

ПРИМЕНЕНИЕ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕПЛО- МАССОПЕРЕНОСА В ГАЗОКАПЕЛЬНЫХ ПРИСТЕННЫХ И ИМПАКТНЫХ СТРУЯХ

АННОТАЦИЯ

Проведено экспериментальное исследование характеристик емкостного датчика, предназначенного для измерения мгновенной толщины пленки жидкости на стенке и концентрации жидкости в пристенном газокapельном потоке. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных характеристик датчика. Получены критерии применимости датчика, величины погрешности и разрешающая способность.

1. ВВЕДЕНИЕ

Детальное изучение теплообмена в газожидкостных системах связано с параллельным измерением параметров аэрозоли, пленки жидкости и сухих пятен на поверхности теплообменника. Основное требование к методам измерения – получить достоверную информацию о параметрах исследуемого объекта при минимально допустимом влиянии на сам объект датчиками прибора. Основными процессами пристенных газокapельных струй при воздушно-капельном охлаждении являются совместные процессы теплоотдачи от поверхности теплообменника к теплоносителю и процесс теплообмена в теплоносителе, вызванный испарением жидкости с поверхности в паровоздушную смесь. При исследовании подобных процессов необходимо контролировать концентрацию жидкости в смеси, скорость и дисперсность капель, находящихся газокapельном и парокapельном потоках. В настоящее время существует много методов измерения параметров газокapельной смеси, но большое количество из них имеют ограниченное применение или совсем не пригодны для исследования двухфазного газокapельного потока.

2. УСТРОЙСТВО ЕМКОСТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ

2.1. Аппаратно-программный комплекс емкостного измерителя

В Институте теплофизики СО РАН широко применяется разработанный многоканальный емкостной измеритель локальной толщины пленки жидкости [1].

С учетом условий проведения экспериментов по исследованию пленочного течения на открытой поверхности и внутри каналов, реализовано следующее построение измерительного оборудования (рис. 1). Первичный преобразователь 1 состоит из зонда и локальной толщины пленки жидкости или объема

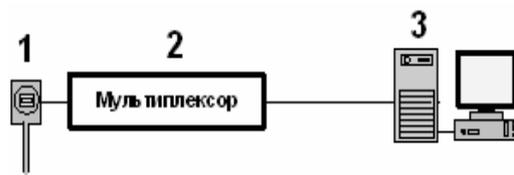


Рис. 1

части оборудования, выполняющего преобразование жидкости в высокочастотный электрический сигнал. Особое внимание уделялось малым размерам электронного блока ($8 \times 20 \times 30$ мм) и зонда ($D = 1,5$ мм, $L = 40$ мм). Первичных преобразователей может быть включено от 1 до 16 по линии связи длиной до 1,5 м.

Вторичный многоканальный блок 2 обработки сигнала выполняет функции программируемого мультиплексора и цифрового частотного детектора. Конструктивно вторичный блок обработки сигнала выполнен отдельным блоком и оснащен быстрым интерфейсом через параллельный порт или USB-2 для связи с ПЭВМ. Такое размещение первичного и вторичного преобразователей позволяет уменьшить влияние помех.

Компьютер 3 управляет экспериментом, является средством обмена данными с внешними устройствами накопления, обработки и отображения получаемой информации. Компьютерная программа задает алгоритмы измерения и обработки первичных данных.

2.2. Характеристики измерителя:

Число каналов измерения..... .. 1 – 16 каналов
Диаметр пространственного разрешения емкостного датчика1 мм
Объем пространственного разрешения емкостного датчика концентрации, $0,125 \text{ см}^3$;
Частота дискретизацииот 1 Гц до 1 кГц
Точность измерения 100 мкм толщины пленки жидкости..... <5%
Точность измерения концентрации жидкости в смеси (для воды).....<5%

2.3. Методика применения измерителя

Процесс измерения локальной толщины пленки жидкости и концентрации аэрозоля состоит из четырех этапов: инициализация измерителя, подготовка первичных преобразователей (настройка), непосредственно измерение и архивирование данных. Выполнение этапов может происходить в автоматическом режиме или под управлением исследу-

дователя. Во втором режиме имеется возможность по первичной графической информации принимать решение о регистрируемых процессах и влиять на ход эксперимента.

