

**ООО «Микрорадар-Сервис»**

**Технический отчёт**

**04.02.21016 – 09.06.2016, г. Минск**

**Об измерении концентрации ( влажности ) сахарных сиропов микроволновыми методами**

Научно-технический отчет

Ренгарт И.И.

**Аннотация**

Исследовались диэлектрические свойства сахарных сиропов и фазовый сдвиг на частоте 2,1 ГГц в зависимости от концентрации сахарных сиропов при различных температурах. Разработаны, изготовлены и испытаны датчик с приемопередающими антеннами в виде четверть волновых диполей (ЧВД), волноводный, и коаксиальный датчики. Исследовано влияние температуры на точность измерения влажности.

**Введение**

Свойства водных растворов сахарозы представляют не только фундаментальный, но и значительный прикладной интерес с точки зрения совершенствования технологии производства сахара [ 1 ]. Концентрация, вязкость, электропроводность, диэлектрическая проницаемость и другие свойства растворов сахарозы тесно связаны с концентрацией или влажностью. Для жидких бинарных систем концентрация и влажность связаны соотношением  $C=1-W$ ,  $C$  – концентрация,  $W$  – влажность, поэтому в дальнейшем мы будем использовать термин влажность.

**Цель работы.**

Исследовать возможность измерения влажности сахарных сиропов в процессе их сгущения в вакуум-аппаратах, в широком диапазоне влажности и температуры.

**1. Материалы и приготовление проб.**

Сахарный сироп готовился путем растворения очищенного сахара в воде. Влажность  $W$  раствора определялась как весовое отношение воды к общей массе раствора, концентрация как  $100-W$ .

Диэлектрическая проницаемость измерялась мостовым методом в прямоугольных волноводах. [2]

Фазовый сдвиг в коаксиальном датчике и в датчике с четвертьволновыми диполями (ЧВД) измерялись мостовым методом с использованием механического коаксиального фазовращателя. Толщина слоя материала составляла 55 мм в коаксиальном датчике и 40 мм в ЧВД датчике.

## 2. Измерение диэлектрической проницаемости сахарных сиропов.

Измерения диэлектрической проницаемости ( дп) проводились методом измерения фазовых сдвигов при разных толщинах материалов.

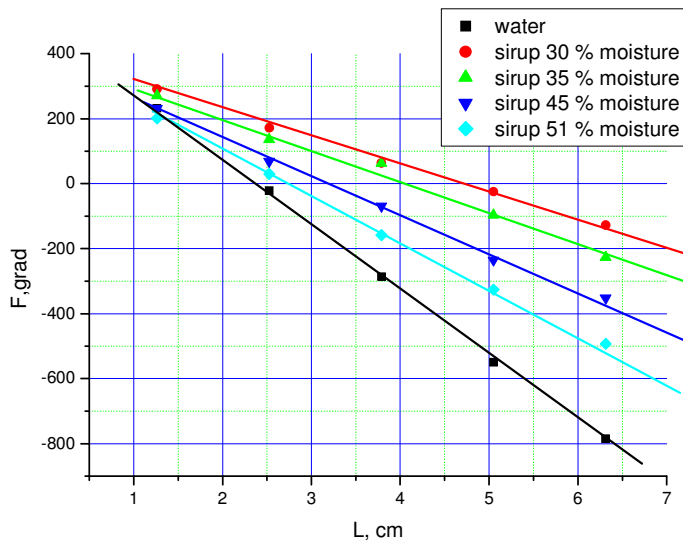


Рис.1. Зависимость фазовых сдвигов в воде и сахарных сиропах при разной влажности и температуре 20 гр. на частоте 2,1 ГГц.

На Рис.1. показана зависимость действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости воды и сахарного сиропа при разной влажности. В Таблице 1 показаны вычисленные по крутизне наклона прямых ДП воды и сиропов.

Таблица 1.

	$E'$
Вода	80
Сироп 30 %	18
Сироп 35 %	23,5
Сироп 45 %	30,4
Сироп 51 %	41,8

## 3. Исследование датчиков измерения влажности.

Разработаны, изготовлены и испытаны датчик с приемопередающими антеннами в виде четверть волновых диполей, волноводный и коаксиальный датчики.

Результаты представлены на рисунках 2, 3, 4.

