

Утверждаю
Главный инженер
ООО «Конструкторское бюро
«Физэлектронприбор»

_____ Коннов В.В.

30 мая 2023г.

Отчет по исследованию возможности контроля влажности золотосодержащего концентрата с помощью анализаторов влажности (влажномеров) FIZEPR-SW100

1. Введение

Для определения возможности измерения влажности золотосодержащего концентрата 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 (ϵ_r) прямой, основанный на измерении коэффициента замедления ($k_{зам}$) электромагнитной волны в контролируемом материале. 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. По найденному значению коэффициента замедления процессор влагомера рассчитывает содержание воды с учетом температуры материала. Расчет производится на основе градуировочных (калибровочных) таблиц, подготовленных для каждого типа контролируемого материала и заложенных в память влагомера.

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 характеристики датчика), а во влагомере FIZEPR-SW100.30.26 производится обработка резонансной характеристики, полученной с помощью измерения разности фаз сигналов.

Для измерения были получены 4 образца концентратов двух типов:

- НУК (низкоуглеродистый концентрат), два образца;
- ВУК (высокоуглеродистый концентрат), два образца.

Предварительными испытаниями установлено, что влагомер FIZEPR-SW100.30.2 не позволяет измерять золотосодержащий концентрат (ВУК и НУК) 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 образца материала.

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

$$W = \frac{m_e - m_c}{m_e} \times 100\%$$

где W - влажность материала;

m_e - масса образца влажного материала;

m_c - масса того же образца материала после сушки.

Измерение влажности полученного образца золотосодержащего концентрата выполнялась с помощью анализатора влажности AND ML-50. Метод измерения - термогравиметрический.

В результате просушки первого образца отобранной пробы золотосодержащего концентрата ВУК получено значение влажности $W = 2\%$. Это значение учитывалось в дальнейших измерениях.

3. Экспериментальные исследования зависимости коэффициента замедления $k_{зам}$ материала от содержания в нем воды

При дальнейших экспериментах в пробы материала добавляется отмеренная доза воды и полученная смесь тщательно перемешивается. Таким способом получают образцы материала с разными значениями влажности.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.26, который применялся при испытаниях, показан на рис. 1.



Рис.1. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.30.26

Калибровка 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 резонансная характеристика датчика и определяется частота резонанса (положение минимума резонансной кривой на оси частот). В качестве примера, вид резонансной характеристики датчика показан на рис. 3 и 4.

Для пустой кюветы частота резонанса $F_{калибр} = 500\text{МГц}$.

3.1 В кювету засыпали концентрат ВУК, образец №1. Влажность указанного образца, измеренная методом сушки, составила $W=2\%$. Для указанного образца было получено значение резонанса $F_{рез}=195,7\text{МГц}$.

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

$$k_{зам} = F_{калибр}/F_{рез} = 2,55.$$

Следует отметить, что указанное значение было получено при засыпке материала в кювету без его уплотнения, то есть в образце материала содержался воздух. Далее с помощью вибрации материал был уплотнен и измерения повторены. Такие действия производились при каждом измерении. На рисунке 2 показан материал одной влажности, но при разной насыпной плотности.

Датчик FIZEPR-SW100.30.26, заполненный золотосодержащим концентратом с разной плотностью (а – рыхлый, б – уплотненный)



Рис. 2 (а)



Рис. 2 (б)

После измерения материала с исходной влажностью ($W=2\%$) он был извлечен из кюветы. В этом материале равномерно распределили расчетное кол-во воды, перемешали и затем снова засыпали в кювету для измерения $k_{зам}$.

На сохранённых скриншотах с экрана компьютера, показанных на рис. 3 и 4, представлены резонансные кривые для значений влажности в 2% и 8% на золотосодержащем концентрате марки ВУК.

