

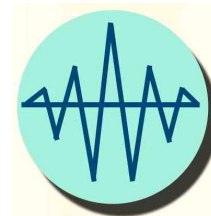
ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

ИНН 6315522386 КПП 631501001

443010, Самара, ул. Галактионовская, 141.

Тел. +7(846) 925-63-53, 359-17-01. E-mail: info@fizepr.ru

Расч. счет 40702810954390101485 в Поволжском банке ПАО Сбербанк
г. Самара. Кор. счет 30101810200000000607. БИК 043601607.



УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Конструкторское
бюро «Физэлектронприбор»

_____ Сизиков О.К.

01.04.2026

ОТЧЕТ

Исследование возможности измерения влажности оксида алюминия (глинозема) с помощью анализаторов влажности (влажномеров) FIZEPR-SW100

1. Введение

Для определения возможности измерения влажности оксида алюминия (глинозема) применялся влагомер варианта исполнения FIZEPR-SW100.30.2. Данный лабораторный влагомер по своим метрологическим характеристикам соответствует поточным влагомерам серии FIZEPR-SW100.1х.х.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2 выполнен в виде кюветы с размерами 200 x 100 x 100мм. По принципу действия влагомеры серии FIZEPR-SW100 представляют собой измерители диэлектрической проницаемости (диэлькометры). Метод измерения диэлектрической проницаемости (ϵ_r) прямой, основанный на измерении коэффициента замедления ($k_{зам}$) электромагнитной волны в контролируемом материале. 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

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;

$m_в$ - масса образца влажного материала;

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

Перед началом испытаний была измерена фактическая влажность образца оксида алюминия (глинозема), полученного из АО «БоАЗ». Контрольное измерение влажности образца выполнялось с помощью анализатора влажности AND ML-50 (см. фотографию на рис.1). Метод измерения - термогравиметрический. В результате получено значение влажности W отобранной пробы глинозема, равное 0,3%. Это значение учитывалось в дальнейших измерениях.



Рис.1. Анализатор влажности AND ML-50 для измерения термогравиметрическим методом

3. Измерение зависимости коэффициента замедления $k_{зам}$ оксида алюминия (глинозема) от содержания в нем воды

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

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

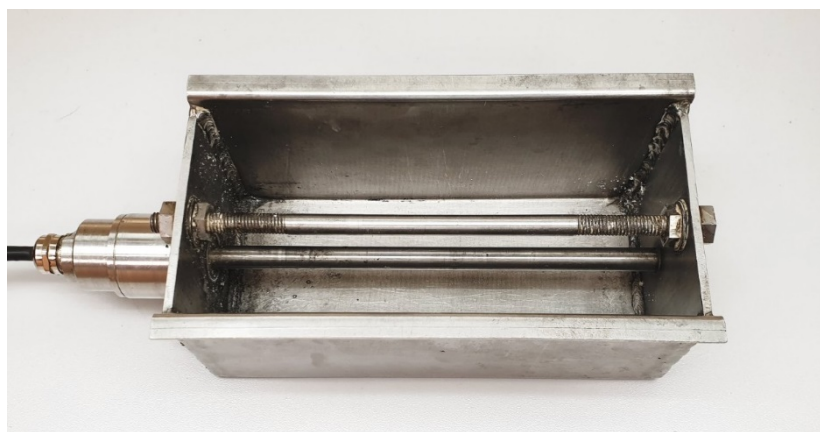


Рис.2. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.2

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 контролируемым материалом с влажностью $W = 0,3\%$ было получено значение частоты резонанса $F_{рез} = 411$ МГц.

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

$$k_{зам} = F_{калиб} / F_{рез} = 1,54.$$

С помощью программы SWMaster на экране компьютера отображается спектр сигнала с датчика влагомера. На рис.3 показан спектр (резонансная кривая) для значения влажности 0,3%.