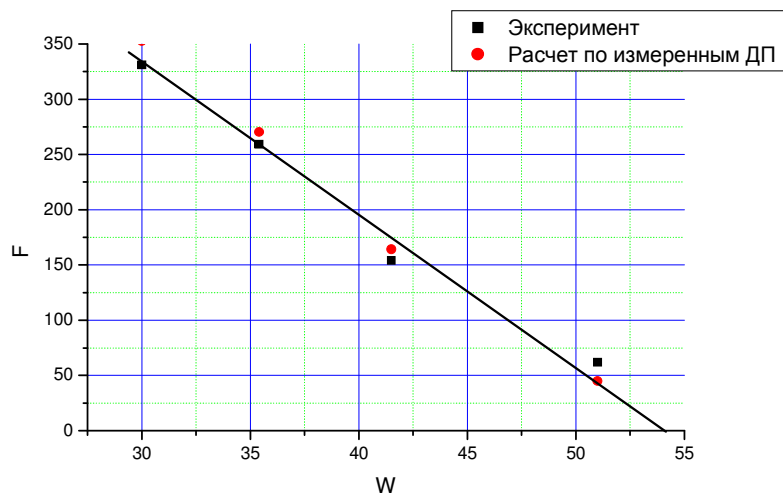


Рис.2. Зависимость фазового сдвига от влажности в коаксиальном датчике  $L=55$  мм,  $t=20$  град. Эксперимент и расчет по ДП, полученным в этой работе в Разделе 2.

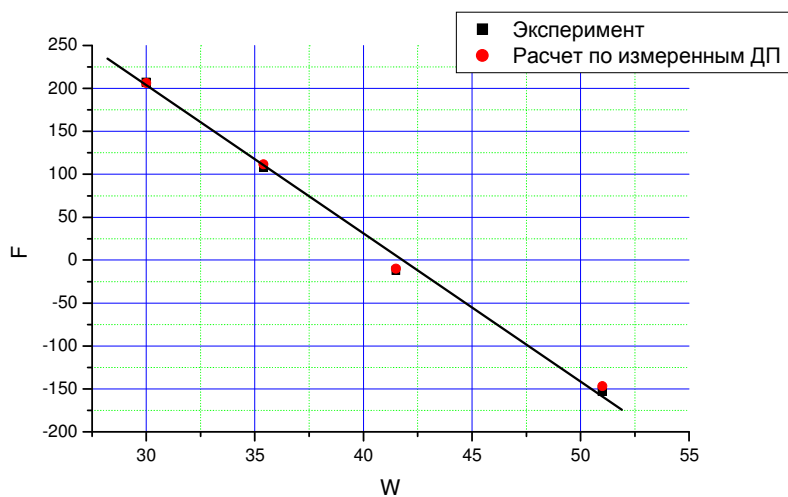


Рис.3. Зависимость фазового сдвига от влажности в волноводном датчике  $L=63$  мм,  $t=20$  град. Эксперимент и расчет по ДП, полученным в этой работе в Разделе 2.

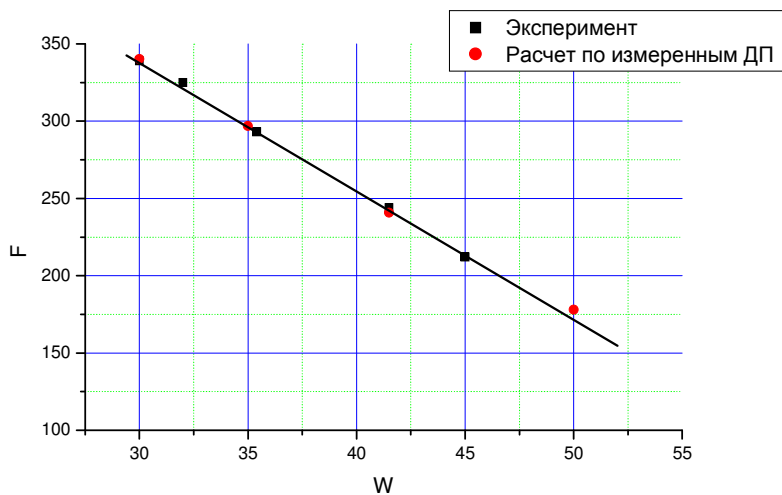


Рис.4. Зависимость фазового сдвига от влажности в датчике с четвертьволновыми вибраторами  $L=29$  мм,  $t=20$  град. Эксперимент и расчет по ДП, полученным в этой работе в Разделе 2.

#### 4. Температурные исследования.

Влияние температуры на фазовые сдвиги исследовались в коаксиальных датчиках с  $L=55$  мм и  $L=25$  мм. Результаты представлены на Рис. 5. Видно, что температурные зависимости носят достаточно сложный характер, с минимумами при разных температурах для разных концентраций. Введение температурной коррекции позволяет в диапазоне влажности 20-50 % и температур 30-95 градусов получить результаты измерения влажности с удовлетворительной точностью. (Рис.6.)

