

К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ИНТЕНСИВНОСТИ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ В ГИДРОСООРУЖЕНИЯХ

В литературе [1] изложена новая гипотеза и приведены доказательства механизма кавитационной эрозии материалов в жидкостях. Действующей силой при схлопывании пузырьковой каверны принято поверхностное натяжение мениска в ней. Действие мениска вызывает структурные преобразования в жидкости — вокруг схлопывающейся каверны в период ее сокращения образуются радиально направленные натянутые цепи молекул, потенциальная энергия которых получена из их тепловой энергии. Разрушающая энергия ударной волны, образующейся при схлопывании каверны и движущейся затем радиально по цепям, пропорциональна тепловой энергии жидкости и ее поверхностному натяжению.

В соответствии с данной гипотезой эрозионную способность жидкости можно выразить в виде

$$i = \mathfrak{E}_k \sigma (H^2), \quad (1)$$

где \mathfrak{E}_k — кинетическая энергия поступательного движения молекулы данной жидкости; σ — поверхностное натяжение при 0°C .

Известно [2], что

$$\mathfrak{E}_k = \frac{3}{2} kT. \quad (2)$$

Здесь k — постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T — абсолютная температура, К.

Функция поверхностного натяжения жидкостей выражается формулой [3]

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{t}{t_k}\right), \quad (3)$$

где t — температура жидкости; t_k — критическая температура.

Подставив в уравнение (1) значения (2) и (3) и выполнив необходимые преобразования, получим

$$i = -2,07 \gamma t^2 - 565 \gamma t + 2,07 \sigma_0 t + 565 \sigma_0. \quad (4)$$

Здесь относительное начальное поверхностное натяжение $\gamma = \sigma_0/t_k$. Полученное выражение (4) отражает закон изменения эрозионной способности жидкостей в зависимости от их рода и температуры. Учитывая, что для каждой конкретной жидкости γ и σ_0 являются постоянными величинами, уравнение (4) относительно нее примет вид

$$i = -at^2 + bt + C. \quad (5)$$

Полученное выражение является уравнением опрокинутой вогнутостью вниз параболы в системе координат i, t . Координаты ее вершины: $t_A = -b/2a$; $i_A = C - b^2/4a$. Отсюда вытекает, что интенсивность кавитационной эрозии, являющейся следствием эрозионной способности жидкости, должна зависеть от температуры нелинейно. При этом с увеличением температуры интенсивность должна расти до определенного граничного значения, соответствующего t_A кривой $i = f(t)$, а затем уменьшаться в соответствии со второй ветвью параболы.

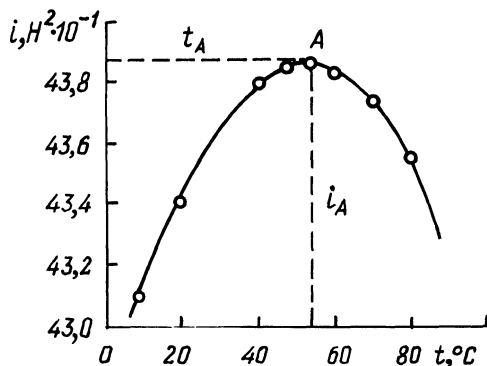


Рис. 1. Изменение эрозионной способности воды в зависимости от температуры.

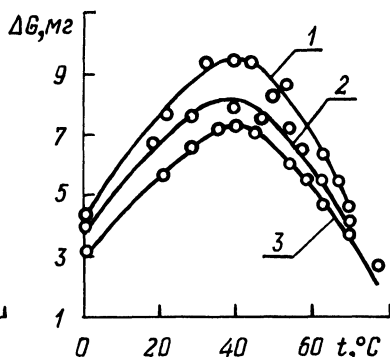


Рис. 2. Влияние температуры воды на интенсивность кавитационной эрозии различных материалов [5]: 1 – марганцевая бронза; 2 – углеродистая сталь; 3 – алюминий.

Произведем расчет для конкретной жидкости – воды с использованием выведенных формул (4) и (5).