Емкостной измеритель позволяет одновременно в нескольких точках потока (от 1 до 16) измерять мгновенную толщину пленки и (или) концентрацию жидкости в струе.

Полученные данные от многоканального емкостного измерителя позволяют:

- получать одновременно по нескольким каналам данные о волновом течении пленки и концентрации жидкости в аэрозоле;
- по полученным данным определять мгновенную толщину пленки и величину пульсаций плотности двухфазной смеси;
- определять фазовую скорость и динамику изменения формы волн.

Программа визуализации представляет информацию в графическом виде (профили локальной толщины пленки и концентрации по всем каналам одновременно или раздельно). Объем накопленной информации позволяет восстановить пленочное течение в форме видеofilма. На рис. 2 приведен фрагмент фильма. На рисунке отображены время, мгновенная локальная толщина пленки, полученная от четырех датчиков [4].

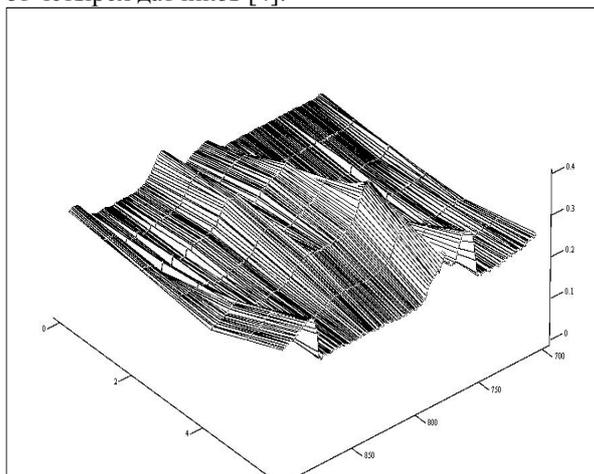


Рис. 2

Высокое быстродействие измерителя позволяет после обработки специальным пакетом программ получить амплитудно-частотные характеристики пульсаций объема жидкости в аэрозольной струе и локальной толщины пленки [2].

3. ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК АЭРОСМЕСИ

3.1. Конструкция датчиков

Для определения концентрации жидкости в газокапельной смеси был разработан и испытан емкостной датчик двух типов (объемный и игольчатый). Принцип регистрации количества жидкости основан на изменении величины ёмкости за счет капель жидкости с более высокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_{\text{вода}} \sim 80$, $\epsilon_{\text{спирт}} \sim 30$, $\epsilon_{\text{воздух}} \sim 1$) между центральным электродом и сеткой. Чем больше капель жидкости попадает в пространство между сеткой и центральным электродом, тем больше изменение ёмкости. Чувствительность объемного зонда при за-

данной относительной диэлектрической проницаемости жидкости определяется его объемом, игольчатого – длиной электрода. Был проведен расчет чувствительности зондов и выполнена тарировка.

На рис. 3 приведены эскизы и фотографии объемного и игольчатого зондов. Зонд емкостного датчика объемного типа состоит из центрального цилиндрического электрода и экранирующего электрода, который выполнен в виде цилиндрической сетки. Диаметр провода навивки ($d = 0,05$ мм) и шаг сетки ($h = 1$ мм) выбираются из условий минимального влияния на поток.

