

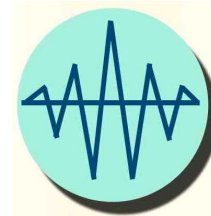
ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

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.



ОТЧЕТ

Исследование возможности измерения влажности бикарбоната натрия (пищевой соды) с помощью анализаторов влажности (влажномеров) FIZEPR-SW100

Дата: 26.01.2026

Цель исследований: подбор оптимального варианта исполнения влагомера для измерения влажности бикарбоната натрия. Диапазон возможных значений влажности контролируемого материала – от 10 до 23%.

1. Описание влагомеров, используемых в экспериментальных исследованиях

Для измерений влажности бикарбоната натрия применялись влагомеры следующих вариантов исполнения:

- вариант FIZEPR-SW100.30.2;
- вариант FIZEPR-SW100.30.261;
- вариант FIZEPR-SW100.17.12.

Фотографии датчиков указанных влагомеров приведены на рисунках 1 и 2.

Датчики влагомеров FIZEPR-SW100.30.2 и FIZEPR-SW100.30.261 выполнены в виде кюветы и представляют собой отрезок линии передачи, вдоль которой распространяются электромагнитные волны. Сигнальный проводник линии передачи образован штырем, а экранный проводник – стенками кюветы.



Рис.1. Датчики влагомеров FIZEPR-SW100.30.261 и FIZEPR-SW100.30.2

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.17.12 выполнен в цилиндрическом корпусе (Ø108мм). На торце корпуса размещен плоский емкостной чувствительный элемент (сенсор), который закрыт керамической пластиной из нитрида кремния (см. рис.2).



Рис.2. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.17.12

2. Краткая информация о принципах измерения влагомеров

По принципу действия все влагомеры серии FIZEPR-SW100 представляют собой диэлькометры, но методы измерения диэлектрической проницаемости ϵ_r у рассматриваемых влагомеров различаются.

Общим для всех влагомеров серии FIZEPR-SW100 является то, что при измерениях определяются частоты резонанса датчика в воздухе и в контролируемом материале. Измерения (зондирование среды радиоволнами) выполняются на частотах диапазона 2...750МГц. По найденным значениям частот резонанса вычисляется коэффициент k , равный отношению резонансной частоты датчика на воздухе к его резонансной частоте в контролируемом материале. Далее, по величине коэффициента k процессор электронного блока влагомера рассчитывает содержание воды, при этом учитывается температура материала. Расчет производится на основе калибровочных таблиц, подготовленных для каждого типа контролируемого материала и записанных в память влагомера.

Особенность влагомеров FIZEPR-SW100.30.2 и FIZEPR-SW100.30.261 заключается в том, что измеренный коэффициент k (равный отношению резонансных частот) равен коэффициенту замедления $k_{зам}$ при распространении электромагнитной волны в контролируемом материале. Коэффициент замедления $k_{зам}$, называемый также коэффициентом преломления, - это отношение скорости распространения электромагнитной волны в воздухе к скорости ее распространения в контролируемом материале. Коэффициент замедления $k_{зам}$ связан с диэлектрической проницаемостью ϵ_r следующим выражением (для сред с малыми диэлектрическими потерями):

$$\epsilon_r = (k_{зам})^2 . \quad (1)$$

Таким образом, примененный метод измерения позволяет непосредственно измерять диэлектрическую проницаемость ϵ_r , т.е. является прямым. Указанный метод измерения (называемый радиоволновым), исключает ошибки, которые присущи традиционным емкостным диэлькометрам, реализующим разнообразные косвенные методы измерения проницаемости ϵ_r . У влагомеров, реализующих радиоволновый метод измерения, обеспечивается предельно высокая точность измерений.

В основе радиоволнового метода измерений, реализованного во влагомере FIZEPR-SW100.30.2, лежит оцифровка амплитудного резонанса (резонансной амплитудной характеристики датчика), а во влагомере FIZEPR-SW100.30.261 производится обработка резонансной характеристики, полученной с помощью измерения разности фаз сигналов. Влагомер FIZEPR-SW100.30.261 относится к влагомерам т.н. фазового типа.

Влагомеры с принципом действия, как у FIZEPR-SW100.30.2, работоспособны только на материалах с низкими диэлектрическими потерями (с низкой электропроводностью).

