

ных результатов. Одной из возможных причин отличия результатов расчета и измерений фаз может быть большая погрешность расходомеров, в частности расходомера TOP при оперативном контроле режимов работы скважин, составляющая  $\pm 6,0\%$ . При дальнейших исследованиях предполагается реализовать как модернизацию АГЗУ с заменой расходомера TOP на массомер с меньшим значением погрешности, так и способ измерений объема жидкости, прошедшей через экспериментальную установку, при помощи дополнительно установленной стационарной емкости.

Внедрение предложенного метода в производственный процесс позволит сократить затраты на эксплуатацию такого дорогостоящего и громоздкого оборудования, как АГЗУ, а получение текущих результатов и обработка этих данных в режиме реального времени позволит в перспективе проводить мониторинг работы скважины и принимать оперативные решения по режиму ее работы.

#### Литература

1. **ГОСТ Р 8.615—2005.** ГСИ. Измерения количества извлекаемой из недр нефти и нефтяного газа. Общие метрологические и технические требования.
2. **Кремлевский П. П.** Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1975.
3. **ГОСТ 31369—2008.** Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава.
4. **ГОСТ 3900—85.** Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности.
5. **ГОСТ 8.207—76.** ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
6. **МИ 2083—90.** ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

Дата принятия 19.03.2013 г.

621.317

## Анализ воздействия влияющих факторов на результаты измерений влажности материала на высоких частотах

Б. П. ИСКАНДАРОВ\*, П. И. КАЛАНДАРОВ\*\*

\*Азиатский Тихоокеанский университет технологии и инновации, Куала-Лумпур, Малайзия,  
e-mail: bek3006@bk.ru

\*\*Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан,  
e-mail: Polvon\_1955@yahoo.com

*Выполнен анализ воздействия влияющих факторов на результаты измерений влажности жидких, пастообразных и сыпучих материалов. Разработаны рекомендации по построению электрической модели первичного измерительного преобразователя.*

**Ключевые слова:** измерительный преобразователь, высокочастотный метод, контроль влажности, мешающие факторы.

*The analysis of influence of interfering factors on measurement of moisture of liquid, paste-like, and friable materials is carried out. The recommendations on construction of electrical model of primary transmitter are worked out.*

**Key words:** transmitter, high-frequency method, humidity control, interfering factors.

Управление технологическими процессами (ТП) и объектами в виде автоматического регулирующего воздействия возможно лишь при измерительном преобразовании и получении данных о требуемом информативном параметре, характеризующем ход ТП или состояние исследуемого объекта. Измерения и приборы при управлении ТП применяются в различных отраслях народного хозяйства. Проектирование средств измерений в составе автоматических систем управления ТП играет большую роль при построении автоматических систем регулирования, а также контроле

протекания ТП промышленного производства, где требуется измерительная информация в удобной для дальнейшего преобразования форме.

При использовании прямых измерений влажности преобладающую роль отдают измерению массовой доли влаги термогравиметрическим методом, являющимся базовым при оценке погрешностей косвенных методов. Суть метода заключается в выделении влаги из материала при высушивании в специальных аппаратах до определенной массы. Этот метод хорошо изучен и проанализирован большин-

ством исследователей, занимающихся вопросами контроля влажности, и характеризуется высокой точностью измерений, что обуславливает его применение в качестве лабораторного и образцового [1]. Однако он сложен, требует длительного времени измерений, и используемая аппаратура имеет большие габаритные размеры.

Высокочастотная технология (ВЧ-метод) измерений массовой доли влаги в различных материалах обладает некоторыми преимуществами косвенных методов измерений [2]. В ряде отраслей промышленности широко распространены ВЧ влагометрические системы. Это связано с тем, что о содержании влаги в исследуемых материалах можно судить по его диэлектрической проницаемости. Однако ни один продукт нельзя рассматривать как идеальный диэлектрик, поскольку электрическая энергия, подводимая к заполненному продуктом конденсаторному преобразователю, расходуется не только на перезаряд конденсатора, но и рассеивается в виде тепловых потерь в диэлектрике. Таким образом, практически измеряется не истинная, а кажущаяся емкость конденсатора, существенно зависящая от паразитных потерь. Если контролируемый продукт рассматривать как диэлектрик, заполняющий преобразователь, то эквивалентная схема преобразователя может быть представлена в виде цепи.

