

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЙ КАВИТАЦИИ С УЧЕТОМ СЖИМАЕМОСТИ ЖИДКОСТИ

Иваницкий Георгий Константинович

*Институт технической теплофизики НАН Украины,*

*ул. Желябова, 2а, Киев, 03680, Украина*

*тел. (+38044) 424-14-96, e-mail: ittf\_tds@ukr.net*

Изучение явлений кавитации применительно к интенсификации технологических операций в гетерогенных жидких средах, прежде всего, в нано- и биотехнологиях, а также для направленного воздействия на супрамолекулярные структуры, требует четкого понимания особенности кавитационных процессов, протекающих на микро- и наноуровнях, и возможности прогнозирования степени влияния определяющих факторов.

Исследование выполнялось с целью разработки модели динамики кавитационного кластера с учетом сжимаемости жидкости, что позволяет адекватно описывать совокупность процессов, протекающих в межпузырьковом пространстве кластера. Установлено, что появление кавитационных эффектов непосредственно связано с иницированием сферического гидравлического удара на поверхности предельно сжатого пузырька. На протяжении времени  $\Delta\tau \propto 10$  нс сжатый пузырек находится в состоянии сверхкритического флюида с температурой свыше 5000 К и давлением порядка 100 МПа, а градиент давления в слое жидкости вблизи пузырька достигает  $10^9$  МПа. Потенциальная энергия сжатой жидкости, в виде сферического акустического импульса, излучаемого пузырьками кластера, диссипируется в окружающей жидкости. Область динамического действия кавитационного импульса составляет около 30 мкм.

Из модели следует, что динамика парового пузырька в кавитационном кластере с учетом сжимаемости жидкости описывается уравнением

$$\frac{d^2 R}{d\tau^2} = \frac{p_R - p_\infty + 3/2(p_R - p_\infty)^2 \beta - 3/2 \rho_l (dR/d\tau)^2}{\rho_l R}, \quad (1)$$

где  $p_R$  и  $p_\infty(\tau)$  - давление в жидкости на границе с пузырьком и вдали от пузырька. Давление  $p_R$  связано с давлением пара в пузырьке  $p_v(T_v)$ , радиусом пузырька  $R(\tau)$ , плотностью  $\rho_l(T_l)$ , вязкостью  $\mu_l(T_l)$  и поверхностным натяжением жидкости  $\sigma(T_l)$  соотношением  $p_R = p_b - [2\sigma + 4\mu_l(dR/d\tau)]/R$ . Если жидкость считать несжимаемой (коэффициент сжимаемости  $\beta=0$ ), уравнение (1) сводится к классическому уравнению Рэля-Плессета, которое обычно используется многими авторами при моделировании кавитационных процессов.

Установлено, что учет сжимаемости жидкости существенно влияет на точность оценки энергетических кавитационных воздействий.

Полученные результаты можно рассматривать как базовый подход при разработке и оптимизации эффективных кавитационных реакторов.

# A THEORETICAL STUDY OF CAVITATION PHENOMENA WITH REGARD TO COMPRESSIBILITY OF THE LIQUID MEDIUM

Georgy Ivaniysky

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of  
Ukraine, 2a , Zhelyabova Str., Kyiv, 03680, Ukraine  
Phone (+38044) 424-14-96, E-mail: ittf\_tds@ukr.net*

The study of the cavitation phenomena with the view to its using for intensification of various technological operations, associated with processing heterogeneous liquid media, first of all in nano- and biotechnologies, requires the clear understanding of most important features of the cavitation processes and ability of predicting the influence of main determinative factors as well.

The main objective of this study was to develop a mathematical model of cavitation cluster dynamics with due account of the compressibility of the liquid medium, which allows adequate description of processes in liquid inter-bubble space of the cluster. The occurrence of powerful cavitation effects was found to be directly associated with the initiation of the spherical water hammer phenomena on the surface of an extremely compressed vapour bubble.

During very short time  $\Delta\tau \propto 10$  ns a compressed bubble exists in a state of supercritical fluid at temperature over 5000 K and pressure of about 100 MPa. The potential energy of compressed liquid layer near the bubble surface, in the form of the spherical acoustic pulse, radiated by the collapsing bubble, is then dissipated in the surrounding liquid. Local spatial scope of the dynamical effects of the cavitation pulse from every bubble is about of 30 microns.

It follows from the model that dynamics of a bubble in cavitation cluster with account of the liquid compressibility is determined by the equation

$$\frac{d^2 R}{d\tau^2} = \frac{p_R - p_\infty + 3/2(p_R - p_\infty)^2 \beta - 3/2 \rho_l (dR/d\tau)^2}{\rho_l R}, \quad (1)$$

where  $p_R$  and  $p_\infty(\tau)$  - are the pressure values in liquid at the bubble surface and far from the bubble, correspondingly. The pressure  $p_R$  is related to vapor pressure inside the bubble  $p_v(T_v)$ , bubble radius  $R(\tau)$  and also to density  $\rho_l(T_l)$ , viscosity  $\mu_l(T_l)$  and surface tension  $\sigma(T_l)$  of the liquid by the expression  $p_R = p_b - [2\sigma + 4\mu_l(dR/d\tau)]/R$ .

For incompressible viscous liquid, when compressibility coefficient of the liquid  $\beta=0$ , the equation (1) reduces to the classical Rayleigh–Plesset equation, which is usually employed in modeling of the cavitation bubble behavior.

It has been established that consideration of liquid media compressibility in cavitation modeling must essentially improve the calculation accuracy of both dynamical and thermal cavitation effects. Besides, it enables obtaining new valuable information concerning the nature of the cavitation phenomena.

The results obtained can be regarded as a basic approach to the issue of design of effectiveness cavitation reactors and optimization of their operation.