

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР  
Институт технической теплофизики

*ПРИКЛАДНЫЕ  
ВОПРОСЫ  
ТЕПЛООБМЕНА  
И ГИДРО-  
ДИНАМИКИ*

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА · 1982

5. Ковалев С.А., Рыбчинская Г.Б. Об устойчивости теплообмена при кипении на неизотермической поверхности. - Теплофизика выс. температур, 1973, II, № 1, с. 117-122.
6. Мержанов А.Г., Барелко В.В., Курочка И.И., Шкадинский К.Г. О распространении фронта гетерогенно-каталитической реакции. - Докл. АН СССР, 1975, 221, № 5, с. 1114-1117.
7. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. - М.: Наука, 1967. - 491 с.
8. Шкадинский К.Г., Барелко В.В., Курочка И.И. О множестве решений в виде безыдей волны для уравнения типа горения. - Докл. АН СССР, 1977, 233, № 4, с. 639-641.
9. Nusse W. Die Zündgeschwindigkeit brennbarer Gasgemische. - Zeitschrift des VDI, 1915, 59, N. 43, S. 872-877.
10. Semeria R., Martinet B. Satisfaction spots on heating wall: temperature distribution and reabsorption. - Symp. on Boiling heat transfer in steam generating units and heat exchangers, Manchester, 1965, 15-16 September, Ser. 3, p. 3, p. 192-205.

УДК 532.529.5

Л.Н.Проценко, С.Д.Тарасенко

#### ИЗМЕРЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГАЗОВОДЯНОЙ СМЕСИ

Решение энергетической проблемы в ближайшие 20 лет связано с преимущественным развитием атомной энергии. На нее приходится около 20% энергопотенциала, вводимой в одиннадцатой пятилетке. Причем основную долю составляют станции с реакторами, охлаждаемыми водой. Последние исследования подтверждают предположения о зависимости важнейших характеристик эксплуатации реактора от гидродинамики и структуры теплоносителя. Параметром, объективно отражающим структуру потока в канале, может служить паросодержание.

Существуют различные модели расчета паросодержания, анализирующие процессы генерации и конденсации паровой фазы по длине канала. Однако они недостаточно подтверждены экспериментами. Для получения надежных экспериментальных данных важную роль играет методика измерения паросодержания. Анализ наиболее распространенных методов экспериментального определения паросодержания показал, что одним из наиболее перспективных и обладающим рядом преимуществ является емкостный метод, основанный на измерении суммарной диэлектрической проницаемости смеси  $\epsilon_{см}$ .

Задачей данной работы являлось измерение газосодержания воды по диэлектрической проницаемости смеси.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Опытный участок I представляет собой прозрачный канал, диамет-

94

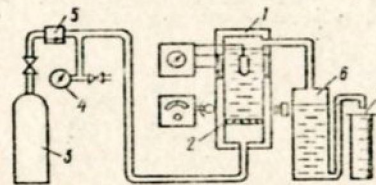


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

ром 12 мм, заполненный водой. Под диафрагму 2 опытного участка из баллона 3 подавался барботируемый газ - аргон. Давление в подводной линии контролировалось манометром 4. Диафрагма изготовлена из нержавеющей стали X18NiCr толщиной 0,3 мм. С помощью редуктора 5 в подводной линии устанавливалось давление обеспечивающее требуемый расход газа через отверстие в диафрагме и, соответственно, газосодержание в канале. Расход газа измерялся методом вытеснения жидкости из тарировочного цилиндра 6 в мерный сосуд 7.

Истинное объемное газосодержание равно мгновенной доле сечения потока, занятого газовой фазой

$$\varphi = \frac{\Omega''}{\Omega},$$

где  $\Omega$  - полная площадь сечения канала;  $\Omega''$  - площадь сечения, занятая потоком газа,

$$\Omega'' = \frac{V''}{\omega''}, \text{ м}^2,$$

где  $V''$  - объемный расход;  $\omega''$  - скорость всплытия пузырьков газа в канале.

Объемный расход газа определялся замером объема жидкости, вытесненной из тарировочного цилиндра за определенный промежуток времени.

$$V'' = \frac{V_{ж}}{\Delta T}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Скорость всплытия пузырьков определялась экспериментальным и расчетным методами. В качестве экспериментального применялся стробоскопический метод, сущность которого заключается в экспонировании восходящей цепочки пузырьков с частотой, кратной частоте отрыва пузырьков из отверстия диафрагмы.

Скорость всплытия определялась как произведение частоты всплы-

шек лампы стробоскопа  $f_c$  и расстояния между группами пузырей на фотоснимках А

$$\omega'' = A f_c \text{ м/с.}$$

где  $f_c$  - частота вспышек лампы стробоскопа.

Измерения проводились на нескольких диафрагмах с различным диаметром отверстий и, соответственно, диаметрами отрыва пузырька  $d = 1,0; 1,4; 2,75$  мм.

Полученные данные сравнивались с результатами расчета скорости всплытия по эмпирической формуле [4]

$$R_c \approx 0,33 Ar^{3/4}.$$

Как известно, скорость всплытия зависит от диаметра пузырька. Для мелких пузырьков с увеличением диаметра скорости всплытия растут. При дальнейшем увеличении размера пузырька скорость всплытия уменьшается, что связано с деформацией /сплющиванием/ пузырей и возрастанием гидравлического сопротивления. Режим вязкостного сопротивления сменяется сопротивлением формы. Опыты показали, что при  $d \geq 1,4$  мм пузырьки под действием сопротивления воды теряли сферическую форму и становились сплюснутыми. Максимальное отклонение экспериментальных значений скорости от расчетных не превышало 10-15%, что можно считать вполне удовлетворительным.

