

УДК 53.088.3: 664.15

В.Д. Корнев (канд. техн. наук, доц.), С.В. Бей (магистрант)
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра электронной техники
E-mail: kaf-et@kita.dgtu.donetsk.ua

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ КАРАМЕЛЬНОГО СИРОПА

Выполнен анализ структуры и оценено соотношение составляющих погрешности косвенного определения концентрации карамельного сиропа по результатам измерения его температуры и плотности гидростатическим методом. Показано, что для обеспечения требуемой точности в системе контроля параметров сиропа следует использовать измеритель концентрации на основе гидростатического плотномера с компенсацией постоянного уровня.
Ключевые слова: сироп сахарный, плотность, концентрация, температура, точность, метод гидростатический, плотномер, погрешность.

Общая постановка проблемы

Карамель по объему производства занимает одно из первых мест среди различных видов кондитерских изделий. Для выпуска карамели высокого качества с минимальными затратами сырья и энергоносителей необходимо в течение всего технологического процесса приготовления карамельного сиропа (уваривания сиропа) осуществлять его постоянный теххимический контроль. Основными контролируруемыми параметрами являются процентное содержания сахара (концентрация сахара) в сиропе, температура сиропа, продолжительность обработки, вязкость сиропа в слегка охлажденном состоянии.

Известно, что концентрацию сахара в карамельном сиропе (в растворе сахара) можно определить косвенным путем по результатам измерения температуры раствора и его плотности. В [1] показано, что наиболее приемлемым способом измерения текущего значения плотности сиропа в реальном времени является применение гидростатического метода. Принцип измерения плотности этим методом основан на использовании зависимости между плотностью жидкости ρ и ее гидростатическим давлением P на определенной глубине h , измеряемой от поверхности жидкости:

$$P = \rho \cdot h \cdot g,$$

где g — ускорение силы тяжести.

При постоянной высоте столба жидкости его гидростатическое давление служит мерой плотности жидкости (раствора). Давление столба жидкости можно измерять с помощью преобразователя разности давлений.

На рис. 1 показана схема гидростатического плотномера [2], 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 изме-

рение 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.

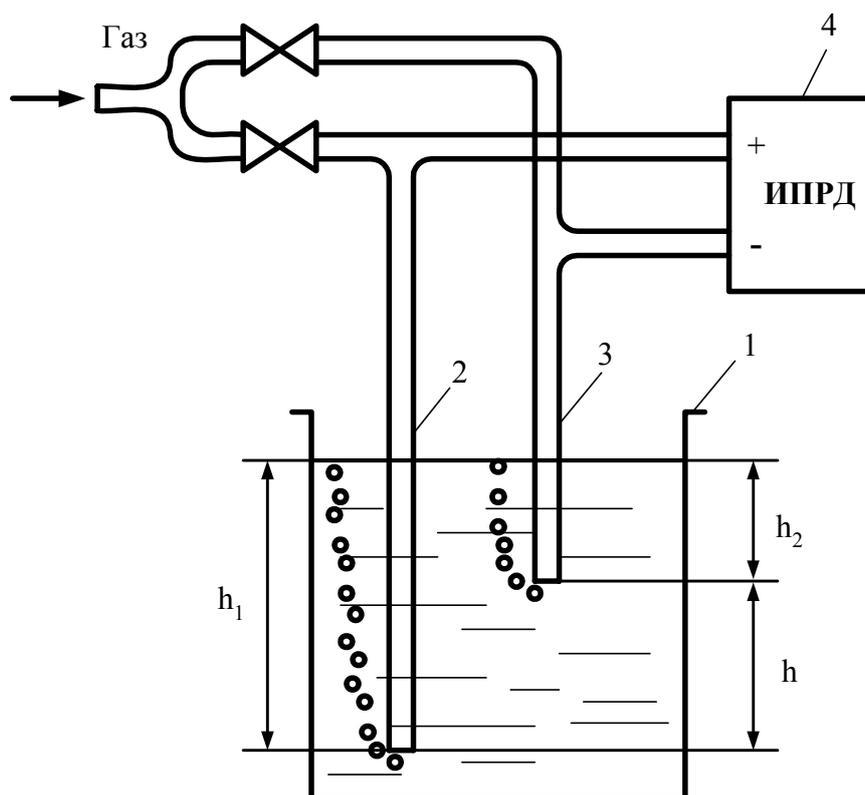


Рисунок 1 — Схема гидростатического плотномера

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.

Постановка задачи исследования

В работе [2] оценена погрешность измерения концентрации C сахарного сиропа косвенным методом по результатам измерения температуры T и плотности ρ гидростатическим плотномером. Установлено, что в приведенной на рис. 1 схеме плотномера при базе измерения $h=0,1$ м предельное значение абсолютной погрешности измерения разности давлений в диапазоне (1,3...1,5) кПа составляет ± 4 Па даже при использовании наиболее точного стандартного ИПРД (предел допускаемой приведенной погрешности $\gamma_P = \pm 0,25\%$) с верхним пределом измерения 1,6 кПа. При этом предельная погрешность измерения плотности сахарного сиропа в диапазоне (1,3...1,5) г/см³ составляет $\pm 0,004$ г/см³, а доверительная граница погрешности определения концентрации сиропа ($P=0,95$) в диапазоне температур (100...150)°С вдвое превышает погрешность лабораторного рефрактометра РПЛ-3 и равна

0,7% (ед. конц.). Совершенно очевидно, что эта погрешность велика и для практического применения устройства должна быть уменьшена хотя бы в 2-3 раза.