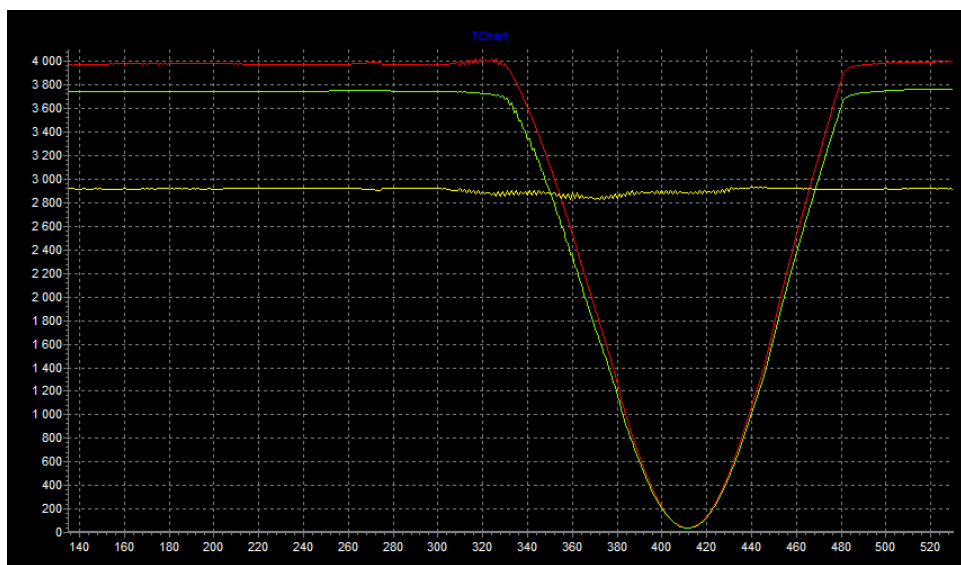


Рис.3. Спектр сигнала датчика влагомера при заполнении кюветы образцом глинозема с влажностью $W = 0,3\%$

После измерения глинозема с исходной влажностью $W = 0,3\%$ образец глинозема был извлечен из кюветы. Далее в исследуемый материал последовательно добавляли (с тщательным перемешиванием) измеренные количества воды и на каждом этапе проводили измерения $k_{зам}$.

Следует отметить, что данный материал сохранял консистенцию (структуру) сухого сыпучего материала вплоть до влажности $W = 10\%$. Даже при такой высокой влажности глинозем не слипался, не было образования комков, а также отмечалась стабильная насыпная плотность. Визуально изменения консистенции стали заметны только после достижения влажности $W = 20\%$ (см. фотографию на рис.4).



Рис. 4. Внешний вид глинозема с влажностью $W = 20\%$

Результаты серии таких экспериментов приведены в таблице 1. Отметим, что на каждом этапе после добавки в глинозем воды параметр $k_{зам}$ определялся для двух значений насыпной плотности:

- глинозем засыпан в кювету без утрамбовки;
- глинозем в кювете утрамбован.

График зависимости $k_{зам}$ от влажности для глинозема, который был утрамбован, показан на рис.5.

Таблица 1

Влажность, $W, \%$	$k_{зам}$ (материал в кювете не утрамбован)	$k_{зам}$ (материал в кювете утрамбован)
0,3	1,54	1,54
2,5	1,71	1,71
5	1,83	1,83
7,5	1,91	1,91
10	2,01	2,01
15	2,04	2,12
20	1,94	2,38

