

ОТЧЕТ

Исследование возможности измерения влажности сульфата натрия с помощью анализаторов влажности (влагомеров) FIZEPR-SW100

1. Описание влагомеров

Для испытаний по определению возможности контроля влажности сульфата натрия применялись влагомеры 3-х вариантов исполнения:

- вариант FIZEPR-SW100.30.2;
- вариант FIZEPR-SW100.30.26;
- вариант FIZEPR-SW100.17.12.

По принципу действия все влагомеры FIZEPR-SW100 представляют собой радиоволновые приборы – диэлькометры, но методы измерения диэлектрической проницаемости у указанных трех влагомеров несколько различаются. Общим для всех влагомеров FIZEPR-SW100 является то, что при измерениях определяются частоты резонанса измерительной структуры датчика в воздухе и в контролируемом материале. Измерения (зондирование среды радиоволнами) выполняется на частотах диапазона 2...750 МГц. По найденным значениям частот резонанса вычисляется коэффициент k , равный отношению этих частот и далее по величине коэффициента 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.

Особенность влагомера **FIZEPR-SW100.30.2** заключается в том, что измеренный коэффициент k (равный отношению резонансных частот) представляет собой коэффициент замедления $k_{зам}$ распространения электромагнитной волны в контролируемом материале. Т.е. коэффициент замедления (называемый также коэффициентом преломления) - это отношение скорости распространения электромагнитной волны в воздухе к скорости ее распространения в контролируемом материале.

Связь между коэффициентом замедления $k_{зам}$ и диэлектрической проницаемостью ϵ_r описывается следующим выражением:

$$\epsilon_r = (k_{зам})^2 .$$

Такая особенность влагомеров данного типа, состоящая в том, что применен прямой метод измерения истинного значения диэлектрической проницаемости ϵ_r , обуславливает то обстоятельство, что влияние на измерения множества помеховых факторов, свойственных диэлькометрическим влагомерам, сведено к минимуму и в результате обеспечивается предельно высокая точность измерений.

Но влагомеры варианта FIZEPR-SW100.30.2 работоспособны на материалах только с низкими диэлектрическими потерями (с низкой электропроводностью), но такие материалы составляют большинство (песок, щебень, зерновые культуры, ...) среди материалов, для которых запрашивают промышленные влагомеры.

Т.н. фазовые влагомеры, к которым относится и вариант FIZEPR-SW100.30.26, предназначены для контроля материалов с высокой электропроводностью. Для таких материалов связь между коэффициентом замедления и диэлектрической проницаемостью описывается более сложным выражением, т.к. на измеряемую величину коэффициента замедления влияет также и электропроводность контролируемого материала.

Датчики влагомеров FIZEPR-SW100.30.2 и FIZEPR-SW100.30.26 выполнены в виде кюветы с размерами 200 x 100 x 100мм (см. рис.1). У данных влагомеров различаются методы определения резонансной частоты датчика. Во 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.



Рис.1. Датчики влагомера FIZEPR-SW100.30.26 и влагомера FIZEPR-SW100.30.2

Во влагомере FIZEPR-SW100.17.12 метод измерения диэлектрической проницаемости следует отнести к косвенным методам. Дело в том, что фактически измеряемый этим влагомером объект содержит не только контролируемый материал, но и диэлектрическую (керамическую) пластину, через которую производится зондирование этого материала. В результате на результат измерения влияют и свойства керамической пластины. Также, как и для других влагомеров, данный вариант измеряет коэффициент, который связан с диэлектрической проницаемостью контролируемого объекта и который вычисляется, как и для всех влагомеров FIZEPR-SW100, как отношение резонансной частоты датчика в воздухе к его резонансной частоте в контролируемом материале. Благодаря тому, что керамическая пластина ослабляет влияние на измерения токов проводимости, влагомеры FIZEPR-SW100.17.12 можно применять на материалах с несколько повышенной электропроводностью.

Датчик влагомера FIZEPR-SW100.17.12 выполнен в цилиндрическом корпусе диаметром 108мм, на торце которого размещен плоский чувствительный элемент (сенсор). Сенсорная головка датчика закрыта керамическим диском (пластиной) из нитрида кремния (см. рис.2).