Фазовые влагомеры FIZEPR-SW100.30.261 позволяют контролировать материалы с высокой электропроводностью (с высокими диэлектрическими потерями). В этих влагомерах коэффициент $k_{зам}$ также определяется через отношение частот резонанса датчика на воздухе и датчика, заполненного материалом, но сами резонансные частоты фиксируются фазовым методом, т.е. не по амплитуде резонанса, а по величине набега фазы сигнала, распространяющегося в линии передачи. Для материалов с высокой электропроводностью связь между коэффициентом $k_{зам}$ и диэлектрической проницаемостью описывается более сложным выражением по сравнению с формулой (1), т.к. на величину этого коэффициента влияет также и электропроводность контролируемого материала.

В отличие от радиоволновых влагомеров FIZEPR-SW100.30.2 и FIZEPR-SW100.30.261 во влагомере FIZEPR-SW100.17.12 реализован емкостной метод измерения диэлектрической проницаемости ϵ_r . Благодаря тому, что зондирование контролируемого материала в этом датчике производится через керамическую пластину, которая ослабляет влияние на измерения токов проводимости, влагомеры FIZEPR-SW100.17.12 работоспособны на материалах с повышенной электропроводностью.

3. Проведение измерений начальной влажности образца материала

Бикарбонат натрия NaHCO_3 (другие названия: гидрокарбонат натрия, натрий двууглекислый), также известный как пищевая сода, — это белый кристаллический порошок, который при нагревании разлагается на карбонат натрия, воду и углекислый газ.

Для проведения испытаний было приобретено 3кг соды пищевой (см. рис. 3).



Рис. 3. Датчик FIZEPR-SW100.30.2, заполненный пищевой содой

На первом этапе исследований была измерена фактическая влажность приобретенной соды при помощи термогравиметрического анализатора влажности AND ML-50 (см. рис. 4).

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_{ϵ} - масса образца влажного материала;

m_c - масса того же образца материала после сушки.



Рис. 4. Термогравиметрический анализатор влажности AND ML-50

Из приобретенной партии упаковок соды было отобрано несколько проб. Среднее значение влажности соды составило 0,3%. Это значение учитывалось в дальнейших измерениях.

4. Измерение зависимости коэффициента $k_{зам}$ пищевой соды от содержания воды

При проведении исследований в пробы материала добавляли отмеренные дозы воды, полученную смесь тщательно перемешивали и таким способом получали образцы бикарбоната натрия с разными значениями влажности.

Здесь следует обратить внимание наших заказчиков, что описываемый процесс исследований совпадает с процессом калибровки (градуировки) влагомеров. Калибровка влагомера по каждому конкретному материалу состоит в получении экспериментальной зависимости измеряемого влагомером коэффициента k от содержания в этом материале воды. Для получения этой зависимости снимается частотный спектр сигнала датчика для ряда значений влажности и определяется частота резонанса - положение минимума резонансной кривой на оси частот.

Указанным выше способом были получены образцы соды с влажностью в диапазоне до 23%, которые поочередно измерялись влагомерами указанных выше типов.

Получены результаты:

Влагомер варианта FIZEPR-SW100.30.2 работоспособен на соде с влажностью не более 5%, т.к. при большей влажности электропроводность соды резко возрастает.

У влагомера FIZEPR-SW100.17.12 в диапазоне влажности соды от 15% до 23% спектр остается практически неизменным, т.е. данный влагомер теряет чувствительность при влажности более 15%.

Только влагомер FIZEPR-SW100.30.261 сохранил работоспособность в диапазоне влажности 10-23%. Подробный отчет по градуировке влагомера на соде приведен ниже.

4.1. Выполнение градуировки влагомера FIZEPR-SW100.30.261 на соде

Выполнение градуировки влагомера на соде заключается в построении графика зависимости $k_{зам}$ от влажности соды.

Покажем последовательность калибровки по шагам.

- 1) Измерена частота резонанса датчика с пустой кюветой, получили $F_{калиб} = 638$ МГц.
- 2) Заполнили кювету содой с влажностью $W=10\%$ и сняли спектр сигнала датчика с помощью программы SWPro.

Полученный на экране ПК спектр сигнала датчика показаны на рис.5.