Обратимся к процессам измерительного преобразования электрофизических характеристик жидких и сыпучих веществ и материалов с точки зрения научно-методических вопросов повышения точности, быстродействия проектируемых средств и обеспечения достоверности первичной количественной и качественной измерительной информации.

На вход измерительного преобразователя (ИП) подается несколько величин  $X_1, X_2, \dots, X_n$  и определяется выходная величина  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ . Для этой схемы кажущаяся емкость выражается формулой [2]:

$$C_k = C [(1 + r_c / r_m)^2 + (\omega^2 r_m C^2)^{-1}], \quad (1)$$

где  $C$  — истинная емкость преобразователя;  $r_c$  — эквивалентное сопротивление окружающей среды;  $r_m$  — эквивалентное сопротивление потерь проводимости материала;  $\omega$  — круговая частота.

Из (1) следует, что измеряемая кажущаяся емкость  $C_k$  при одном и том же влагосодержании фактически зависит от изменений проводимости материала, характеризуемой величиной  $r_m$ . Это обстоятельство может привести к существенным погрешностям при определении влажности, если не принять специальные меры для компенсации тем или иным способом влияния активных потерь. К числу влияющих факторов относятся: химический и гранулометрический состав пробы, сортность материала, его удельная поверхность, плотность, температура, содержание электролитов и т. д.

Измерения ВЧ-методом на основе зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от массовой доли воды характеризуются значительным снижением погрешности по сравнению с погрешностью метода, основанного на измерении электропроводности материала, при котором наличие ионов солей, переходного сопротивления на электродах и других факторов в значительной степени искажает результаты анализа.

При проектировании и выборе метода измерений, в первую очередь, необходимо учитывать форму связи молекул воды и вещества, обусловленную строением исследуемых материалов. Такие сложные многокомпонентные и неоднородные по структуре материалы, например маргарин, относятся к классу гетерогенных систем и при описании их электрических свойств наряду с методами современной физики диэлектриков приходится учитывать и особенности гетерогенных смесей.

При реализации ВЧ-метода основное значение имеет оптимальный выбор переменной из числа измеряемых параметров объекта исследования, обеспечивающей наибольшую точность определяемой величины. В данном случае главный критерий оптимальности — минимизация числа параметров, наиболее чувствительных к измеряемой величине. В общем случае емкость заполненного контролируемым материалом первичного преобразователя также, как и его сопротивление, является функцией многих параметров:

$$C = f(W, m, t, x, k, \gamma, \dots),$$

где  $W$  — массовая доля влаги в материале;  $m$  — масса;  $t$  — температура;  $x$  — характер распределения влаги;  $k$  — концентрация электролита;  $\gamma$  — электрохимический критерий границы раздела электрод — материал.

Рассмотрим обобщенную структурную схему цепи, представляющую ИП, основанный на электрофизическом (в том числе диэлькометрическом) методе измерения влажности и состоящий из трех последовательно соединенных звеньев. Из [3] известно, что первое звено соответствует преобразованию измеряемой величины — влажности  $W$  — в физическую (в данном случае электрическую) величину  $\epsilon$ , т. е. представляет зависимость принимаемых во внимание в этом методе свойств материала (температуры  $t$ , плотности  $\rho$ , давления  $p$ , химического состава и других величин, влияющих на диэлектрические характеристики исследуемого объекта) от влажности. Второе звено — датчик ИП, преобразующий  $\epsilon$  в выходной сигнал (емкость, комплексное сопротивление или одна из его составляющих), удобный для дальнейшей обработки. Здесь учитывают воздействие формы и массы материала, частоту электрического тока и т. д., влияющих на характеристики измерительного устройства. На выходе третьего звена получают аналоговый или цифровой сигнал  $Y$ .

