

РАСЧЁТ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ, ВЫДЕЛЯЕМОЙ ПРИ КАВИТАЦИИ

Вязмина А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доц. Нефедов Ю.И.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Физики, тел. (057)702-13-45)

In the article the correlation for the calculation of the assignable heat and the power of cavitation is received.

Поиски экономичных, экологически чистых источников энергии, не требующих сжигания углеводородного топлива, привели к созданию кавитационных генераторов тепла, отличающихся большим разнообразием конструкций и используемых механизмов кавитации жидкости. При разработке кавитационного теплогенератора на стадии проектирования важным этапом является расчет выделяемой тепловой мощности. Известные методы расчета не включают все физические процессы тепловыделения, имеющие место при кавитационной обработке воды, часто содержат неизвестные величины, и поэтому, являются не точными или не верными.

В данном сообщении предпринята попытка рассмотреть и учесть при расчете выделяемой тепловой энергии все основные явления, сопровождающие процесс разрушения кавитационных образований – каверн и пузырей, наполненных паром и газом. Известно, что такое разрушение (схлопывание) происходит при воздействии на каверну (пузырь) повышенного давления воды, создаваемого в гидродинамических генераторах, как правило, ударной волной. Если каверна соприкасается с твердой поверхностью или находится вблизи неё, ударная волна образуется в виде узкой струи высокого давления, которая и разрушает каверну. В результате её схлопывания давление и температура жидкости повышаются, и образуется новая ударная волна, завершающая процесс разрушения оставшихся кавитационных пузырей. При разрушении всех кавитационных образований выделяются следующие виды энергии:

1. Кинетическая энергия движения E_k молекул внутрь каверны при разрыве сплошности жидкости (разрыве связи молекул) и энергия, выделяемая при столкновении молекул (при торможении).
2. Энергия E_n , равная теплоте конденсации насыщенного пара (теплоте парообразования).
3. Свободная энергия E_c , равная работе сил поверхностного натяжения, совершаемой при уменьшении свободной поверхности каверны и пузырей.

Полная энергия E , выделяемая при разрушении всех кавитационных образований, будет равна сумме названных выше составляющих, т.е.

$$E = E_{\kappa} + E_{\text{п}} + E_{\text{с}} \quad (1)$$

Кинетическая энергия E_{κ} зависит от разности между давлением возле свободной поверхности каверны в момент схлопывания (давлением ударной волны) и давлением p_{κ} пара и газа внутри каверны. Известно также, что эта энергия пропорциональна объему каверны V_{κ} . Используя метод размерностей, часто применяемый в физике, можно найти E_{κ} в виде простого соотношения:

$$E_{\kappa} = (p - p_{\kappa}) V_{\kappa} k, \quad (2)$$

в котором $0 < k \leq 1$ безразмерный коэффициент, величина которого меньше единицы, когда каверна частично или полностью состоит из отдельных разделенных друг от друга кавитационных пузырей и $k = 1$ при сплошной каверне.

Энергию $E_{\text{п}}$ (теплоту конденсации) можно найти из соотношения

$$E_{\text{п}} = m_{\text{п}} r = \rho_{\text{п}} V_{\kappa} r, \quad (3)$$

в котором r – удельная теплота парообразования (конденсации), $m_{\text{п}}$ – масса конденсируемого насыщенного пара, определяемая по объему каверны V_{κ} и плотности $\rho_{\text{п}}$ пара при данной температуре.

Свободная энергия $E_{\text{с}}$ зависит от коэффициента δ поверхностного натяжения жидкости и площади S_{κ} свободной поверхности каверны и пузырей:

$$E_{\text{с}} = \delta S_{\kappa}, \quad (4)$$

Учитывая соотношения (1-4), можно определить выражение для всей энергии, выделяемой при полном разрушении кавитационных образований:

$$E = (p - p_{\kappa}) V_{\kappa} k + \rho_{\text{п}} V_{\kappa} r + \delta S_{\kappa}, \quad (5)$$

При циклической работе кавитационного теплогенератора всегда известно время T одного цикла (периода) теплообразования, за который выделяется вся энергия E (5). Следовательно, тепловую мощность кавитационного теплогенератора можно рассчитать из соотношения

$$P = \frac{E}{T}, \quad (6)$$

в котором E – полная энергия (5).

Теоретические и экспериментальные исследования процессов разрушения кавитационных образований, проведенные в последние годы, свидетельствуют об их соответствии полученным результатам.

Поэтому соотношения (5,6) можно использовать при расчётах тепловой энергии и мощности кавитационных теплогенераторов на стадии проектирования.