	материал в кювете не утрамбован	материал в кювете утрамбован	материал в кювете утрамбован и придавлен
1,8	1,49	1,55	1,56
5	1,58	1,64	1,71
8	1,64	1,73	1,81
12	1,66	1,80	2,07

Монотонная зависимость  $k_{зам}$  от влажности угольного концентрата достигается, когда материал плотно утрамбован (табл.3). Когда же материал засыпан в кювету без утрамбовки и между частицами материала содержится много воздуха, стабильные измерения получить сложно.

Марка угля также оказывает влияние на значения  $k_{зам}$  при одинаковой влажности, поэтому для каждой марки угольного концентрата следует использовать свою калибровку.

Для значений  $k_{зам}$ , полученных в результате измерения плотно утрамбованного концентрата, были построены графики зависимости коэффициента замедления от влажности угольного концентрата.



#### 4. Заключение по результатам исследований

В результате проведенных экспериментов установлено, что для измерения влажности угольного концентрата марок «ОС», «КС», «Ж» могут быть применены влагомеры типа FIZEPR-SW100.10.4, которые предназначены для установки в бункера с металлическими стенками. Для применения влагомеров FIZEPR-SW100.10.4 необходимо

обеспечить выполнение ряда условий и требований, указанных в Приложении ниже. Полный перечень требований к условиям применения влагомеров приведен в Техническом описании и руководстве по эксплуатации на влагомеры FIZEPR-SW100, часть 1 (ред. 3.11).

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

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

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, фрагментами упаковки и т.п.), то правильные измерения невозможны.

2) Исследуемый материал не должен сильно изменяться по своему составу, поскольку для обеспечения стабильных измерений изменяться в материале должно только кол-во воды. При необходимости измерения различных материалов (или однотипных материалов, но с разным составом), требуется переключение калибровок при смене вида материала. Калибровки для каждого вида хранятся в памяти влагомера, создаются и загружаются заранее.

3) Количество материала в контролируемом датчиком объеме (области пространства) 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-SW100.10.4, установленных в бункерах.

Обратите внимание: измерить влажность сыпучих материалов в реальных условиях эксплуатации с точностью, лучшей чем 0,3 - 0,4%, на практике не представляется возможным. Причина этого - влияние насыпной плотности материала. Причем, указанная величина погрешности относится к материалам со стабильным химическим составом. Если же химический состав материала может меняться, то это приводит к дополнительной погрешности.

*Необходимо отметить, что указанные условия обеспечения точности измерения влажности сыпучих материалов обязательны для любых существующих в мире влагомеров (кроме оптических влагомеров, которые измеряют влажность поверхностного слоя).*

Ст. инженер ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

Зобнин П.Ю.

18.04.2024