

## ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ САХАРНОГО СИРОПА В ПРОИЗВОДСТВЕ КАРАМЕЛЬНОЙ МАССЫ

Гущин В.С. студент; Корнев В.Д. доц., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

### Общая постановка проблемы.

Производство кондитерских изделий является одной из самых развитых отраслей пищевой промышленности. Карамель по объему производства занимает одно из первых мест среди кондитерских изделий. Карамель - это кондитерское изделие, которое получено при уваривании сахарного раствора с крахмальной патокой или инвертным сиропом до карамельной массы влажностью от 1,5 до 4%. В качестве основного сырья для производства карамели используют сахар-песок и крахмальную патоку (или инвертный сироп), а также фруктово-ягодные полуфабрикаты, молочные продукты, жиры, яичный белок, какао-продукты, пищевые кислоты, и т.п.

Процесс приготовления сиропа состоит из двух операций: растворение сахара и уваривания полученного сиропа до нужной концентрации [1]. Процесс приготовления сахарного сиропа осуществляют в сироповарочных станциях. Растворения сахара и весь процесс приготовления сиропа проходят при нагревании паром, для чего варочная колонка снабжена змеевиком и паровой рубашкой. За счет нагревания температура сиропа при уваривании достигает 120°C (иногда 140°C). Повышение температуры создает условия для быстрого растворения сахара в меньшем количестве воды. Весь цикл приготовления сиропа продолжается примерно 50 минут. Из них продолжительность уваривания сиропа составляет не больше 25 минут.

Сахарный сироп в зависимости в зависимости от рецептуры его приготовления, имеет в среднем следующий химический состав [1]: а) сахарный сироп, который приловлений на обычной карамельной патоке имеет (в%) сахарозы 58, декстрина 20 глюкозы 10 мальтозы 7, фруктозы 3, влаги 2; б) сахарный сироп, приготовленный добавлением вместо патоки инвертного сиропа, имеет сахарозы (78-80), инвертного сахара (18-20), влаги 2. По физическому состоянию горячий сахарный сироп представляет собой вязкую жидкость, вязкость которой при охлаждении сильно увеличивается.

Для получения сахарного сиропа заданного качества необходимо в процессе приготовления контролировать его температуру. Повышенная температура сиропа в процессе формирования приводит к структурообразованию, а при пониженной температуре ускоряется процесс кристаллизации сахарозы. В процессе уваривания сиропа температура может изменяться в диапазоне от плюс 100 до плюс 120 °С, при этом точность измерения температуры должна быть не хуже  $\pm 1^\circ\text{C}$  [2]. При обработке сахарного сиропа и карамельной массы необходимо соблюдать, рекомендуемые температурные параметры.

Влажность сахарного сиропа - важнейший технологический параметр, определяющий ход процесса и качество готовой продукции. Влажность сиропа можно определить при известной величине в сухих веществ в сахарозы. При высоком содержании сухих веществ в сиропе карамель при прочих равных условиях дольше сохраняет свои аморфные свойства.

Таким образом, в процессе приготовления карамельного сиропа необходимо постоянно контролировать температуру увариваемого раствора, процентное содержание сахара в растворе (концентрацию сахарозы) и его вязкость. В данной работе основное внимание уделяется измерению процентного содержания сахара в растворе, т.е. концентрации сахарозы в нем.

### Решение задачи, результаты исследований.

Известно, что концентрацию сахарозы в карамельном сиропе (в растворе сахара) можно определить косвенным методом по результатам прямых измерений температуры раствора и

его плотности. В [3] показано, что в условиях производства карамели наиболее приемлемым способом измерения текущего значения плотности сиропа в реальном времени является применение гидростатического метода. Принцип измерения плотности раствора « $\rho$ » этим методом основан на использовании известной зависимости  $P=\rho \cdot h \cdot g$  между плотностью раствора « $\rho$ » и ее гидростатическим давлением « $P$ » на определенной глубине « $h$ », измеряемой от поверхности сиропа, где  $g$  — ускорение силы тяжести. При постоянной высоте столба жидкости его гидростатическое давление служит мерой плотности раствора.

На рис. 1 показана схема гидростатического плотномера [3], в котором текущее значение плотности карамельного сиропа определяется по разности давлений и с помощью измерительного преобразователя разности давлений преобразуется в пропорциональный электрический сигнал. Сироп находится в емкости 1, в которой поддерживается примерно постоянный уровень (что принципиально не обязательно). Газ (воздух, нагнетаемый компрессором) при небольшом избыточном давлении поступает в трубки 2 и 3 плотномера, барботирует через сироп и выходит в атмосферу. Одновременно давление газа в трубке 2 (и 3), равное давлению столба сиропа высотой  $h_1$  (и  $h_2$ ), подается на вход измерительного преобразователя разности давлений 4. Таким образом, с помощью двух трубок разной длины, помещенных в сироп, и измерительного преобразователя разности давлений (ИПРД) осуществляется измерение перепада давления  $P$ , обусловленного разностью уровней  $h=h_1-h_2$ . Текущие значения перепада давления  $P(t)$  и плотность сиропа  $\rho(t)$  связаны между собой зависимостью

$$P(t)=h \cdot g \cdot \rho(t)=k \cdot \rho(t),$$

(где  $k=h \cdot g=\text{const}$ ), так как база измерения  $h=\text{const}$ . Выходной сигнал ИПРД, пропорциональный текущему значению перепада  $P(t)$ , пересчитывается в специальном устройстве в текущее значение плотности сиропа, а по текущей плотности  $\rho$  и температуре сиропа  $T$  рассчитывается концентрация сахара  $C(t)$  в сиропе.

