

**КАВИТАЦИЯ**  
**Наприенко А.А.,**  
**научный руководитель канд. техн. наук Хомутов М.П.**  
*Сибирский федеральный университет*

Впервые термин был введен в 1894 году британским инженером Р. Фрудом.

**Кавитация** (от лат. *cavitas* — пустота) — процесс парообразования и последующей конденсации пузырьков воздуха в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром самой жидкости, в которой возникает. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), существуют и другие причины возникновения эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк схлопывается, излучая при этом ударную волну.

Явление кавитации носит локальный характер и возникает только там, где есть условия. Перемещаться в среде возникновения не может. Кавитация разрушает поверхность гребных винтов, гидротурбин, акустических излучателей и др. Кавитация также приносит пользу — ее применяют в промышленности, медицине, военной технике и других смежных областях.

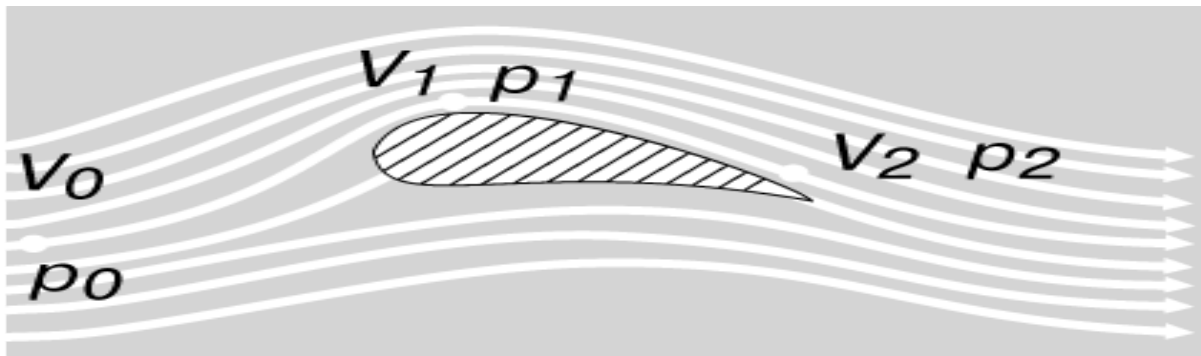
**Закон Бернулли.**

Для обоснования эффекта обратимся к закону Бернулли: в жидкости без трения энергия постоянна вдоль линии тока. Это можно выразить равенством

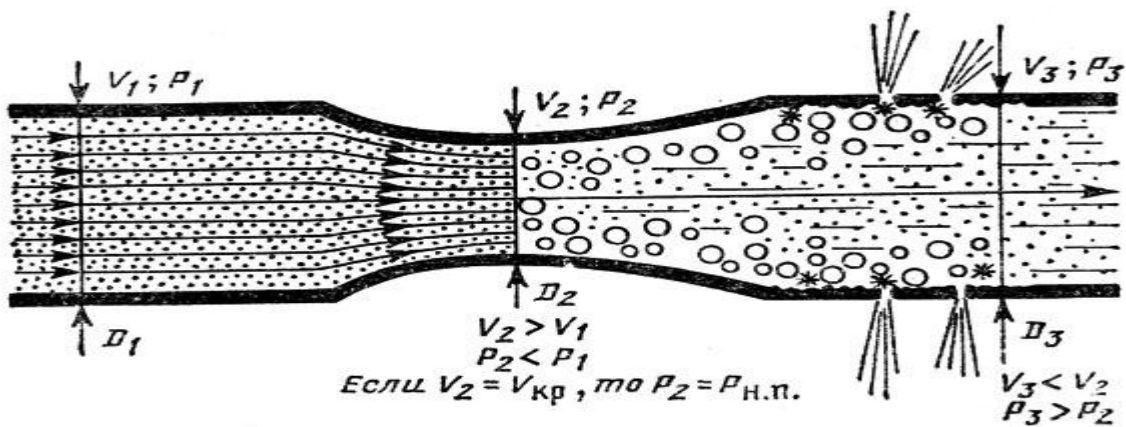
$$p_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = \text{const},$$

где  $p$  — давление,  $\rho$  — плотность, а  $v$  — скорость. Индексы 0, 1 и 2 относятся к любым трем точкам на данной линии тока.

Из указанного равенства следует, что при увеличении скорости понижается местное давление (пропорционально квадрату скорости). Всякая частица жидкости, движущаяся по искривленной линии тока, например, огибающей профиль, ускоряется и претерпевает понижение местного давления. Если давление снижается до давления насыщенного пара, то возникает кавитация. Таков механизм явления кавитации на подводных крыльях, гребных винтах, лопатках турбин и лопастях насосов.