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

Решение задачи, результаты исследований

Анализ структуры и оценка соотношения составляющих погрешности измерения концентрации сиропа (косвенного измерения) с использованием гидростатического плотномера позволяют сделать следующие выводы:

а) вклад погрешности измерения плотности сиропа в погрешность измерения его концентрации в 5-6 раз превышает вклад погрешности измерения температуры (при $\Delta_T = \pm 1^\circ \text{C}$), что обусловлено более сильной зависимостью концентрации сиропа от его плотности, чем от температуры, в рабочем диапазоне изменения параметров процесса. Значит, для повышения точности измерения концентрации сахарного сиропа необходимо, в первую очередь, повышать точность гидростатического плотномера;

б) невозможно существенно (в несколько раз) повысить точность приведенной выше схемы плотномера за счет ощутимого увеличения базы измерения h (как это может показаться на первый взгляд). С ростом базы измерения увеличивается не только диапазон изменения измеряемой разности давлений

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

но и максимальное значение измеряемой разности давлений

$$P_{\max} = \rho_{\max} \cdot g \cdot h,$$

что обусловит необходимость применения ИПРД с более высоким верхним пределом измерения, а значит — с большей абсолютной погрешностью;

в) ощутимое повышение точности гидростатического метода измерения плотности может обеспечить схема построения плотномера, в которой верхний предел измерения разности давлений использованного ИПРД равен или незначительно превышает диапазон изменения измеряемой разности давлений $\Delta P = \Delta \rho \cdot g \cdot h$ при изменении плотности сиропа.

В схеме измерения разности давлений, приведенной на рис. 2 (с компенсацией постоянного уровня — см. [3]), разность давлений, измеряемая ИПРД, равна:

$$P = \rho_X \cdot g \cdot h - \rho_0 \cdot g \cdot h_0,$$

где ρ_X — плотность контролируемого сахарного сиропа; ρ_0 — плотность эталонной жидкости ($\rho_0 = \text{const}$).

Выбором эталонной жидкости (ее плотности ρ_0 и высоты столба h_0) в этой схеме измерения можно обеспечить:

$$P = \rho_X \cdot g \cdot h - \rho_0 \cdot g \cdot h_0 = 0.$$

Если принять, что текущее значение плотности сиропа $\rho_X = \rho_{\min} + \Delta \rho$ и приведенное выше условие выполняется при $\rho_X = \rho_{\min}$, то для выбора ρ_0 и h_0 можно воспользоваться следующим равенством:

$$\rho_{\min} \cdot h = \rho_0 \cdot h_0.$$

В таком случае диапазон изменения разности давлений, обусловленный изменением плотности сиропа, в этой схеме равен:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta \rho \cdot g \cdot h = (\rho_{\max} - \rho_{\min}) \cdot g \cdot h = (1,5 - 1,3) \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = \\ &= 200 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}^2} = 0,2 \text{ кПа}, \end{aligned}$$

а ИПРД может иметь верхний предел измерения, равный:

$$P_{\max} = \Delta \rho_{\max} \cdot g \cdot h = 0,2 \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,1 \text{ м} = 0,2 \text{ кПа}$$

при $g = 10 \text{ м/с}^2$ и $h = 0,1 \text{ м}$.

Таким образом, за счет компенсации постоянного уровня в этой схеме для измерения $P_{\max} = 0,2 \text{ кПа}$ можно применить стандартный измерительный преобразователь разности давлений с верхним пределом измерения $0,25 \text{ кПа}$ и пределом допускаемой приведенной погрешности $\gamma_p = \pm 0,5\%$ (самый точный для данного диапазона).