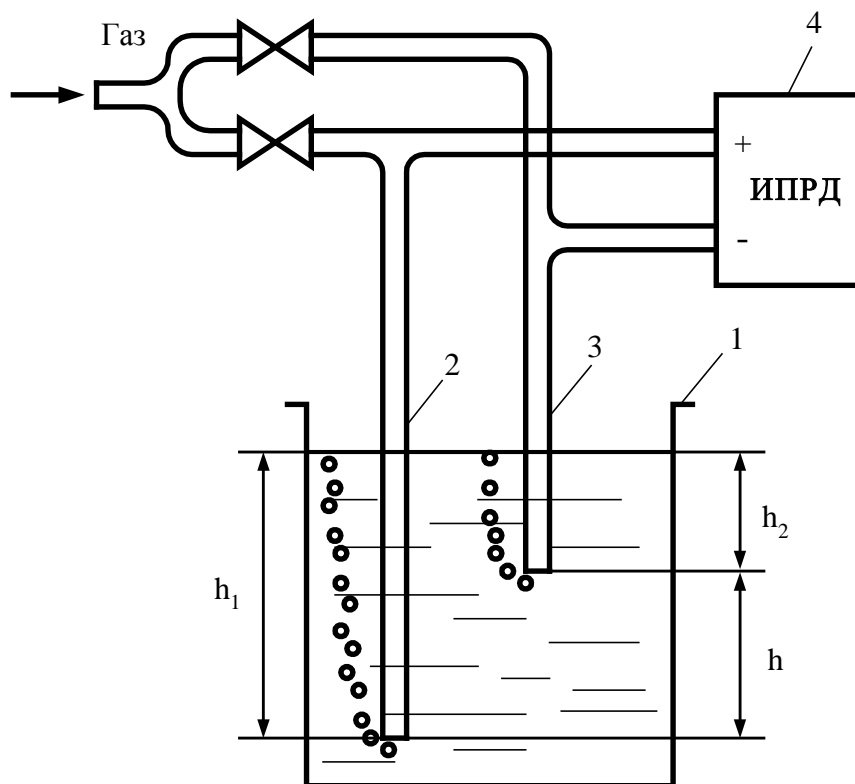


Рисунок 1 — Схема гидростатического плотномера

Таким образом, метод измерения концентрации сахара в сиропе по плотности и температуре с использованием гидростатического плотномера позволяет выполнять

измерения текущих значений плотности и концентрации сиропа в реальном времени, что очень важно для осуществления постоянного теххимического контроля процесса и его автоматизации. Оценим погрешности измерения плотности и концентрации сахара в сиропе.

Используя справочные данные определяем, что при изменении концентрации сахарного раствора, используемого в карамельном производстве, и его температуры плотность раствора изменяется в диапазоне от 1,3 г/см<sup>3</sup> до 1,5 г/см<sup>3</sup>. Представляем текущую плотность раствора « $\rho$ » в виде  $\rho = \rho_{\min} + \Delta\rho$ . Тогда разность давлений « $P$ » можно записать:

$$P = (\rho_{\min} + \Delta\rho) \cdot g \cdot h = \rho_{\min} \cdot g \cdot h + \Delta\rho \cdot g \cdot h = P_{\min} + \Delta P,$$

где  $P_{\min} = \rho_{\min} \cdot g \cdot h$  — минимальная разность давлений в схеме измерения;  $\Delta P = \Delta\rho \cdot g \cdot h$  — изменение разности давлений в схеме измерения, обусловленное изменением плотности раствора.

Пусть  $\Delta\rho = \rho_{\max} - \rho_{\min} = (1,5 - 1,3) \text{ г/см}^3 = 0,20 \text{ г/см}^3$ ,  $g = 10 \text{ м/с}^2$ ,  $h = 0,1 \text{ м}$ .  
Тогда:

$$\Delta P = \Delta\rho \cdot g \cdot h = 0,20 \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = 2000 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}^2} = 200 \text{ Па};$$

$$P_{\max} = \rho_{\max} \cdot g \cdot h = 1,5 \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = 15000 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}^2} = 1500 \text{ Па} = 1,5 \text{ кПа}.$$

Для измерения разности давлений (перепада давлений)  $P_{\max}$  следует использовать стандартный измеритель разности давлений (например, Сапфир-22ДД модели 2140) с верхним пределом измерения 1,6 кПа. Наиболее точный преобразователь этого типа имеет предел допускаемой приведенной погрешности  $\gamma_p = \pm 0,25\%$ , т.е. предельное значение абсолютной погрешности измерения разности давлений составит:

$$\Delta_p = \frac{1,6 \text{ кПа} \cdot (\pm 0,25\%)}{100\%} = \pm 4 \cdot 10^{-3} \text{ кПа} = \pm 4 \text{ Па}.$$

Таким образом, при изменении плотности раствора на 0,200 г/см<sup>3</sup> разность давлений будет изменяться на 200 Па, если  $h = 0,1 \text{ м}$ . Измерение этой разности давлений можно выполнить с погрешностью  $\pm 4 \text{ Па}$  с помощью ИПРД типа Сапфир-22ДД модели 2140 (наиболее точное стандартное СИ разности давлений в настоящее время).

