

Дейли Дж., Хэммит Ф., Кавитация, пер. с англ., М., 1974; Френкель Я. И., Кинетическая теория жидкостей, Л., 1975; Левковский Ю. Л., Структура кавитационных течений, Л., 1978; Иванов А. Н., Гидродинамика развитых кавитационных течений, Л., 1980.

А. Д. Перник.

КАВИТАЦИЯ акустическая — возникает под действием интенсивной звуковой волны. Если амплитуда звукового давления превосходит нек-рое критич. значение p_k , соответствующее порогу К., то в фазе разрежения звуковой волны создается такое низкое давление, что сплошность жидкости нарушается и образуются пузырьки. В обычных условиях нарушение сплошности в жидкости возникает при давлениях, лишь немного меньших давления насыщ. пара при данной тем-ре. Величина p_k зависит от многих параметров, характеризующих как состояние жидкости — газосодержание, тем-ра, наличие примесей, так и звуковое поле — частота, продолжительность звукового воздействия, пространственное распределение интенсивности звука.

Акустич. К. возникает в результате потери устойчивости кавитац. зародышей, попадающих в область пониж. давления в звуковой волне, и быстрого их роста. Этот процесс обусловлен рядом эффектов: давлением газа и пара в пузырьке, превышающем давление в окружающей жидкости; диффузией газа в пузырёк из жидкости; испарением жидкости и увеличением массы пара в пузырьке; коагуляцией зародышей. Первый из перечисленных механизмов играет основную роль в образовании кавитационной полости при быстром понижении давления (высокая частота звука) в жидкости с малым содержанием газа. Микроскопич. пузырёк, попадая в область разрежения, быстро расширяется под действием давления газа и пара внутри него, превосходящего суммарное действие сил поверхностного натяжения и давления в окружающей жидкости.

Диффузионный механизм роста пузырька обычно проявляется при сравнительно медленных изменениях давления (низкая частота звука) в жидкости с большим содержанием газа. При расширении пузырька концентрация газа в нём падает и газ диффундирует из жидкости в пузырёк. При сжатии пузырька процесс происходит в обратном направлении. Кол-во продиффундировавшего газа пропорционально площади поверхности пузырька, к-рая в стадии расширения больше, чем в стадии сжатия. В результате не происходит полной компенсации потоков газа, и в целом за период кол-во газа в пузырьке возрастает. Это явление наз. в ы д р я м л е н н о й д и ф ф у з и е й, оно вызывает рост пузырьков в поле перем. давления. Если тем-ра жидкости близка к точке кипения, то рост пузырька обычно связан с увеличением массы пара в нём за счёт испарения жидкости. При этом, так же как и в случае диффузионного механизма, возможен режим выпрямленной теплопередачи, приводящей к росту пульсирующего пузырька в среднем за период в результате увеличения массы пара.

Др. механизм роста пульсирующего парового пузырька связан с неадиабатичностью процесса изменения состояния пара при пульсации пузырька, приводящей к разогреву вещества и испарению жидкости в пузырёк. Этот механизм обычно проявляется при росте крупных зародышей. Звуковое поле в жидкости, вызывающей К., обычно неоднородно по пространству, что приводит к поступат. движению пузырьков. В результате этого, а также под действием сил взаимодействия между пульсирующими пузырьками (см. *Пондеромоторные силы в акустическом поле*), пузырьки, пульсируя, перемещаются и иногда сливаются друг с другом — развивается коагуляц. механизм роста зародышей. В реальных ситуациях описанные механизмы роста пузырька действуют одновременно, их относит. вклад зависит от состояния жидкости и характеристик звукового поля.

Количественно момент возникновения акустич. К. и степень её развития характеризуются, как и для гидродинамич. К., числом К. и, к-рое в этом случае равно $\kappa = (p_0 - p_n)/p_a$, где p_0 — гидростатич. давление в жидкости, p_n — давление её насыщ. пара, p_a — амплитуда звукового давления. Момент возникновения К. характеризуют критич. числом К. κ_k , соответствующим критич. амплитуде звукового давления $p_a = p_{\kappa k}$.

Возникшие в звуковом поле кавитац. полости интенсивно пульсируют, расширяясь в фазе разрежения и схлопываясь в фазе повыш. давления. Степень сжатия пузырька при схлопывании, характеризуемая отношением макс. радиуса пузырька R_{\max} к минимальному R_{\min} , тем больше, чем больше давление в жидкости $p = p_0 + p_a$ и меньше газосодержание в пузырьке, характеризуемое давлением газа Q , при $R = R_{\max}$:

$$\frac{R_{\max}}{R_{\min}} = \left[\frac{p(\gamma-1)}{Q} \right]^{1/3}$$

(γ — показатель адиабаты газа в пузырьке). Макс. давление p_{\max} в пузырьке, соответствующее его мин. объёму, приближённо выражается ф-лой

$$p_{\max} = Q \left[\frac{p(\gamma-1)}{Q} \right]^{\gamma/(\gamma-1)}$$

оно может составлять неск. тысяч МПа. В результате адиабатич. сжатия газ и пар (к-рый при больших скоростях изменения объёма пузырька ведёт себя как газ) нагреваются до тем-ры $\sim 10^4$ К, чем, по-видимому, и вызываются свечение пузырьков (з в у к о л о м и н е с ц е н ц и я) и частичная ионизация содержащегося в них газа.

Макс. скорость схлопывания развивается в фазе, близкой к фазе мин. значения радиуса пузырька, и может стать весьма большой (сравнимой со скоростью звука в жидкости). Вследствие потери устойчивости формы пузырька его схлопывание может происходить несимметричным образом, вызывая образование ку- мулятивной струи жидкости, радиус к-рой близок к мин. радиусу пузырька, а скорость — к скорости его схлопывания. При схлопывании пузырька в жидкость излучаются кратковременные (длительностью $\sim 10^{-6}$ с) импульсы давления до 100 МПа и более. Форма импульса схематически изображена на рис. 1. Пиковое значение давления на расстоянии r от пузырька вы-



Рис. 1. Форма импульса давления, излучаемого при схлопывании пузырька.

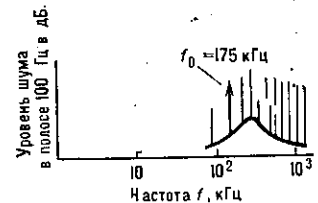


Рис. 2. Спектр кавитационного шума, вызванного волной частоты 175 кГц.

ражается ф-лой $p = p_{\max}/r$, длительность импульса $\theta \sim R_{\min} \sqrt{\rho/p_{\max}}$, где ρ — плотность жидкости. В условиях развитой К. в различные, случайно распределённые моменты времени схлопывается множество пузырьков, в результате чего излучается шум со сплошным спектром в полосе от неск. сотен Гц до МГц. На фоне сплошного спектра выделяются дискретные гармонич. и субгармонич. компоненты звукового поля, вызывающего К. (рис. 2). Мощные гидродинамич. возмущения в кавитац. области в виде импульсов сжатия и микропотоков, порождаемых пульсирующими пузырьками, сопровождаются сильным разогревом вещества, а также выделением газа, содержащего атомарную и ионизованную компоненты.