

*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  $\rho$ , поверхностным натяжением  $\sigma$  и вязкостью  $\eta$ . 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  $F_\sigma$  и силы сопротивления перемещению  $F_\eta$ . Силы  $F_A$ ,  $F_\sigma$ ,  $F_\eta$ , 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  $F_\sigma$  пропорциональна интенсивности изменения площади поверхности жидкости, работа против силы  $F_\sigma$  приводит к изменению потенциальной энергии поверхностного натяжения  $E_\sigma$ , пропорциональной изменению площади поверхности жидкости. Сила сопротивления перемещению  $F_\eta$  зависит от взаимной скорости перемещения молекул внутри жидкости, работа против силы  $F_\eta$  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  $\rho$ , поверхностное натяжение  $\sigma$  и вязкость  $\eta$  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  $\rho$  и  $\sigma$ .

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.

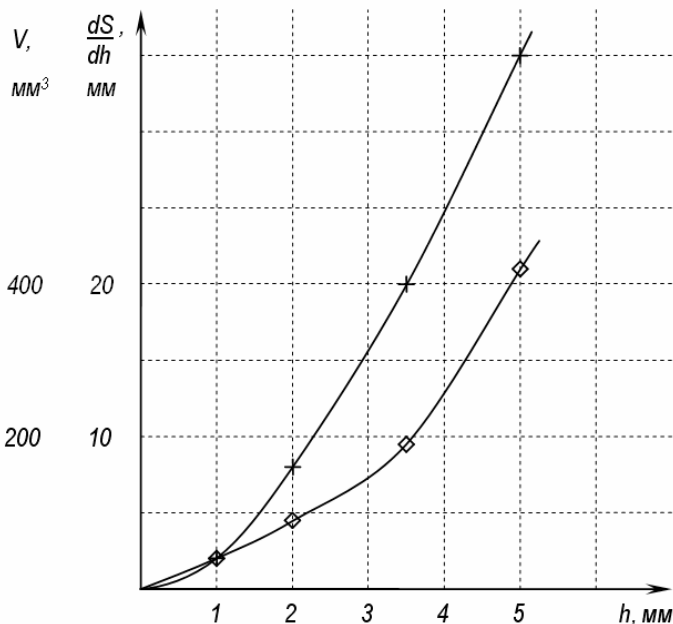


Рис. 1. Зависимости объёма и интенсивности изменения площади углубления от глубины

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.