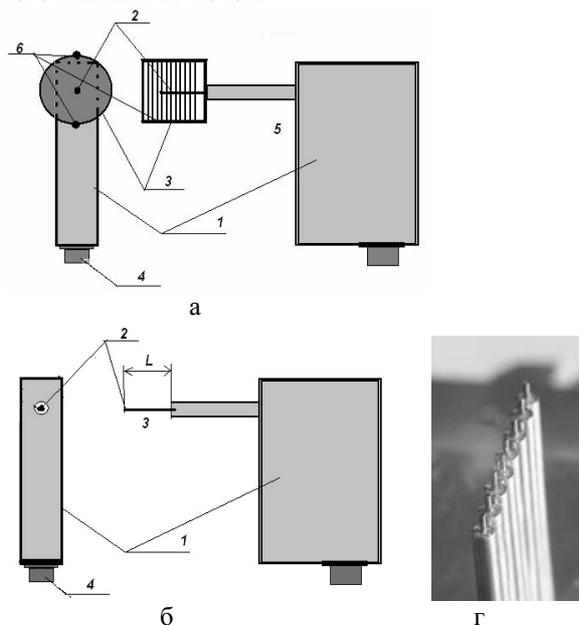


Рис. 3. Объемный (а), игольчатый (б) датчики и линейка из восьми игольчатых датчиков (г): 1 – электронный блок первичного преобразователя; 2 – зонд емкостного датчика, $d_{\text{зонда}}=0,5$ мм, $D_{\text{экрана}}=5$ мм, $L_{\text{зонда}}=5$ мм; 3(а) – экран емкостного зонда объемного датчика; 3(б) – зонд игольчатого датчика, $d_{\text{зонда}}=0,5$ мм, $L_{\text{зонда}}=(5-10)$ мм

3.2. Тарировка

Чувствительность датчиков рассчитывалась специальной программой и сопоставлялась с тарировочными данными. В нашем случае этот комплекс программ применялся для расчета емкости зонда, чувствительности и погрешности. На рис. 4 приведены данные расчета чувствительности зонда объемного типа для трех типоразмеров зонда концентрации жидкости в струе.

Тарировка емкостных датчиков для определения локальной толщины описана в работе [1]. Схема тарировки емкостных датчиков приведена на рис. 5.

Поток воздуха создавался воздуходувкой, производительность которого регулировалась регулятором напряжения. В поток воздуха за счет микронасоса-дозатора с заданным расходом подавался этиловый спирт. Тарировка проводилась следующим образом. Емкостной датчик устанавливался на выходе сопла распылителя таким образом, чтобы струя аэрозоля по площади полностью попадала в полость зонда. В зависимости от изменения расхода спирта регистрировались показания измерителя концентрации. На рис. 6 показано хорошее совпадение расчетной чувствительности этого зонда с тарировкой ($< 5\%$).

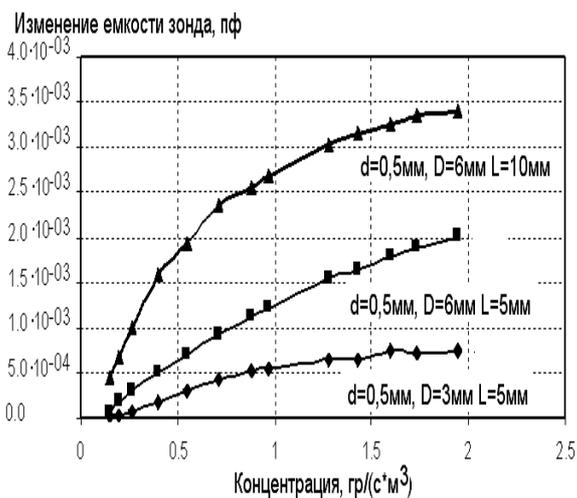


Рис. 4

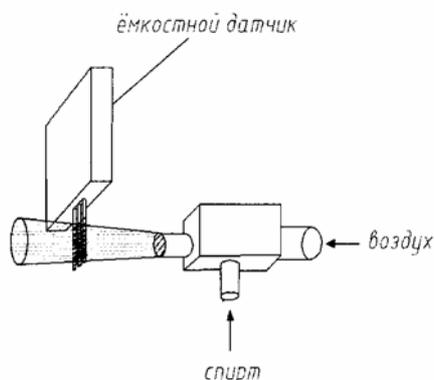


Рис. 5

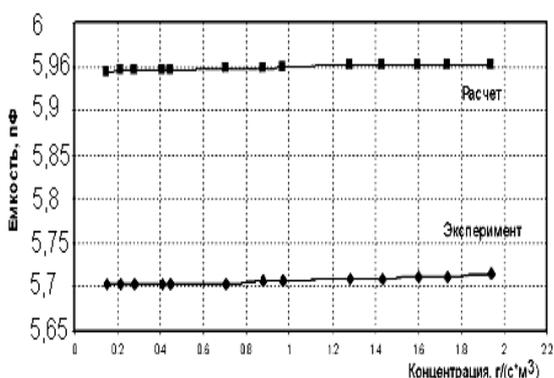


Рис. 6

Было проведено исследование влияния положения одиночной капли жидкости относительно центрального электрода на изменение величины емкости датчика и погрешность. Для капель размером 4 мкм расчет показал, что это влияние может вносить погрешность меньше 1 %.

