

Направление 220200

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Магистерская программа 220200.08

Автоматизация технологических процессов и производств

Руководитель программы д.т.н., проф. Погонин В. А.

Савенков А. П.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО БЕСКОНТАКТНОГО СОВОКУПНОГО КОНТРОЛЯ ПЛОТНОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Мордасова М. М.

*ТГТУ, Кафедра «Автоматизированные системы
и приборы»*

Во многих технологических процессах качество производимого продукта в виде жидкости определяется физико-механическими свойствами: плотностью ρ , поверхностным натяжением σ и вязкостью η . Одним из путей получения информации о качестве продукции является

применение бесконтактных методов контроля физико-механических параметров жидкостей, базирующихся на словом воздействии струи сжатого воздуха на поверхность исследуемой жидкости. [1, 3]

Рассмотрим процессы, происходящие при взаимодействии газовой струи с поверхностью жидкости.

Струя газа, направленная перпендикулярно поверхности жидкости действует на неё с некоторой силой F . Силой F от действия струи газа деформируется поверхность жидкости и образуется углубление, характеризующееся диаметром d и глубиной h . Очевидно, что изменение скорости газа w в струе приводит к изменению силы F , воздействующей на поверхность жидкости, и глубины углубления h .

Энергия сжатого воздуха, направленного на поверхность жидкости, расходуется на работу против архимедовых сил F_A , силы поверхностного натяжения F_σ и силы сопротивления перемещению F_η . Силы F_A , F_σ , F_η , противодействующие силе F имеют следующие характеристики. Сила Архимеда F_A пропорциональна объёму углубления, работа против силы F_A приводит к изменению потенциальной энергии E_A , заключающейся в подъёме уровня жидкости. Сила поверхностного натяжения F_σ пропорциональна интенсивности изменения площади поверхности жидкости, работа против силы F_σ приводит к изменению потенциальной энергии поверхностного натяжения E_σ , пропорциональной изменению площади поверхности жидкости. Сила сопротивления перемещению F_η зависит от взаимной скорости перемещения молекул внутри жидкости, работа против силы F_η приводит к увеличению внутренней энергии жидкости. В статическом режиме при $w=0$ сила $F_\eta=0$.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что физико-механические параметры жидкости плотность ρ , поверхностное натяжение σ и вязкость η необходимо рассматривать в комплексе. При измерении одного из контролируемых параметров отклонение других от номинального значения вносит дополнительную погрешность. Таким образом, при переходе к совокупным измерениям физико-механических параметров жидкостей повышается их точность (исключается взаимное влияние параметров) и информативность (увеличивается число измеряемых величин).

Суть предлагаемого метода совокупных измерений плотности и поверхностного натяжения заключается в следующем. В перпендикулярно падающей на поверхность жидкости струе воздуха устанавливают некоторую постоянную скорость w_1 путём изменения расхода воздуха в трубопроводе. Под действием струи сжатого воздуха на поверхности жидкости формируется углубление глубиной h_1 . В установившемся режиме, что необходимо для исключения влияния

вязкости, величину h_1 измеряют любым доступным методом и ставят в соответствие фиксированному расходу Q_1 . Затем расход изменяют до некоторого значения Q_2 и в установившемся режиме измеряют h_2 . В результате выполнения данных операций по измеренным значениям Q_1 , h_1 , Q_2 , h_2 получают систему уравнений для определения ρ и σ .

Система уравнений для определения плотности и поверхностного натяжения имеет следующий вид:

$$\begin{cases} f(Q_1) = \rho \cdot p(h_1) + \sigma \cdot q(h_1), \\ f(Q_2) = \rho \cdot p(h_2) + \sigma \cdot q(h_2), \end{cases} \quad (1)$$

где $f(Q)$ – функция расхода;

$p(h)$, $q(h)$ – функции глубины.

Система (1) имеет единственное решение при условии

$$\frac{p(h_1)}{p(h_2)} \neq \frac{q(h_1)}{q(h_2)}, \quad (2)$$

в противном случае уравнения системы преобразуются к одному.

С целью выяснения выполняемости условия (2) был проведён эксперимент, в ходе которого для различных значений расхода Q определялись формы углубления, исходя из которых рассчитаны объёмные и поверхностные характеристики. В качестве исследуемой жидкости применялось касторовое масло. Вид функций p , q выбран следующий:

$$p(h) = gV(h), \quad (3)$$

$$q(h) = \frac{dS(h)}{dh} = S'(h), \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения.

По результатам обработки экспериментальных данных построены зависимости объёма углубления $V(h)$ и интенсивности изменения площади поверхности жидкости $S'(h)$, представленные на рисунке 1.

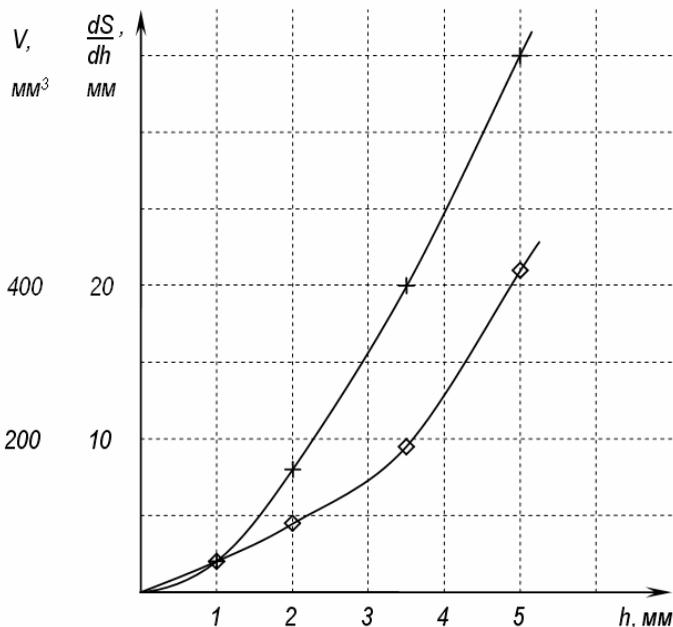


Рис. 1. Зависимости объёма и интенсивности изменения площади углубления от глубины

Из графика, представленного на рисунке 1 видно, что зависимости $V(h)$ и $S'(h)$ не пропорциональны, следовательно система (1) будет иметь единственное решение. Особенно благоприятными для совокупных измерений физико-механических свойств анализируемой жидкости представляются участки кривых, соответствующие изменению h до 2 мм, так как $V(h)$ здесь имеет линейный характер, $S'(h)$ – квадратичный.

С практической точки зрения решить систему уравнений (1) с высокой степенью точности возможно, если слагаемые в правых частях уравнений системы имеют один порядок, в противном случае нахождение одного из параметров будет затруднительно. Проведённый по экспериментальным данным расчёт показал, что комплекс $\rho p(h)$ в среднем по эксперименту в три раза больше значений $\sigma q(h)$.

Список литературы

1. Залманзон А. А. Аэрогидродинамические методы измерения входных параметров автоматических систем. – М.: Наука, 1973 – С. 158-162.
2. Rosler R. S. Stewart G. H. Impingement of gas jets on liquid surface // J. Fluid. Mech. – Vol. 31 – Part. 1. – 1968. – Pp. 168-174.
3. Мордасов Д. М. Пневмодинамический бесконтактный контроль плотности жидких веществ. / Д. М. Мордасов: // Вестник ТГТУ. – 2004. – т. 10. №3. – С. 666-674.