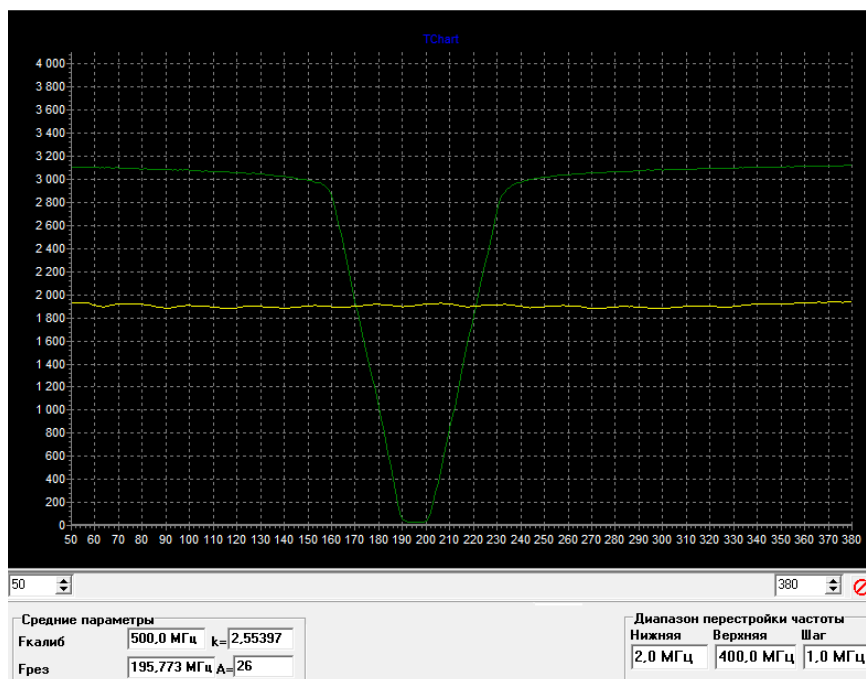


Рис.3. Резонансная характеристика при заполнении кюветы золотосодержащим концентратом ВУК с влажностью $W= 2\%$, без уплотнения.

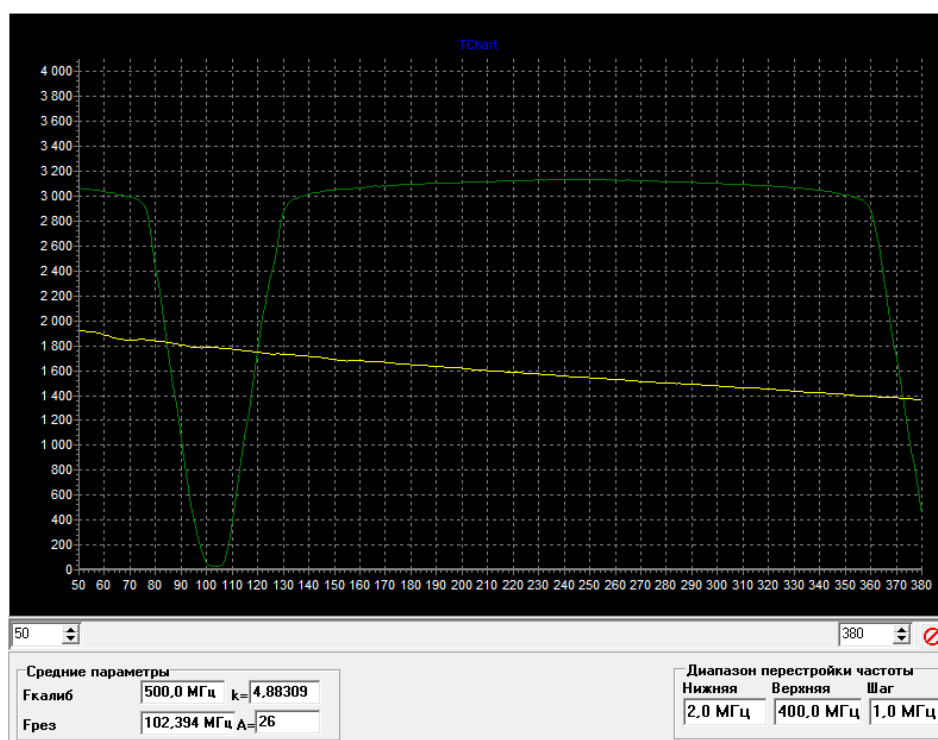


Рис.4. Резонансная характеристика при заполнении кюветы золотосодержащим концентратом ВУК с влажностью $W= 8\%$, без уплотнения.