3.3. Погрешности измерителя

Основной вклад в погрешность емкостного измерителя вносит нестабильность емкости зонда, которая является следствием температурной зависимости диэлектрической постоянной изолятора зонда от температуры. По этой причине все циклы измерений ведутся от режима нулевой толщины пленки и регистрации начальных значений выход-

ного сигнала. Регистрация температуры зонда и учет дрейфа зонда от температуры при вычислении усредненной толщины пленки позволяют эту погрешность учесть. В таблице 1 приведена погрешность измерения толщины пленки жидкого азота.

Таблица 1

Толщина пленки δ , мкм	Погрешность «сухого» зонда, %	Погрешность «затопленного» зонда, %
10	± 20	± 1
50	± 10	± 4
100	± 4	$\pm 4,5$
200	$\pm 2,5$	± 5
500	± 1	± 6

Проведенный расчет и тарировка позволили провести ряд тестовых измерений на потоке аэрозоля. Тестирование проводилось по следующей методике. За единичную концентрацию принималось показание измерителя, когда весь поток проходил через объем зонда. Измерения показали, что емкостной датчик позволяет регистрировать концентрацию в диапазоне 1:50. Для определения концентрации спирта в выбранных сечениях струи емкостной датчик перемещался вдоль оси струи. На рис. 7 приведен график распределения концентрации спирта по диаметру струи.

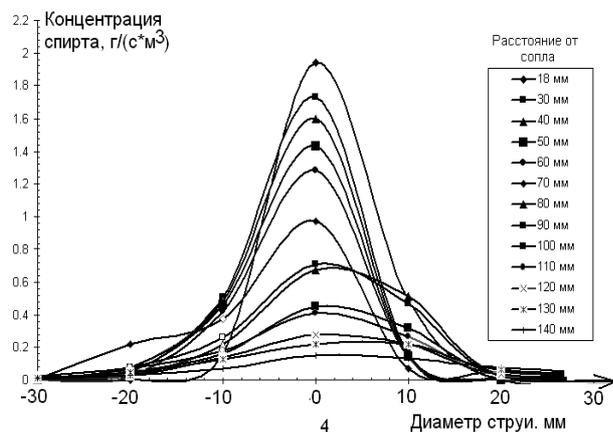


Рис. 7

Многоканальный емкостной измеритель был широко применен при проведении ряда исследований в лабораториях ИТ СО РАН:

- исследовалось течение пленки воды, осажденной газожидкостным потоком на внутренней поверхности круглого канала диаметром 100мм [2];
- исследовались характеристики пристенной пленки жидкости и параметры газожидкостной струи в сверхзвуковом коническом сопле со спутным потоком газа [3];
- исследовалось течение пленки жидкого азота по подогреваемой поверхности [4];

- течение пленки жидкого азота в микроканале со спутным газом и газом, движущимся навстречу пленочному потоку [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта РФФИ 05-02-16281-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Емкостный** измеритель локальной толщины пленки жидкости / С.В. Кротов, А.Д. Назаров, А.Н. Павленко, и др. // Приборы и техника эксперимента. 1997. №1. С. 149-152.
2. **Терехов В.И., Серов А.Ф., Шаров К.А., Назаров А.Д.** Экспериментальное исследование осаждения каплеи жидкости на стенки вертикального цилиндрического канала из пристенных газокпельных струй //ТВТ. 2003.Т.41. № 5.С.726-733.
3. **Prikhodko V.G., Serov A.F., Nazarov A.D. and Yarygin I.V.** Motion and decay of near-wall liquid film at its outflow with cocurrent gas flow from the cylindrical channel into vacuum // International conference on the methods of aerophysical research 1-7 July 2002, Novosibirsk, Russia, Proceedings part 1. P. 168-172.
4. **Павленко А. Н., Лель В. В., Серов А. Ф., Назаров А.Д.** Динамика течения интенсивно испаряющейся волновой пленки жидкости // ПМТФ. 2001. Т. 42. №3 (247). С. 107-115.
5. **The two-phase** cocurrent downflow of liquid nitrogen in a vertical rectangular channel / N. Pavlenko, N.I. Pecherkin, V.Yu. Chekhovich // Journal of Engineering Thermophysics. 2002. Vol. 11. No. 4. P. 321-333.