

АНАЛИЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КАВИТАЦИИ В ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ

Дубровец Л.В.

Хожикурбанов Н.К.

Бухарский инженерно-технологический институт

Аннотация: В статье представлен процесс возникновения кавитации, причины, ее последствия и меры обеспечения бескавитационной работы.

Ключевые слова: кавитация, давление, скорость, пузырьки газа, насыщенный пар, местное сопротивление, числа Рейнольдса, кавитационная эрозия.

Введение

Кавитация – это появление и распространение пузырьков пара в жидкости в результате изменения давления.

По закону Бернулли статическое давление жидкости падает с ростом скорости потока. Однако, если скорость очень большая, статическое давление может стать меньше, чем давление паров среды.

Пузырьки газа, образующиеся в среде, будут резко схлопываться в случае повышения статического давления. Это приведет к резким скачкам давления, которые могут повреждать арматуру и систему в целом. Кавитация может вызывать механические напряжения на поверхности трубопровода и приводить к эрозии и трещинам.

Фактически, увеличение скорости потока жидкости, снижение давления на входе и резкое повышение температуры перекачиваемой жидкости являются основными причинами кавитации. Отсюда, можно сделать вывод, что кавитация характерна не только для напорных систем водоснабжения, но и для отопительных систем в момент их пуска. Признаком кавитации в отопительных системах являются так называемые «щелчки» и характерные стуки в трубах при пуске отопительной системы. Это явление также наблюдается в системах горячего водоснабжения с использованием местных нагревательных котлов (когда жидкость нагревается периодически, неравномерно по времени).

Основная часть.

Кавитация абсолютно одинакова, и для среды, в которой движется тело, и для потока, обтекающего статичное тело. В этих двух случаях важны, только абсолютное давление и относительная скорость.

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} \quad (1)$$

где p_v — давление насыщенного пара жидкости при данной температуре [1].

На участках многих местных сопротивлений при изменении сечения скорость потока резко возрастает, а давление в нём уменьшается. Если давление становится меньше давления насыщенных паров жидкости $p_{н.п.}$, то в этом сопротивлении возникает кавитация. Кавитация возникает при движении жидкости в трубах и при внешнем обтекании тел, в частности, на лопастях гребных винтов, рабочих колёс паровых турбин и насосов.

Появление кавитации всегда вызывает увеличение сопротивления, то есть дополнительных потерь энергии. Кроме того, она приводит к вибрации, эрозионному разрушению материала и появлению кавитационных шумов, что часто возникает в трубах отопительной системы.

Кавитационные свойства местных сопротивлений выражают с помощью безразмерного числа кавитации k :

$$K = \frac{P_i - P_{кр}}{\frac{1}{2} \rho v_i^2} \quad (2)$$

где v_i – средняя скорость потока в сечении трубопровода перед местным сопротивлением;
 P_i – абсолютное давление в сечении трубопровода перед местным сопротивлением;
 $P_{кр.}$ – минимальное давление при котором возникает кавитация
Обычно кавитация возникает при минимальном давлении, равном давлению насыщенного пара

$$K = \frac{P_i - P_{н.п}}{\frac{1}{2} \rho v_i^2} \quad (3)$$

При снижении P_i или увеличении v_i число кавитации уменьшается, достигая в некоторого значения, которое отвечает возникновению кавитации – критическое число кавитации $K_{кр}$. Величина $K_{кр}$ определяется главным образом геометрической формой местного сопротивления, от которой в основном зависит распределение скоростей и давлений в потоке. Для данного местного сопротивления число $K_{кр}$ зависит от числа Рейнольдса Re ; в квадратичной зоне сопротивления $K_{кр} = const$.

Последствия кавитации настолько существенны, что соответствующее оборудование рассчитывают так, чтобы кавитация не возникала.

Если известно значение критического числа кавитации $K_{кр}$ то предельно допустимую скорость в трубопроводе перед местным сопротивлением определяют по формуле:

$$v_{ср} \leq \sqrt{\frac{2(P_i - P_{н.п})}{\rho K_{кр}}} \quad (4)$$

Значения $K_{кр}$ в большинстве случаев удаётся найти с необходимой точностью только опытным путём.

Одна из самых главных проблем, решаемых при эксплуатации насосного оборудования – обеспечить бескавитационную работу насоса.

Само по себе это уже способно значительно снизить рабочие характеристики оборудования. Но самое страшное случается дальше – по мере движения жидкости к зоне нагнетания давление повышается, и образовавшиеся ранее пузырьки схлопываются. Это сопровождается локальным повышением давления до 1 000 атмосфер и значительным нагревом до 2 000°C, которые распространяются ударной волной.

Именно в этот момент и начинается активная фаза кавитационной эрозии, которая характеризуется сразу тремя типами воздействий на поверхность материала элементов проточной части:

Механическое. Из-за повышения давления при схлопывании происходит локальный гидроудар, который приводит к разрушению материала проточной части и появлению выбоин и трещин.

Химическое. В следствии повышенного содержания в пузырьках кислорода происходит окисление даже тех материалов, которые в обычных условиях инертны.

Тепловое. Из-за повышения температуры материалы теряют свои расчётные свойства и становятся сильнее подвержены механическому и химическому воздействию.

Вывод.

Исходя из написанного выше очевидно, что кавитация приводит к быстрому и необратимому разрушению насосного оборудования. Возникает логичный вопрос – как же предотвратить появление кавитации? Необходимо всего лишь обеспечить достаточное давление на входе.

INNOVATIONS IN SCIENCE AND EDUCATION SYSTEM

DEHLI, INDIA - MARCH 7

<https://ejmr.org/conferences/index.php/eimrc>

Литература:

- 1.Альтшуль А.Д.,Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб, и доп. М., Стройиздат, 1975. 323 с
- 2.<https://studfile.net/preview/7761551/page:29/>
- 3.ДубровецЛ.В. Использование композиционных материалов в машиностроении. Educational Research in Universal Sciences (ERUS) jurnal. 2(13)11/2023