В случае жидкости, текущей по трубе, согласно закону сохранения массы (уравнению неразрывности), скорость жидкости увеличивается в местах сужения трубы, где также возможна кавитация.



*Возникновение кавитации в трубопроводе*

### **Кавитационный коэффициент.**

Явление кавитации совершенно одинаково и для потока, обтекающего неподвижное тело, и для среды, в которой движется тело. В обоих случаях важны лишь относительная скорость и абсолютное давление. Соотношение между давлением и скоростью, при которых происходит кавитация, дается безразмерным критерием  $X$ , который называется кавитационным коэффициентом (числом кавитации). Известно, что кавитация возникает при достижении потоком граничной скорости  $V = V_c$ , когда давление в потоке становится равным давлению парообразования (насыщенных паров). Этой скорости соответствует граничное значение критерия кавитации.

**Уровень кавитации** измеряют (как правило в относительных единицах) с помощью приборов, называемых кавитометрами.

**Последние исследования** показали, что ведущую роль в образовании пузырьков при кавитации играют газы, выделяющиеся внутрь образующихся пузырьков. Эти газы всегда содержатся в жидкости, и при местном снижении давления начинают интенсивно выделяться внутрь указанных пузырьков.

Поскольку под воздействием переменного местного давления жидкости пузырьки могут резко сжиматься и расширяться, то температура газа внутри пузырьков колеблется в широких пределах, и может достигать нескольких сот градусов по Цельсию.

Имеются расчётные данные, что температура внутри пузырьков может достигать 1500 градусов Цельсия. Следует также учитывать, что в растворённых в жидкости газах содержится больше кислорода в процентном отношении, чем в воздухе, и поэтому газы в пузырьках при кавитации химически более агрессивны, чем атмосферный воздух — вызывают быстрое окисление (вступление в реакцию) почти любой среды или материала.

#### **Вредные последствия.**

**Эрозия.** Большая энергия, рассеиваемая при схлопывании кавитационных пузырей, может приводить к повреждению поверхностей подводных конструкций, гребных винтов, турбин, насосов и даже узлов ядерных реакторов. Масштабы такого явления, называемого гидравлической эрозией, могут быть разными – от точечной поверхностной эрозии после многих лет эксплуатации до катастрофического выхода из строя больших конструкций.



*Повреждения, наносимые эффектом кавитации (часть насоса)*



*Кавитационные повреждения гребного винта*

**Вибрация.** Кавитация на гребных винтах может вызывать периодические колебания давления, действующего на корпус судна и силовые установки. Кавитационная вибрация судна создает дискомфортные условия для пассажиров и команды.

**КПД и скорость.** Кавитация может существенно увеличивать гидродинамическое сопротивление, в результате чего снижается коэффициент полезного действия гидравлического оборудования. Чрезмерная кавитация на гребном винте может уменьшить его тягу и ограничить максимальную скорость судна; кавитация может также быть причиной снижения производительности турбины или насоса и даже срыва его работы.

**Шум.** Некоторая часть энергии, высвобождающейся при схлопывании кавитационных пузырей, преобразуется в звуковые волны. Такой шум особенно нежелателен на военно-морских судах, поскольку повышает вероятность их обнаружения.

Как правило, кавитация нежелательна (в морской и турбонасосной технике). Но в некоторых случаях ее вызывают намеренно. Примером может служить кавитационный гидромонитор. Большая энергия, высвобождающаяся при схлопывании кавитационных пузырей в водяной струе, используется для бурения (за счет эрозии) горных пород и для обработки поверхностей.

**Биологическое действие.** При ультразвуковом медицинском обследовании в биологических тканях могут возникать и расти кавитационные пузырьки. При наличии кавитации ультразвук большой интенсивности может вызвать повреждение тканей.

#### **Полезное применение кавитации.**

Хотя кавитация нежелательна во многих случаях, есть исключения. Например, сверхкавитационные торпеды, используемые военными, обволакиваются в большие кавитационные пузыри. Существенно уменьшая контакт с водой, эти торпеды могут передвигаться значительно быстрее, чем обыкновенные торпеды.

Кавитация используется при ультразвуковой очистке поверхностей твердых тел.

Кавитационные процессы имеют высокую разрушительную силу, которую используют для дробления твердых веществ, которые находятся в жидкости.

Кавитационные устройства снижают вязкость углеводородного топлива, что позволяет снизить необходимый нагрев и увеличить дисперсность распыления топлива.

Кавитацию используют для обработки топлива, во время обработки топливо дополнительно окисляется (при проведении химического анализа сразу появляется большее количество смол) и перераспределяется соотношение фракций.

В промышленности кавитация часто используется для гомогенизации (смешивания) и отсадки взвешенных частиц в коллоидном жидкостном составе, например, смеси красок или молока.