Рис.2. Датчик влагомера FIZEPR-SW100.17.12

Влагомеры FIZEPR-SW100.17.12 широко применяются для измерений в смесителях бетона, а также для контроля мелкодисперсных сыпучих материалов на ленте конвейера, при этом датчик закрепляется на лыже. Механизм подвеса лыжи обеспечивает оптимальный наклон и плотное прилегание лыжи и сенсора датчика к поверхности контролируемого материала на ленте конвейера (см. рис.3).

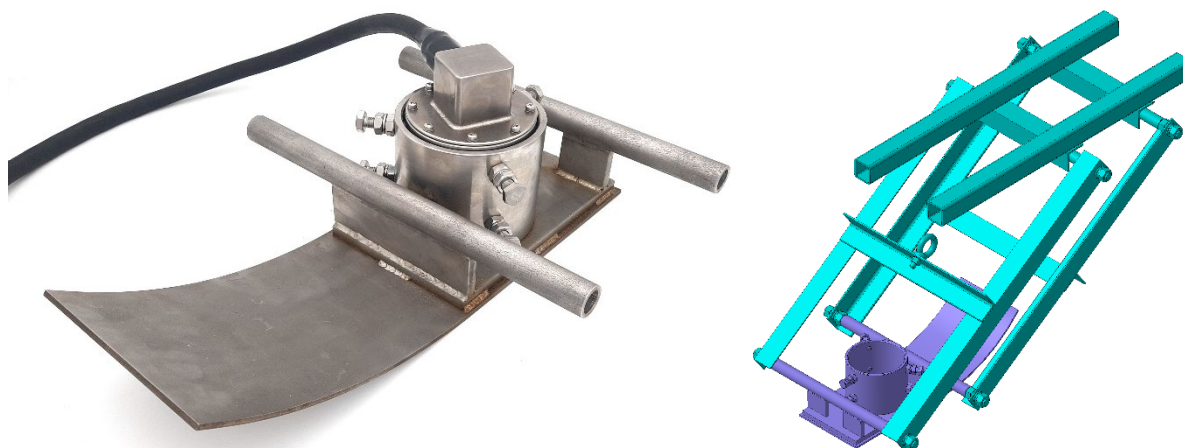


Рис.3. Лыжа и арматура крепления лыжи над лентой конвейера

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 сульфата натрия, полученного от предприятия ООО «Волгапром». Контрольное измерение влажности образца выполнялось с помощью анализатора влажности AND ML-50 (см. рис.4).

Метод измерения - термогравиметрический. Было отобрано и измерено несколько проб, чтобы получить более точное значение влажности. Среднее значение влажности полученного образца составило 1,5%. Это значение учитывалось в дальнейших измерениях.



Рис.4. Термогравиметрический анализатор влажности AND ML-50

3. Измерение зависимости коэффициента k сульфата натрия от содержания в нем воды

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

Калибровка (градуировка) влагомера состоит в получении экспериментальной зависимости измеряемого влагомером коэффициента k 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 датчика FIZEPR-SW100.30.2 частота резонанса $F_{\text{калиб}} = 633$ МГц. При заполнении кюветы сульфатом натрия с влажностью $W = 1,5\%$ было получено значение частоты резонанса $F_{\text{рез}} = 485,3$ МГц.

Коэффициент k определяется по формуле:

$$k = F_{\text{калиб}} / F_{\text{рез}} = 1,3.$$

С помощью программы SWPro на экране компьютера отображается спектр сигнала с датчика влагомера FIZEPR-SW100.30.2. На рис.5 показан спектр (резонансная кривая) для значения влажности 1,5%. С графиками спектров можно более подробно ознакомиться в Приложении к данному отчету.