В переменном электрическом поле основным процессом, определяющим свойства реального диэлектрика, является поляризация [4]. В таких продуктах, как хлопковое масло и маргарин, наблюдаются все известные виды поляризации, но доминирующее значение в ВЧ-диапазоне имеют инерционные виды поляризаций: дипольно-релаксационная и структурная. Если контролируемый материал рассматривать как заполняющий преобразователь диэлектрик, то его эквивалентную схему в общем виде можно представить электрической схемой замещения [5].

Для определения влияния обработки результатов непосредственного измерения и расчета погрешностей воспользуемся уравнением, полученным путем прямых  $n$  измерений  $X_1, X_2, \dots, X_n$ :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

В общем виде погрешность измерения можно представить уравнением

$$\delta = \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \right)^2 \right]^{1/2},$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — значения величин, найденные путем прямых измерений.

При косвенных измерениях необходимо правильно выбирать точность измерения отдельных составляющих, от которых зависит измеряемая величина

$$\delta_{\text{общ}} \approx \left[ \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \right]^{1/2},$$

где  $\delta_i$  — погрешности, обусловленные всеми видами влияющих факторов.

Найденные относительные погрешности указанных факторов (неточности измерений, выборки, градуировки, взвешивания, неоднородности, температуры, концентрации электролитов) сказываются на методических, инструментальных погрешностях и погрешностях метода, используемого при градуировке проектируемых ИП. Оптимизация требует наилучшего выделения полезного сигнала из его смеси. При этом составляющие погрешности среднего квадратического отклонения (СКО) и погрешности, обусловленные неоднородностью анализируемого материала, градуировкой и т. п., поддаются учету на стадии проектирования приборов контроля, и, следовательно, их влияние можно и нужно свести к минимуму. Погрешности, связанные с неоднородностью и температурой анализируемого материала, а также с рядом неизвестных факторов, оказывающих влияние на информативный показатель массовой доли влаги, требуют дополнительных теоретических и экспериментальных исследований. Погрешности, связанные с концентрацией электролитов, могут не учитываться при оценке общей погрешности измерения массового отношения влаги, поскольку их влияние невелико. Для выбора диапазона измерения необходимо решить одновременно две задачи: определение инструментальной и систематической погрешностей.

При оценке достоверности результата измерения, равного среднему значению  $\bar{X}$ , применяют показатель точности, который согласно теории погрешности в  $\sqrt{n}$  раз меньше оценки СКО результата отдельного измерения. Параметр,

характеризующий случайную погрешность, позволяет оценить точность каждого измерения, выполненного тем же прибором или измерительной установкой и в тех же условиях.

Таким образом, при математическом описании зависимости диэлектрических свойств исследуемых материалов от влажности необходимо принимать во внимание особенности материалов. При экспериментальном исследовании в поле высокой частоты диэлектрических свойств таких материалов, как хлопковое масло, маргарин и сыпучие продукты, необходимо решать следующие малоизученные задачи:

определение и анализ функций преобразования первичного ВЧ ИП (для этого необходимо экспериментальным путем исследовать зависимости диэлектрических свойств исследуемых продуктов от влажности под воздействием важнейших влияющих факторов);

построение на основе полученных экспериментальных данных электрической модели первичного ИП, с оптимальной аппроксимацией реальных характеристик исследуемых материалов;

разработка ВЧ-приборов контроля влажности для жидких, пастообразных и сыпучих продуктов и их испытания в лабораторных и производственных условиях.

#### Л и т е р а т у р а

1. **Петров И. К.** Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. М.: Агропромиздат, 1985.
2. **Кричевский Е. С. и др.** Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых, жидких и газообразных материалов. М.: Энергия, 1980.
3. **Берлинер М. А.** Измерения влажности. М.: Энергия, 1973.
4. **Исмагуллаев П. Р.** Методы и технические средства контроля влажности в производстве хлопкового масла. Ташкент: Фан, 1983.
5. **Каландаров П. И.** Теоретические исследования первичных преобразователей влажности применительно к пищевой промышленности // Автоматизация производства. Ташкент: ТашГТУ, 1991. С. 64—66.

Дата принятия 20.10.2012 г.