Подставим в выражение (4) значения σ_0 и γ . Так как критическая температура t_K для воды равна 374°C , а $\sigma_0 = 75,64 \cdot 10^{-3}$ Н/м [4], то $\gamma = \sigma_0/t_K = 75,64 \cdot 10^{-3}/374 = 2 \cdot 10^{-4}$ Н/м·град. Тогда уравнение (4) преобразуется в

$$i = -4,1 \cdot 10^{-4} t^2 + 4,36 \cdot 10^{-2} t + 42,7. \quad (4')$$

Уравнение (4) выражает закон изменения эрозионной способности воды в зависимости от температуры. Определим значение температуры воды, при которой проявляется максимальная интенсивность эрозии:

$$t_A = -\frac{b}{2a} = -\frac{4,36 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot (-4,1 \cdot 10^{-4})} = 53^\circ\text{C}.$$

При этом эрозионная способность воды

$$i_A = C - \frac{b^2}{4a} = 42,7 - \frac{(4,36 \cdot 10^{-2})^2}{4 \cdot (-4,1 \cdot 10^{-4})} = 43,86 \text{ Н}^2.$$

По равенству (4') построим кривую $i = f(t)$ (рис. 1). Как видно из приведенных расчетов и построенной кривой $i = f(t)$, вид графика эрозионной способности жидкости совпадает с видом хорошо известных кривых, отражающих

зависимость экспериментально полученной интенсивности кавитационной эрозии материалов в воде от температуры (рис. 2). Кроме того, максимум эрозионной способности воды практически совпадает с максимумом интенсивности эрозии, полученным из экспериментов ($t \approx 50^\circ\text{C}$) [5]–[7]. Учитывая, что известные экспериментальные результаты получены для самых различных условий кавитации, можно заключить: формулы (4) и (4') представляют общие закономерности, отражающие реальные процессы, происходящие при кавитации.

ЛИТЕРАТУРА

1. К у м а ч е в В.И. Механизм кавитационной эрозии. – Науч. тр. БСХА. Горки, 1979, вып. 57, с. 109–117. 2. Л а н д а у Л.Д., А х и е з е р А.И., Л и ф ш и ц Е.М. Курс общей физики: Механика и молекулярная физика. – М., 1965, – 566 с. 3. Г и р ш ф е л ь д е р Дж., К е р т и с с Ч., Б е р д Р. Молекулярная теория газов и жидкостей: Пер. с англ. – М., 1961, 969 с. 4. Р и в к и н С.А., А л е к с а н д р о в А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М., 1980. – 593 с. 5. К а р е л и н В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. – М., 1975. – 336 с. 6. К н э п п Р., Д э й л и Дж., Х э м м и т Ф. Кавитация: Пер. с англ. – М., 1974. – 687 с. 7. П и р с о л И. Кавитация: Пер. с англ. – М., 1975. – 92 с.

УДК 532.542

А.Е.ЕЛИСЕЕВ (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В КОАКСИАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ С ПРОНИЦАЕМОЙ ВНУТРЕННЕЙ ТРУБОЙ

В настоящее время получают широкое распространение установки, аппараты и устройства, в которых в качестве передающей или отдающей поверхности используются проницаемые стенки [1, 2]. Для проектирования надежной и экономически эффективной работы таких трубопроводов необходимо знания закономерностей распределения пьезометрического давления и расхода жидкости по длине коаксиальных труб. Без указанных закономерностей невозможно обеспечить оптимальный режим истечения.

Цель данной работы – экспериментальное исследование процесса течения несжимаемой жидкости в коаксиальном трубопроводе с различной проницаемостью стенки внутренней трубы, а также уточнение зависимостей, полученных в результате аналитического исследования [3].

Экспериментальная установка (рис. 1) включала внутреннюю проницаемую трубу, соосно расположенную в стеклянном трубопроводе. Питание установки осуществлялось из открытого резервуара. Измерение давления по длине внутренней и внешней труб производилось пьезометрами, расположенными симметрично относительно отверстий в стенках проницаемого трубопровода. Изучались трубы длиной 16,74 м; 15,00; 8,74 и 4,55 м при соотношениях внутреннего и наружного трубопроводов $d : D$ 0,100; 0,187; 0,350. При этом скважность трубопровода ϵ_f (отношение суммарной площади отверстий в стенке к площади боковой поверхности трубы) изменялась от 0,00245 до 0,15. Скорость во внутренней трубе измерялась при помощи напорной трубки из