Для оценки погрешности измерения плотности в данной схеме полагаем, что значения « $g$ » и « $h$ » известны с высокой точностью. Тогда можно определить погрешность измерения плотности по известной погрешности измерения разности давлений  $\Delta_p = \pm 4 \text{ Па}$ :

$$\Delta_\rho = \frac{\Delta_p}{g \cdot h} = \frac{\pm 4 \text{ Па}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м}} = \pm 0,004 \text{ г/см}^3.$$

Теперь можно оценить погрешность измерения концентрации сахарного раствора, обусловленную погрешностями измерения плотности раствора и его температуры:

$$\Delta_c(P) = 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial T} \cdot \Delta_T\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial \rho} \cdot \Delta_\rho\right)^2}.$$

Частные производные  $\frac{\partial C}{\partial T}$  и  $\frac{\partial C}{\partial \rho}$  определяем, используя табулированные зависимости  $\rho = f(C, T)$ :

$$\left. \frac{\partial C}{\partial T} = \frac{\Delta C}{\Delta T} \right|_{\rho = const} = \frac{70\% - 65\%}{95^{\circ}C - 45^{\circ}C} \Big|_{\rho = 1,305} = 0,1 \left( \frac{\%}{^{\circ}C} \right);$$

$$\left. \frac{\partial C}{\partial \rho} = \frac{\Delta C}{\Delta \rho} \right|_{T = const} = \frac{70\% - 65\%}{1,334 - 1,302} \Big|_{T = 100} = 150 \left( \frac{\%}{г/см^3} \right);$$

Приняв  $\Delta T = \pm 1^{\circ}C$  и  $\Delta \rho = \pm 0,004 г/см^3$  (см. выше), получаем:

$$\Delta C = 1,1 \cdot \sqrt{(0,1 \cdot 1)^2 + (150 \cdot 4 \cdot 10^{-3})^2} = 0,61 (\%) = 0,61 (\text{ед. конц.}).$$

Таким образом, измерение концентрации сахарного раствора в устройстве, показанном на рис. 1 при  $h=0,1$  м, может быть выполнено с погрешностью, не превышающей  $\pm 0,6\%$  (ед. конц.).

#### **Выводы.**

1. Выполнена оценка погрешности измерения плотности сахарного сиропа гидростатическим плотномером и концентрации «С» сахарного сиропа косвенным методом по результатам измерения температуры «Т» и плотности «ρ». Установлено, что при базе измерения  $h=0,1$  м значение абсолютной погрешности измерения разности давлений в диапазоне (1,3...1,5) кПа не превышает  $\pm 4$  Па при использовании наиболее точного стандартного ИПРД (приведенная погрешность  $\gamma_P = \pm 0,25\%$ ) с минимальным верхним пределом измерения 1,6 кПа. При этом погрешность измерения плотности сахарного сиропа в диапазоне (1,3...1,5) г/см<sup>3</sup> не превышает  $\pm 0,004$  г/см<sup>3</sup>, а доверительная погрешность определения концентрации сиропа ( $P=0,95$ ) в диапазоне температур (100...150)°С вдвое превышает погрешность лабораторного рефрактометра РПЛ-3 и равна 0,6% (ед. конц.). Эта погрешность велика и для практического применения устройства должна быть уменьшена хотя бы в 2 раза.

2. Анализ показывает, что значительная погрешность измерения плотности раствора в приведенной схеме обусловлена тем, что сравнительно малые изменения разности давлений, обусловленные изменением плотности сиропа при уваривании, измеряются на фоне значительной постоянной разности давлений ( $\approx 1,5$  кПа).

3. Дальнейшую работу планируется продолжить в направлении повышения точности гидростатического метода измерения плотности с целью уменьшения погрешности измерения концентрации сахарного сиропа.

#### **Перечень ссылок**

1. Лурье И.С. Руководство по технологическому контролю в кондитерском производстве. — М.: Пищевая промышленность. — 1978. — 278 с.
2. Антопольская М.Я., Бронштейн И.Н. Справочник по сырью, полуфабрикатам и готовым изделиям кондитерского производства. — М.: Пищевая промышленность, 1964.
3. Корнев В.Д., Бей С.В. Повышение точности гидростатического измерителя плотности карамельного сиропа. //Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: обчислювальна техніка та автоматизація.-Донецьк: ДонНТУ, 2012.- №23(201).- С. 165–170.