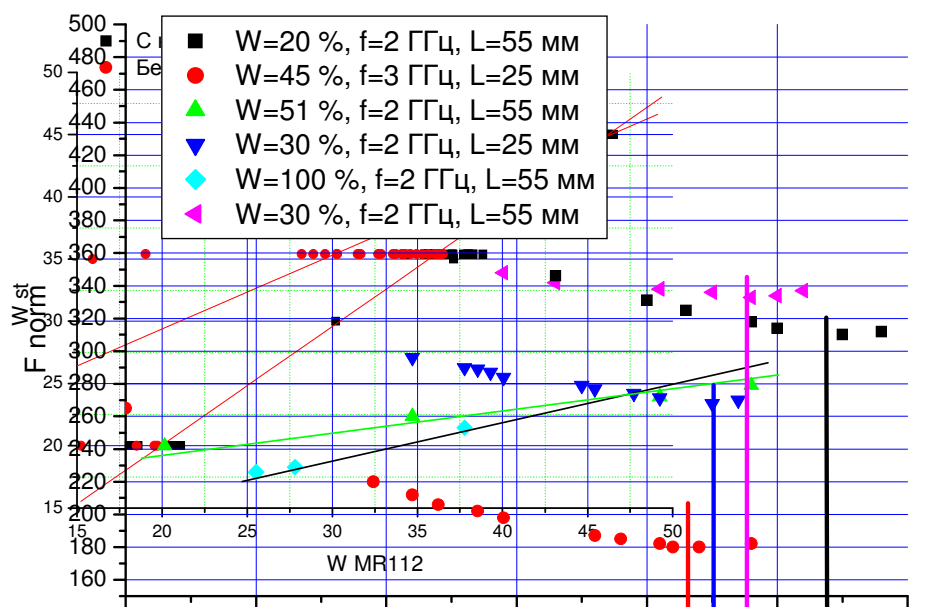


Рис.5. Температурные зависимости сдвига фаз в сиропах от температуры.

#### Выводы и обсуждение.

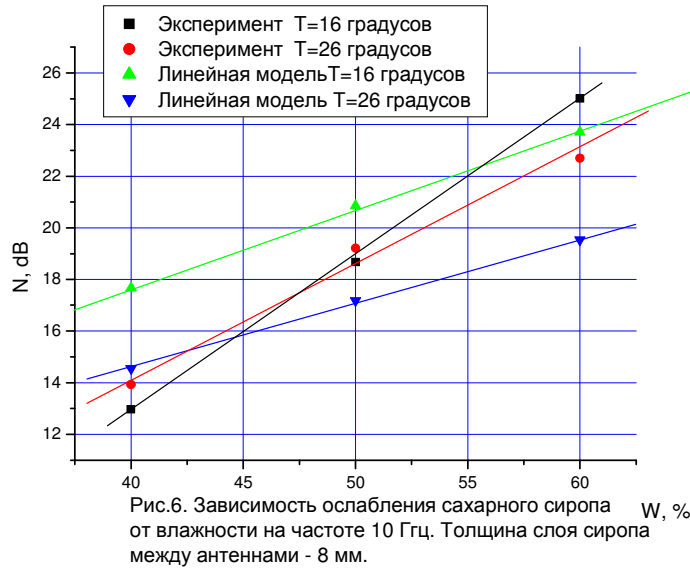
Проведенные исследования показывают линейную зависимость фазовых сдвигов от влажности сиропов для всех рассматриваемых датчиков и хорошее совпадение экспериментальных данных с расчетными. Сложный характер температурных зависимостей на Рис.5. и противоположные знаки температурных коэффициентов для воды и сиропов указывают на водородные связи между молекулами воды и сахарозы и образование кластерной структуры вода - сахароза.[2] Наличие температурных минимумов свидетельствует о неустойчивом характере этих кластеров и их изменениях с температурой, однако в технологически необходимых диапазонах влажности и температуры введение температурной коррекции позволяет измерять влажность сахарных сиропов с достаточной точностью 1-1,5 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Allen A.T., Wood R.M. // Sugar Technology Review. – 1974. – 2. – P. 165 – 179.
2. Л.Д.Бобровник, А.М.Грехов, И.С.Гулый. Энергетические характеристики структур в водных растворах сахарозы. Журнал структурной химии. 1998, Том 39, № 5, , стр. 864-871

## Дополнение 1.

Для проверки возможности измерения влажности сахарного сиропа на частоте 10 ГГц и 32 ГГц методом поглощения измерялось ослабление, вносимое приготовленными пробами в плоской кювете между рупорными антеннами. Толщина сахарного сиропа составляла 8 мм для 10 ГГц и 3,6 мм для 32 ГГц. Результаты представлены на Рис. 7 и Рис.8 соответственно. Несмотря на линейную корреляцию между ослаблением и



влажностью сиропов в обоих случаях, необходимо отметить, что как общий ход зависимостей, так и температурные коэффициенты существенно отличаются от расчетных по линейной модели. Это говорит о том, что структурные особенности сиропов влияют на мнимую часть дп проницаемости смеси сахара-воды вплоть до частоты 32 ГГц. Учитывая, что реальные сахарные сиропы на сахарных заводах имеют состав намного сложнее, чем очищенный сахар, и этот состав, безусловно, будет влиять на структуру получаемого сиропа, применять в реальном производстве прямые методы поглощения для измерения влажности сиропов следует с чрезвычайной осторожностью.

