

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 « ρ » этим методом основан на использовании известной зависимости $P=\rho \cdot h \cdot g$ между плотностью раствора « ρ » 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 ρ и температуре сиропа T рассчитывается концентрация сахара $C(t)$ в сиропе.

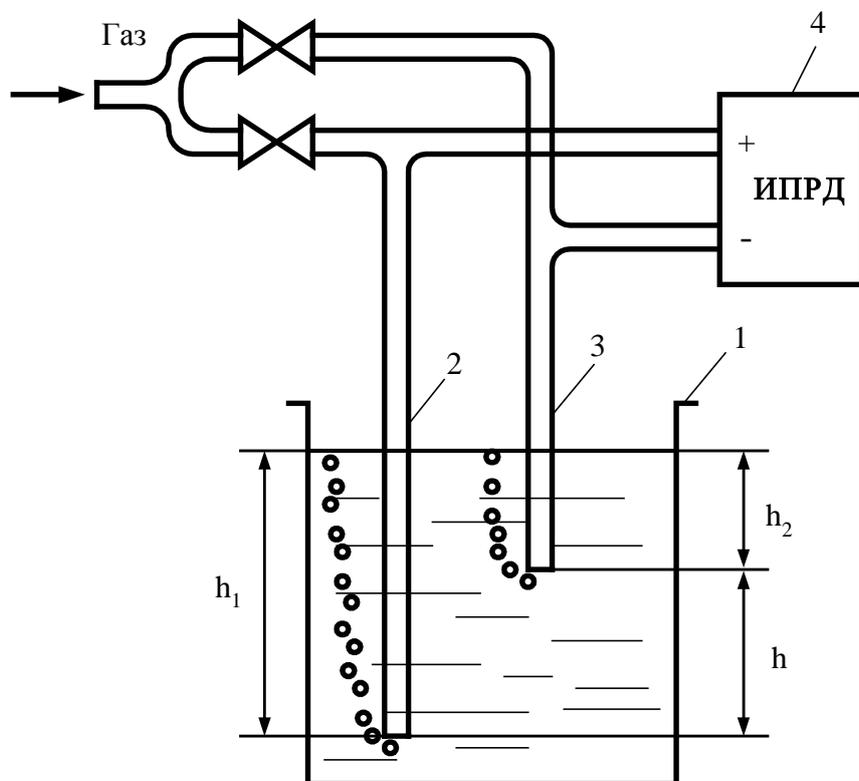


Рисунок 1 — Схема гидростатического плотномера

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 $1,3 \text{ г/см}^3$ до $1,5 \text{ г/см}^3$. Представим текущую плотность раствора « ρ » 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 $1,6 \text{ кПа}$. 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 $0,200 \text{ г/см}^3$ 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 ± 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/см³ не превышает $\pm 0,004$ г/см³, 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.