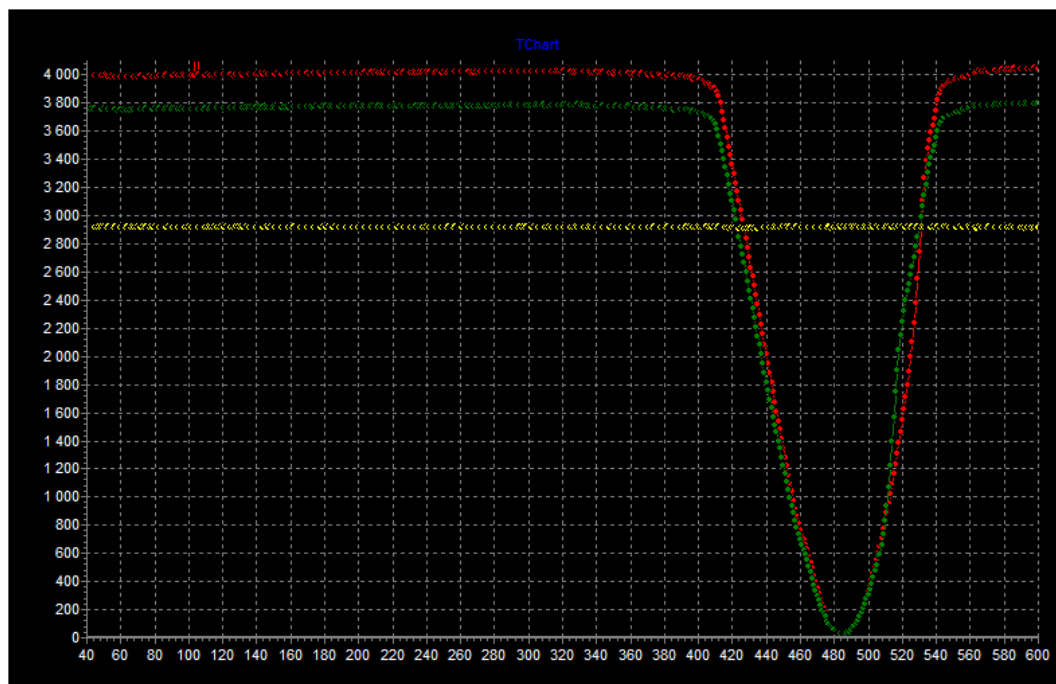


Рис.5. Спектр сигнала с датчика влагомера при заполнении кюветы FIZEPR-SW100.30.2 образцом сульфата натрия с влажностью $W = 1,5\%$

После измерения образца с исходной влажностью ($W = 1,5\%$) он был извлечен из кюветы. Затем аналогичные измерения проводились с помощью влагомеров FIZEPR-SW100.30.26 и FIZEPR-SW100.17.12. Расчет коэффициента k проводился аналогичным образом с разницей лишь в том, что в датчиках отличались $F_{\text{калиб}}$ и $F_{\text{рез}}$.

Далее в исследуемый материал последовательно добавляли (с тщательным перемешиванием) измеренные количества воды и на каждом этапе проводили измерения коэффициента k .

Результаты серии таких экспериментов для каждого типа датчика приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влажность, W , %	k		
	FIZEPR-SW100.30.2	FIZEPR-SW100.30.26	FIZEPR-SW100.17.12
1,5	1,304	1,185	1,0199
3	1,305	1,219	1,0234
5	1,323	1,269	1,0284
7,5	1,409	1,364	1,0406
10	1,545	1,515	1,0568
13	1,779	1,712	1,0965

Следует отметить, что для влагомера FIZEPR-SW100.30.2 коэффициент k отношения резонансных частот равен коэффициенту замедления $k_{\text{зам}}$.

По результатам измерений в память влагомера заносится калибровочная (градуировочная) таблица. Но полученная 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 у влагомера FIZEPR-SW100.30.2 наименьшая чувствительность к изменению влажности сульфата натрия в диапазоне от 1,5% до 5%, а при увеличении влажности (в диапазоне влажности выше 10%) существенно снижается добротность резонанса, что негативно сказывается на точности измерений. Таким образом, влагомеры, основанные на прямом методе измерения по амплитудной характеристики, для измерения сульфата натрия не являются оптимальным решением.