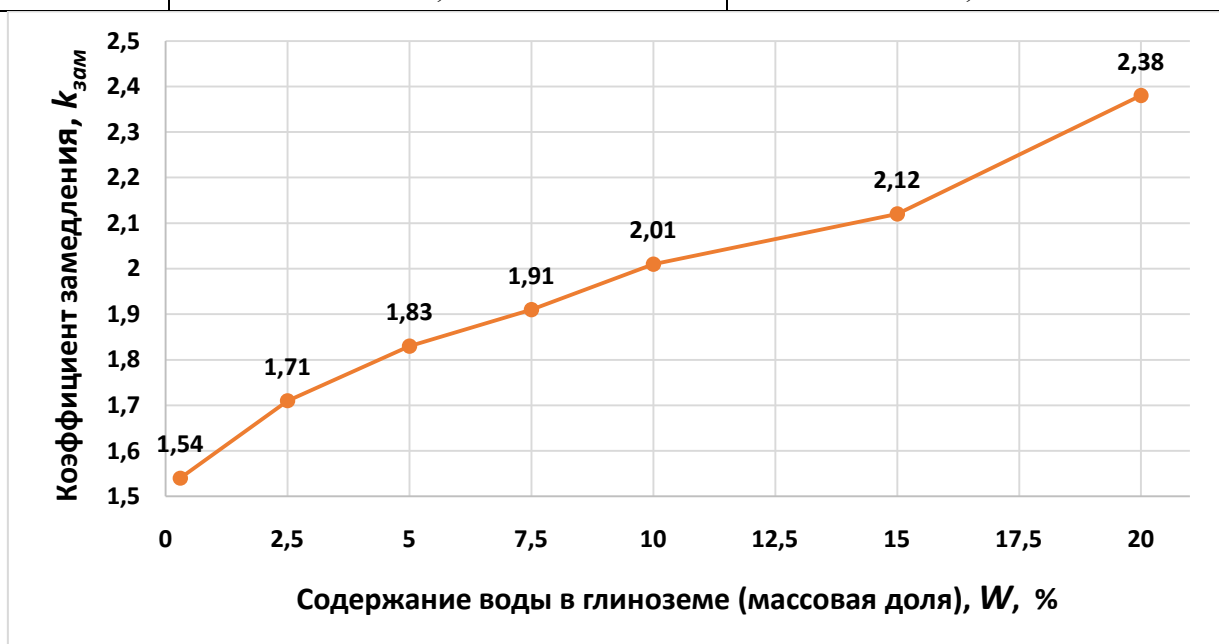


Рис. 5. График зависимости коэффициента $k_{зам}$ от влажности глинозема W

Полученная по результатам проведенных измерений калибровочная (градуировочная) характеристика заносится в память влагомера.

Следует отметить, что данная калибровочная характеристика все же является предварительной, так как не учитывает реальную насыпную плотность контролируемого материала в месте установки датчика на промышленном предприятии.

Для учета реальной насыпной плотности контролируемого материала в месте установки датчика в условиях эксплуатации калибровка должна быть подкорректирована. Для этого производится сравнение показаний влагомера с лабораторными измерениями (методом сушки) отобранных проб контролируемого материала.

4. Заключение по результатам исследований

В результате проведенных экспериментов установлено, что для измерения влажности оксида алюминия (глинозема) 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. 3.14).

Отчет подготовил сотрудник КБ «Физэлектронприбор»:

_____ Зобнин П.Ю.

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), то правильные измерения невозможны.

2) Количество материала в контролируемом датчиком объеме (области) должно быть примерно одинаковым при всех измерениях, т.е. должна быть обеспечена стабильность насыпной плотности контролируемого материала.

При изменении насыпной плотности материала меняется масса материала, попавшего в объем пространства, который контролируется 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 поточных влагомеров любого принципа измерения, кроме оптических (инфракрасных) влагомеров и, разумеется, гравиметрических. 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-SW100.10.4х, установленных в бункерах.

Обратите внимание:

из-за влияния насыпной плотности сыпучих материалов измерить влажность таких материалов в реальных условиях эксплуатации с точностью, лучшей чем 0,3 - 0,4%, удается очень редко. 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 выше условия обеспечения точности измерения влажности сыпучих материалов обязательны для любых существующих в мире поточных влагомеров (кроме оптических влагомеров, которые измеряют влажность только поверхностного слоя).