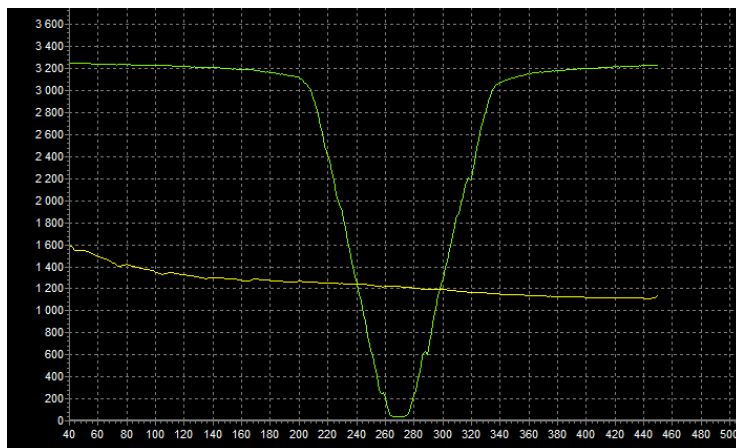


Рис.5. Спектр сигнала влагомера FIZEPR-SW100.30.261 при заполнении кюветы образцом бикарбоната натрия без утрямбовки с влажностью $W = 10\%$

Минимум резонансной кривой соответствует частоте $F_{рез}=270$ МГц. Таким образом, коэффициент $K_{зам}$ соды при влажности 10% равен: $K_{зам} = F_{калиб}/F_{рез} = 2,36$.

Обратите внимание: указанное значение было получено при измерении рыхлого материала, без его уплотнения, то есть в образце материала содержался воздух. Далее материал был уплотнен и измерения повторены. Получено новое значение $K_{зам} = 4,87$.

Такая последовательность действий воспроизводилась при каждом измерении для ряда значений влажности. Результаты сведены в таблицу 1. График зависимости $K_{зам}$ от влажности для соды, подвергшейся утрямбовке, показан на рис.6.

Таблица 1

Влажность, W , %	$K_{зам}$ (материал в кювете не утрямбован)	$K_{зам}$ (материал в кювете утрямбован)
0,3	1,51	1,52
10	2,36	4,87
15	4,95	10,5
17	16,92	16,92
19	18,83	18,83
23	21,48	21,48



Рис. 6. График зависимости коэффициента $K_{зам}$ от влажности бикарбоната натрия для влагомера FIZEPR-SW100.30.261

Примеры спектров с датчика влагомера FIZEPR-SW100.30.261 при заполнении кюветы образцами бикарбоната натрия с разной влажностью показаны в приложении.

На рисунках 7а и 7б приведены фотографии бикарбоната натрия одной влажности, но при разной насыпной плотности (без утрамбовки соды и после ее утрамбовки в кювете).



Рис. 7а



Рис. 7б

Следует отметить, что после достижения содой влажности 17% и выше насыпная плотность соды стабилизировалась, поскольку смесь соды с водой по консистенции стала похожа на жидкую кашу (см. фото на рис.8) и попытки уплотнить такую смесь не имели смысла.



Рис. 8. Датчик FIZEPR-SW100.30.261, заполненный пищевой содой влажностью $W = 17\%$

5. Заключение

В результате проведенных испытаний установлено, что фазовые влагомеры типа FIZEPR-SW100.30.261, работоспособны на соде во всем заданном заказчиком диапазоне влажности 10 - 23%.

К указанным влагомерам фазового типа также относятся следующие варианты:

- FIZEPR-SW100.10.561, предназначенные для применения на конвейере;
- FIZEPR-SW100.10.46, предназначенные для измерений в бункерах;
- FIZEPR-SW100.10.16, универсальные.

Точность измерения указанных влагомеров зависит от того, насколько будет стабильна насыпная плотность. При проведении экспериментальных исследований мы добавляли воду в

сухую соду. В порошке соды содержится много воздуха и для получения точных измерений мы утрамбовывали порошок, чтобы из него выдавить воздух.

Но в промышленном технологическом процессе происходит ровно наоборот: производится удаление воды из соды, а это значит, что в измеряемом продукте не будет воздуха.

Таким образом, есть основания предполагать, что измерения в потоке в процессе сушки вполне возможно обеспечить с помощью влагомеров фазового типа.

Фотографии предлагаемого влагомера FIZEPR-SW100.561 показаны на рис.9 и 10.