Влагомер фазового типа FIZEPR-SW100.30.26 показал самую высокую чувствительность во всем исследуемом диапазоне влажности сульфата натрия. Таким образом, влагомеры фазового типа работоспособны и могут быть применены для измерения влажности сульфата натрия.

Влагомер FIZEPR-SW100.17.12 несмотря на меньшую чувствительность, чем у влагомера фазового типа, имеет самый острый и стабильный пик резонанса во всем диапазоне влажности и показал наивысшую стабильность показаний при повторных измерениях. Поэтому данный влагомер также рекомендуется нами для измерения влажности сульфата натрия. Но при его использовании следует учесть, что контролируемая этим влагомером область очень мала и на измерения оказывает влияние только тонкий слой материала у поверхности сенсора.

Для достижения минимальной погрешности измерений при измерении любых сыпучих материалов необходимо обеспечить выполнение ряда условий и требований, указанных ниже:

- 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 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.
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 точность измерений увеличивается.
- 3) При измерении материалов на конвейере необходимо исключить налипания материала, т.к. именно налипший слой будет влиять на результаты измерений.

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 оказывает большого влияния.

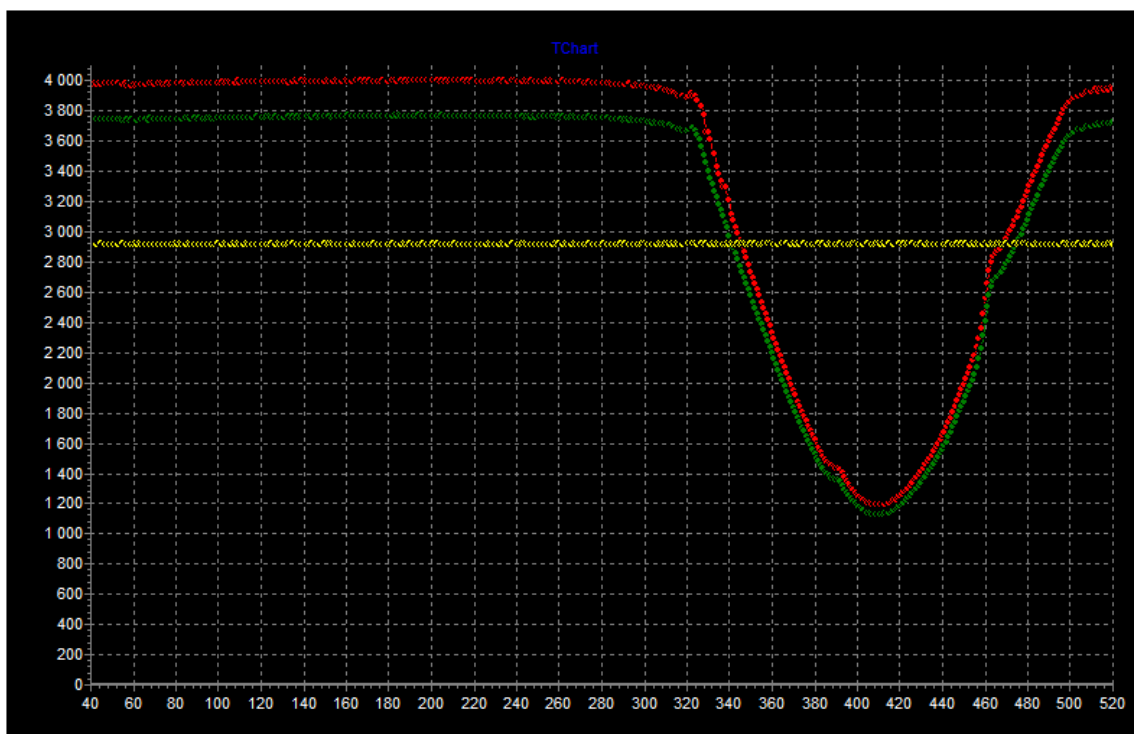
Ст. инженер

ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

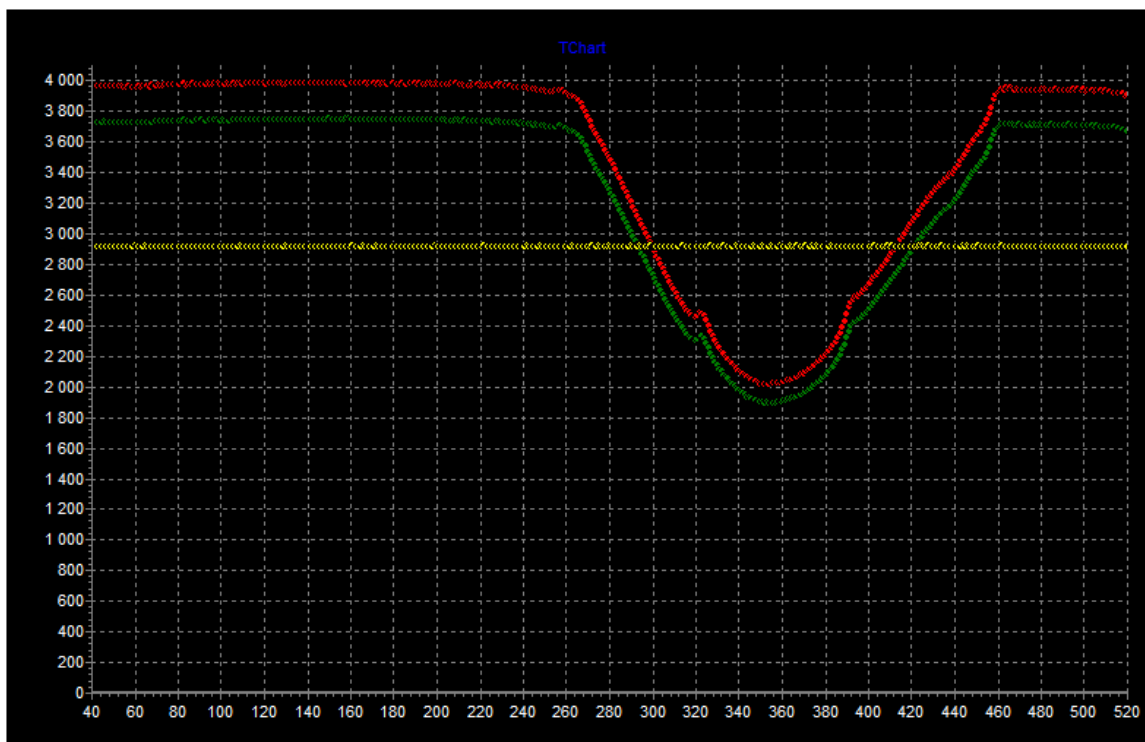
Зобнин П.Ю.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Спектры сигналов с датчика влагомера при заполнении кюветы FIZEPR-SW100.30.2 образцом сульфата натрия