Во втором образце материала ВУК была проверена влажность с помощью термогравиметрического метода, результат $6,5\%$, виден на фотографии на рис. 5.



Рис. 5. Измерение начальной влажности термогравиметрическим влагомером второго образца золотосодержащего концентрата ВУК

Результаты серии таких экспериментов для ВУК приведены в таблице ниже, причем, первое значение Кзам – материал без утрямбовки, второе значение – после утрямбовки, третье – с дополнительной утрямбовкой, с придавливанием концентрата сверху.

Влажность, W, %	Кзам		
	материал в кювете не утрямбован	материал в кювете утрямбован	материал в кювете утрямбован и придавлен
2	2,55	2,77	2,85
5	3,12	4,28	4,77
6,5	5,00	5,79	5,94
8	4,88	7,32	8,25

3.2 В образцах концентрата НУК также сначала была измерена влажность с помощью термогравиметрического метода, результат: $W = 3,8$ (+/-0,1)%.

Результаты измерений влагомером FIZEPR-SW100.30.26 для концентрата НУК приведены в таблице ниже.

Влажность, W, %	Кзам		
	материал в кювете не утрямбован	материал в кювете утрямбован	материал в кювете утрямбован и придавлен
3,8	8,1	13,0	16,8

3.3 Концентраты ВУК и НУК отличаются между собой по содержанию углерода, а также различных металлов, что сильно влияет на их электропроводность.

Было измерено сопротивление образцов концентрата. У концентрата НУК с влажностью 3,7% оно составило примерно 1кОм на 1см, что в 20 раз меньше, чем у концентрата ВУК, сопротивление которого при влажности 2% составило примерно 20кОм на 1см.

Таким образом, концентраты ВУК и НУК сильно отличаются по электропроводности и использовать одну калибровку для указанных видов концентратов нельзя.

Состав концентрата марки ВУК и НУК приведен в таблице ниже (данные из Интернета):

Концентрат (высушенный)	Au г/т (золото)	Ag г/т (серебро)	C орг.,% (углерод органический)	As %, (мышьяк)	Sb % (сурьма)	Собщ %, (сера общая)	S сульф %, (сера сульфидная)	C общ.% (углерод общий)	Fe %
ВУК	25-100	1-5	5-10	1-10	0,01-0,5	10-20	10-20	5-10	15-20
НУК	50-150	1-5	1-5	5-20	0,01-0,5	20-40	20-40	1-5	40

4. Заключение по результатам исследований

В результате проведенных экспериментов установлено, что влагомеры фазового типа (например, FIZEPR-SW100.10.46) могут быть в принципе применены для измерения влажности золотосодержащего концентрата типов ВУК и НУК. Для применения влагомера FIZEPR-SW100.10.46 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. 3.10.

Рекомендации ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»:

из-за отсутствия опыта эксплуатации влагомеров на золотосодержащих концентратах рекомендуем приобрести сначала один влагомер варианта FIZEPR-SW100.10.46 для установки в бункере и затем, по итогам эксплуатации, принять решение о приобретении партии таких влагомеров.

ПРИЛОЖЕНИЕ

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, 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) 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.

Следует отметить, что для сыпучих материалов в бункере измерить влажность с точностью, лучшей чем 0,4 - 0,5%, на практике не представляется возможным. Причина этого: влияние насыпной плотности материала, но указанная величина погрешности относится к материалам со стабильным хим. составом и с низкой электропроводностью.

При измерении материалов с меняющимся химическим составом и с высокой электропроводностью погрешность существенно возрастает и заранее оценить величину погрешности в промышленных (в реальных) условиях эксплуатации для таких материалов не представляется возможным.

Ст. инженер ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

_____ Зобнин П.Ю.