Рис. 9. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.10.561



Рис. 10. Влагомер FIZEPR-SW100.10.561 на конвейере завода фирмы ICL

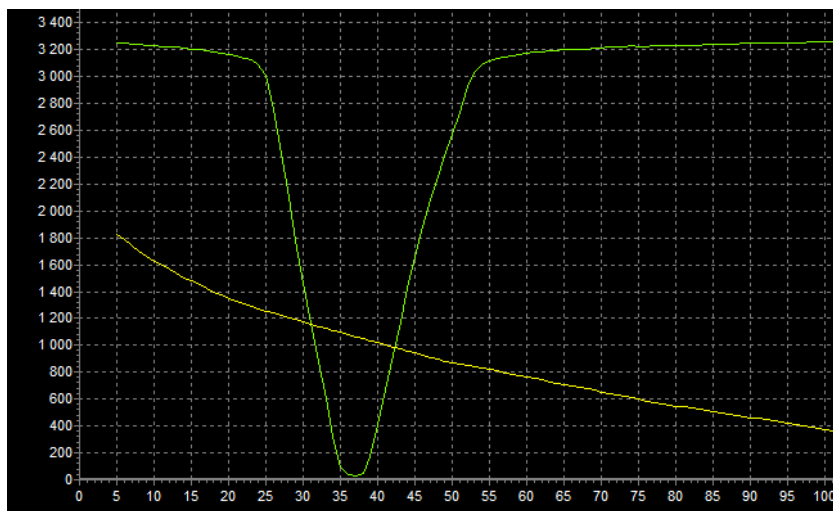
Отчет подготовили сотрудники КБ «Физэлектронприбор»:

_____ Сизиков О.К.

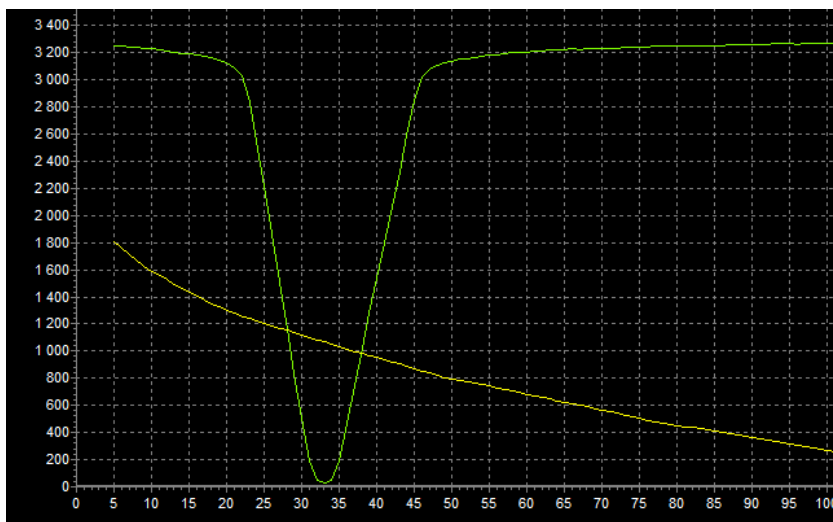
_____ Зобнин П.Ю.

ПРИЛОЖЕНИЕ

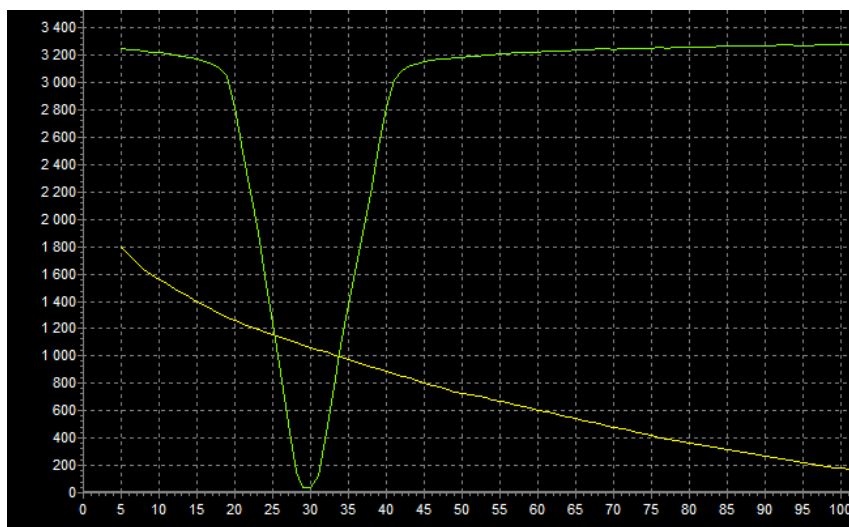
Спектры сигналов с датчика влагомера FIZEPR-SW100.30.261 при заполнении кюветы образцом бикарбоната натрия



W= 17%



W= 19%



W= 23%