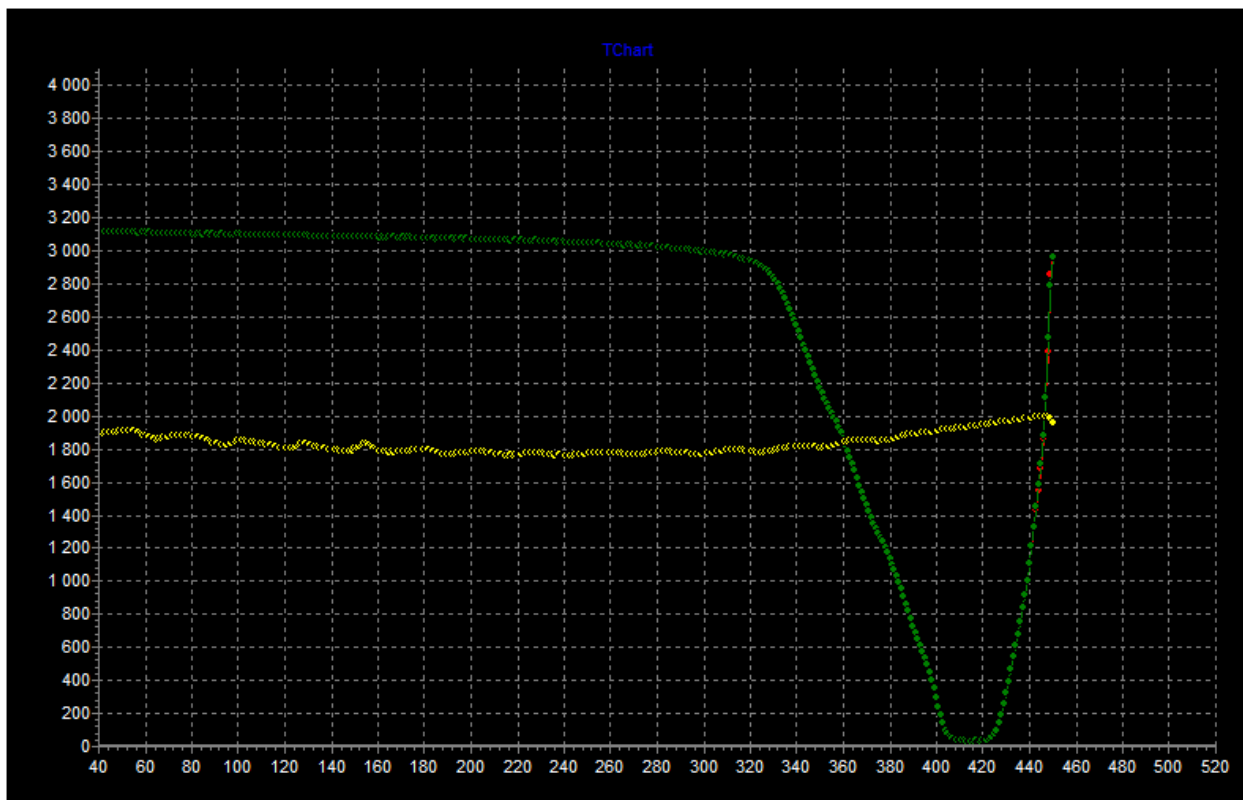


W= 10%

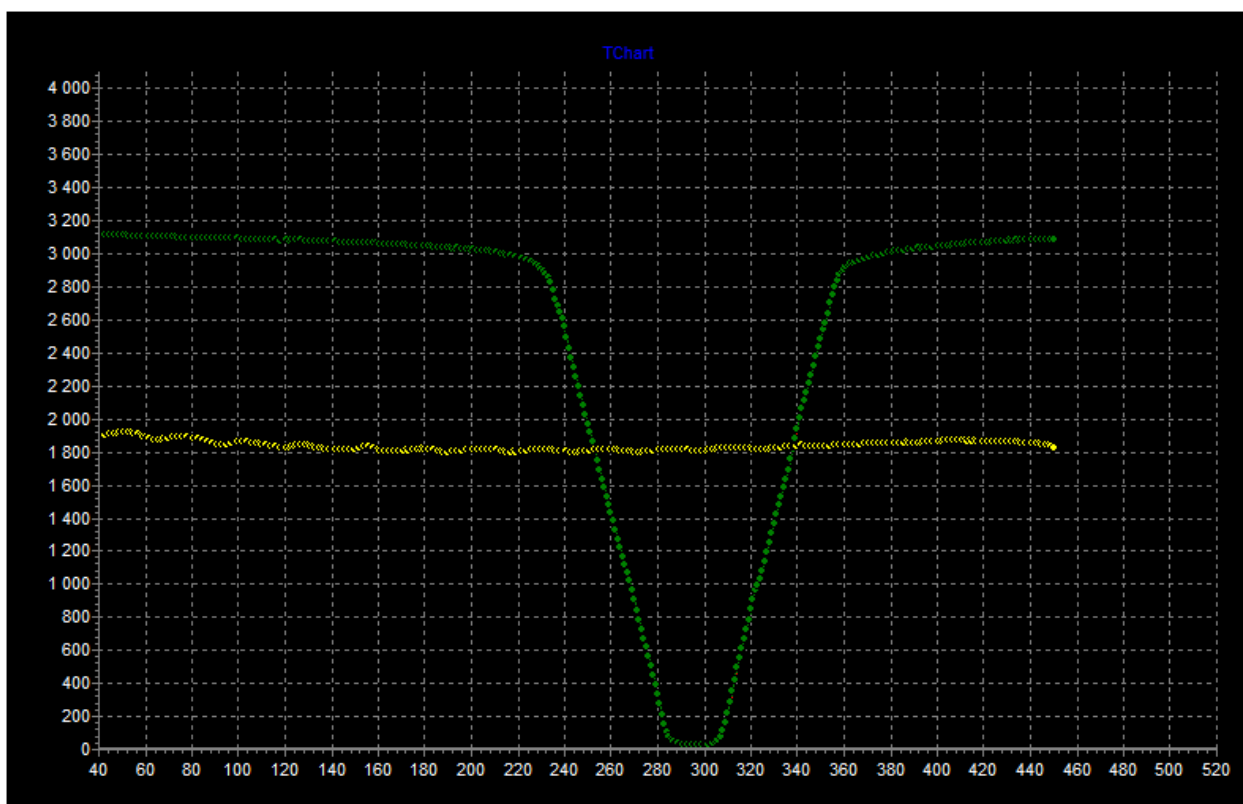


W= 13%

Спектры сигналов с датчика влагомера при заполнении кюветы
FIZEPR-SW100.30.26 образцом сульфата натрия