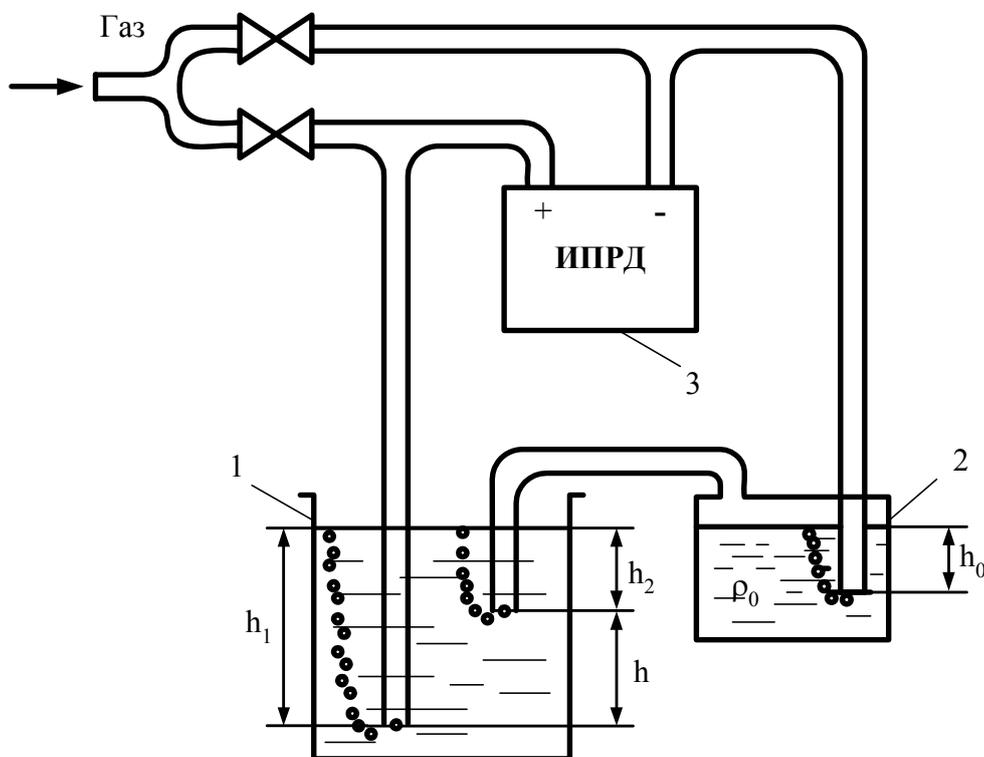


Рисунок 2 — Схема гидростатического плотномера с компенсацией постоянного уровня

Выводы

1. Применение схемы гидростатического плотномера ($h = 0,1 \text{ м}$) с компенсацией постоянного уровня (рис. 2) обеспечит:

- а) измерения разности давлений с предельным значением абсолютной погрешности $\Delta p = \pm 1,2 \text{ Па}$ (вместо $\pm 4 \text{ Па}$ в схеме без компенсации постоянного уровня);
- б) предельную абсолютную погрешность измерения плотности сиропа

$$\Delta \rho = \frac{\pm 1,2 \text{ Па}}{(10 \text{ м/с}^2) \cdot 0,1 \text{ м}} = \pm 0,0012 (\text{г/см}^3);$$

в) измерения концентрации сиропа с предельной абсолютной погрешностью $\Delta_c = \pm 0,23\%$ (ед. конц.) при доверительной вероятности $P=0,95$.

2. В устройстве контроля параметров сахарного сиропа карамельного производства для обеспечения требуемой точности результатов измерений следует использовать измеритель концентрации на основе гидростатического плотномера с компенсацией постоянного уровня.

3. Расширение диапазона изменения измеряемой разности давлений (0,2 кПа) до значения верхнего предела измерения стандартного ИПРД (0,25 кПа) дает возможность уменьшить погрешности измерения плотности и концентрации сиропа за счет увеличения базы измерения h в $(0,25 \text{ кПа}/0,2 \text{ кПа})=1,25$ раза.

Список использованной литературы

1. Зори А.А. Контрольно-измерительная система параметров кондитерского производства / А.А. Зори, В.Д. Коренев, О.Н. Кузнецова // Труды 1-ой научно-практической конференции «Современная контрольно-испытательная техника промышленных изделий и их сертификация». СКИТ-97. — Мукачево, 1997. — С.82–85.
2. Кузнецова О.Н. Автоматизированная система контроля параметров сахарных растворов кондитерского производства / О.Н. Кузнецова, В.Д. Коренев, А.А. Зори // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. — Донецьк: Донату, 1999. — Вип. 3. — С.370–375.
3. Измерения в промышленности: справочное издание; в 3-х кн. Способы измерения и аппаратура / под ред. П. Профоса; пер. с нем. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1990. — 384 с.

Надійшла до редакції:
31.01.2012 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

V.D. Korenev, S.V. Biei. Increase of precision of hydrostatical measuring device of density of caramel syrup. The analysis of structure is carried out and estimated ratio of the components of measurement error of indirect measurement of the concentration of caramel syrup. Keywords: sugar syrup, density, concentration, temperature, precision, hydrostatical method, device of density measuring, error.

В.Д. Коренєв, С.В. Бєй. Підвищення точності гідростатичного вимірювача щільності карамелевого сиропу. Виконаний аналіз структури та оцінено співвідношення складових похибки непрямого визначення концентрації карамелевого сиропу за результатами вимірювання його температури і щільності гідростатичним методом. Показано, що для забезпечення необхідної точності в системі контролю параметрів сиропу слід використовувати вимірювач концентрації на основі гідростатичного густиноміра з компенсацією постійного рівня. Ключові слова: сироп цукровий, щільність, концентрація, температура, точність, метод гідростатичний, вимірювач густоти, похибка.

© Коренев В.Д., Бей С.В., 2012