Принцип измерения газосодержания емкостным способом основывается на изменении диэлектрической проницаемости смеси в зависимости от концентрации газовых пузырьков. Расчетная величина емкости датчика, представляющего собой коаксиальные цилиндры, вычисляется по формуле [2]

$$C = 2\pi \epsilon_0 \epsilon_g \frac{l}{\ln R/r} + n\Phi,$$

где  $\epsilon_g, \epsilon_0$  - относительная диэлектрическая проницаемость воды и вакуума;  $l$  - высота электродов, см;  $R, r$  - радиусы наружного и внутреннего электродов датчика, см.

Появление газовой фазы в воде уменьшает  $\epsilon$ . Диэлектрическая проницаемость смеси может быть рассчитана по эмпирической формуле [1]:

$$\epsilon_{см} = \frac{\epsilon_a (3q-1) + \epsilon_g (2-3q)}{4} + \sqrt{\frac{[\epsilon_a (3q-1) + \epsilon_g (2-3q)]^2}{16} + \frac{\epsilon_a \cdot \epsilon_g}{2}}.$$

В литературе описаны методы измерения емкостей при больших потерях /метод трех амперметров и трех вольтметров и др./ [3]. Значительное число измерений, разнесенных во времени, снижает точность и ставит под сомнение правомерность применения метода для квазистационарных процессов. Поэтому очевидно преимущество приборов прямого измерения электрической емкости, для измерения которой применялись датчики различных конструкций.

Датчик коаксиальный, не изолированный от воды, представляет собой наружный кольцевой и центральный стержневой электроды, высота которых 20 мм. Внутренний диаметр кольцевого электрода равен диаметру канала - 12 мм, а наружный диаметр центрального - 6 мм. Датчик второго типа является усовершенствованной конструкцией первого. Для защиты измерительных электродов от прямого контакта с водой они были покрыты пленкой пентапласта. Специальная форма экрана обеспечивала защиту межэлектродного пространства датчика от искажения электромагнитного поля на краях электродов. Датчик мог подключаться по двух- или трехпроводной схеме.

Третий тип датчика разработан в КИИГА. Все три электрода его представляют собой кольца, надетые на канал с наружной стороны. Преимуществом данного датчика является исключение контакта электродов с жидкой фазой, недостатком - различная плотность поля и, соответственно, чувствительность по сечению канала, низкое значение емкости между электродами.

Относительно успешными явились измерения на датчике второго типа мостом Р505В. Схема измерения запитывалась переменным напряжением с частотой 10 кГц. Величины емкости существенно /на порядок/ отличаются от значения расчетной емкости, однако качественный характер изменения емкости датчика близок к истинному. При низких значениях паросодержания прибор не реагировал на появление газовых пузырей. Кроме того, наблюдался значительный /+30%/ разброс экспериментальных данных.

Измерения на датчике третьего типа вследствие низкой емкости производились прибором БВ-1. Эффект снижения емкости при появлении газовой фазы невелик /рис. 2/.

Данные, позволяющие сделать качественный и количественный анализ изменения емкости, получены на датчике второго типа при измерениях прибором ИДТ-1, разработанным в КИИГА. Он предназначен для дистанционного измерения емкости и активной проводимости емкостных датчиков со значительными потерями. Схема измерения питается переменным напряжением с частотой 5 кГц.

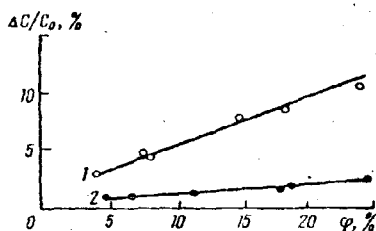


Рис. 2. Зависимость изменения емкости от газосодержания смеси:  
 1 - дистиллированная вода;  
 2 - химически обессоленная вода

Сравнения результатов измерений с расчетными данными показало, что значения емкостей воды при отсутствии газовых пузырьков в канале и газовой смеси близки к расчетным. Разброс опытных точек невелик и уменьшается для газовой смеси при определении емкости воды  $\left[ \begin{smallmatrix} +20\% \\ -12\% \end{smallmatrix} \right]$  и смеси  $\left[ \begin{smallmatrix} +6\% \\ -3\% \end{smallmatrix} \right]$ .

Кроме того, показания прибора имеют значительный дрейф во времени. Авторы прибора полагают, что это связано с потерей чувствительности прибора из-за высокой проводимости датчика и недостаточного сопротивления входа избирательного усилителя. Для того чтобы данная схема была более работоспособной и точной, необходимо, по-видимому, повысить частоту напряжения, питающего мостовую схему, входное сопротивление и коэффициент усиления.

Таким образом, применяемая нами методика определения газосодержания по диэлектрической проницаемости смеси обладает некоторыми преимуществами и получила качественное и количественное подтверждение в проведенных экспериментах.

Дальнейшее совершенствование этой методики связано с повышением чувствительности измерительных схем автоматических мостов, измеряющих реактивную и активную составляющие комплексного сопротивления, и отработкой конструкции емкостного датчика.

1. Годусев Е.П., Смирнов С.Н., Свистунов Е.П. Определение паросодержания по величине диэлектрической проницаемости паровой смеси. - Теплоэнергетика, 1978, № 4, с. 82.
2. И. Форейт. Емкостные датчики неэлектрических величин. - М.: Энергия, 1966. - 18 с.
3. Эпштейн С.Л. Измерение характеристик конденсаторов. - М.: Энергия, 1969. - 22 с.
4. Peeble F., Garber H. Studies on the motion of gas bubbles in liquids. - Chem. Eng. Progr., 1953, 49, N 2, p. 54.