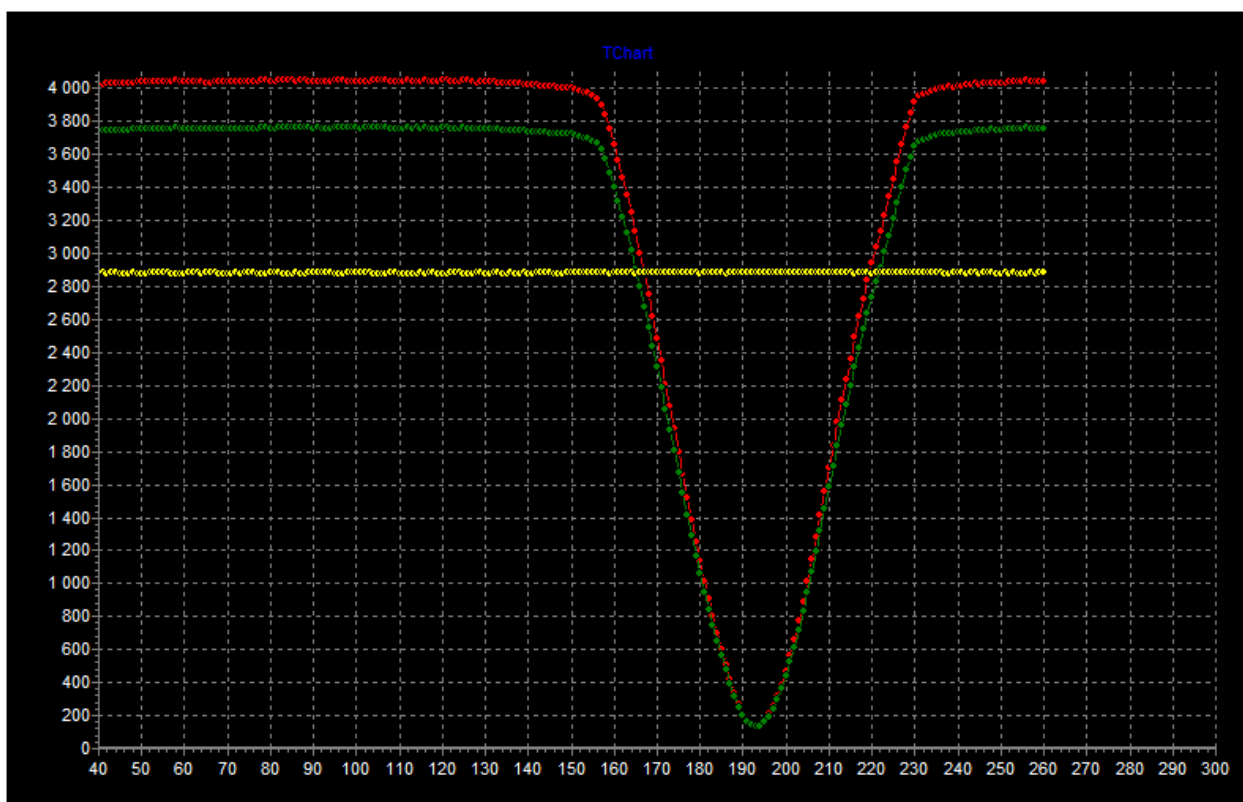


W= 3%

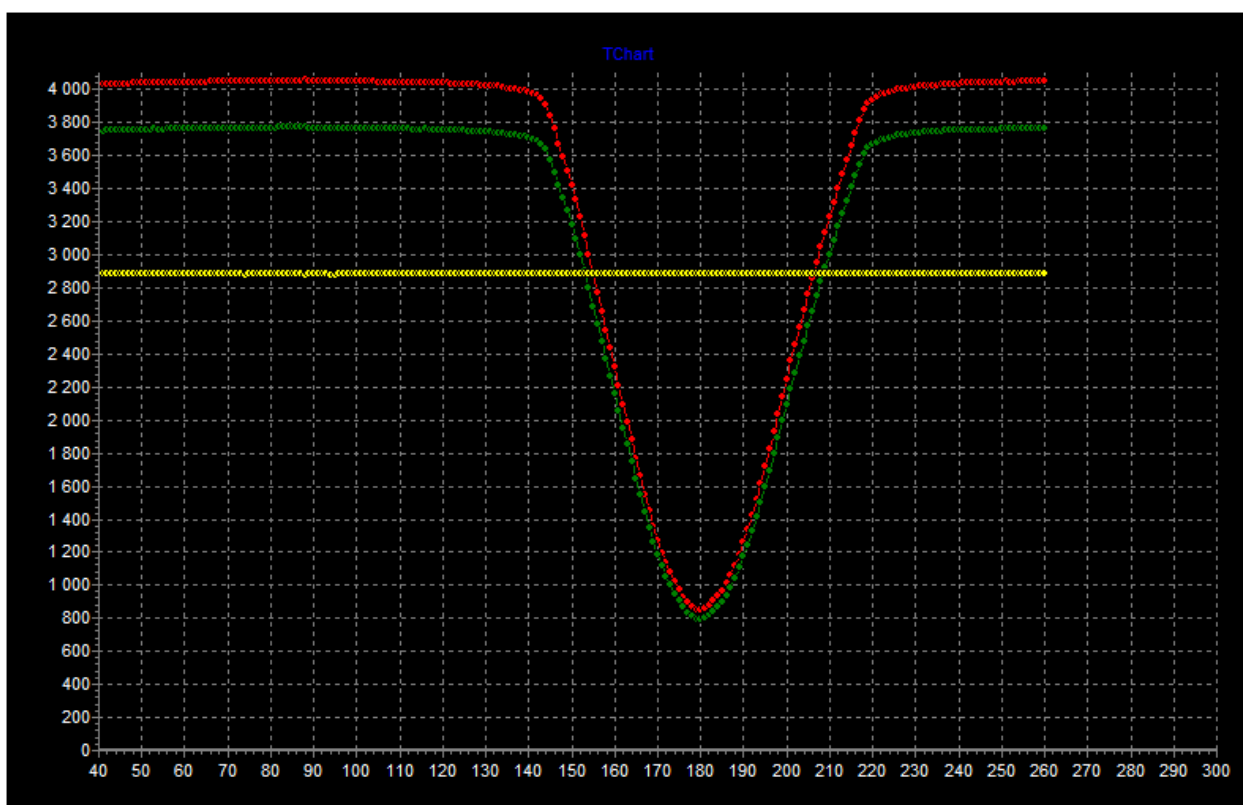


W= 13%

Спектры сигналов с датчика влагомера
FIZEPR-SW100.17.12 образцом сульфата натрия



W= 1,5%



W= 13%