

УДК 656.6

ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАВУЧИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ ЗНАКИ

Власов Владимир Николаевич¹, старший преподаватель

e-mail: vn_vlasov@mail.ru

Шалаев Даниил Алексеевич¹, студент

e-mail: shalaev04@bk.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье представлено комплексное исследование влияния кавитационных процессов на функционирование и долговечность плавучих навигационных знаков в условиях речного судоходства. Основное внимание уделяется анализу механизмов возникновения кавитации, ее воздействию на конструкции знаков и сопутствующим процессам разрушения.

Ключевые слова: вода, давление, пузырьки газа, навигационный знак, эрозия, водный поток, кавитация.

RESEARCH OF CAVITATIONAL EFFECTS ON FLOATING NAVIGATION SIGNS

Vladimir N. Vlasov¹, Senior Lecturer

e-mail: vn_vlasov@mail.ru

Daniil A. Shalaev¹, Student

e-mail: shalaev04@bk.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. This work focuses on studying the impact of cavitation on the functioning of floating navigation signs, as well as analysis the processes that occur during the development of cavitation phenomena.

Keywords: water, pressure, gas bubbles, navigation mark, erosion, water flow, cavitation.

Во время эксплуатации плавучих навигационных знаков они подвергаются воздействию различных факторов, вследствие которых возникает их физическое разрушение: гидрообразующее, коррозионное, механическое. Механическое изнашивание из-за гидроэрозии и коррозии достаточно хорошо изучено, а вот влияние кавитации требует более глубокого изучения.

Научная новизна данного исследования заключается в том, что впервые рассматривается влияние кавитационного воздействия на плавучие навигационные знаки.

Ранее подобные исследования не проводились, несмотря на широкое применение навигационных знаков в речном судоходстве.

Практическая значимость работы определяется тем, что износ навигационных знаков существенно влияет на безопасность судоходства. Существующие исследования фокусируются преимущественно на традиционных факторах разрушения, игнорируя возможное влияние кавитации.

Кавитация—явление парообразования и выделения воздуха обусловленная понижением давления в жидкости. Причиной ее возникновения служит кипение жидкости при нормальной температуре и низком давлении. Появлению кавитации способствует растворенный в воде воздух, который выделяется при уменьшении давления [1].

Мельчайшие пузырьки газа с примерным радиусом 10^{-9} м как правило в некотором количестве содержится в потоке жидкости и не видны ни вооруженному глазу.

Эти пузырьки воздуха попадая в область более низкого давления, начинают расти. Через поверхность пузырька происходит диффузия газа: внутрь пузырька или из него в зависимости от концентрации газа в пузырьке и окружающей его жидкости. Это явление называется газовой кавитацией [2].

Существует также паровая кавитация. Жидкость вскипит если давление станет равным давлению его насыщенных паров.

В природе зачастую встречается именно сочетание паровой и газовой кавитации называемая - парогазовой.

Если пузырек содержит определенное количество газа, то находясь в области повышенного давления он стремительно схлопывается и вызывает гидравлический удар нанося повреждения обтекаемому телу — это называется кавитационная эрозия.

Вид кавитационной эрозии поверхности представлен на рисунке 1 [3].



Рисунок 1 – Кавитационная эрозия поверхности

В этом исследовании кавитационная эрозия рассматривается как один из факторов который может ускорять выход из строя плавучего навигационного знака.

Ключевой закон, объясняющий возникновение кавитации в потоках—закон Бернулли см. формулу 1:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = const \quad (1)$$

где p – статическое давление

ρ – плотность жидкости;

v – скорость потока;

g - ускорение свободного падения;

h – высота точки над выбранным уровнем.

Из уравнения следует: при увеличении скорости потока (v) статическое давление (p) падает. Если оно опускается ниже давления насыщенного пара, возникает кавитация.

В реках при увеличении скорости потока падает статическое давление, следовательно если давление падает ниже давления насыщенного пара, то возникает кавитация. Рассмотрим условия, при которых возможно возникновение кавитации в реках:

- Высокие скорости течения (примерно 14 м/с)
- Резкие изменения сечения русла
- Турбулентность и вихревые структуры

Критические условия возникновения кавитации см. формулу 2:

$$p < p_{\text{нас}} \quad (2)$$

Для оценки вероятности кавитации используют число кавитации σ см. формулу 3:

$$\sigma = \frac{p_{\infty} - p_{\text{нас}}}{\frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2} = \frac{10^5 - 2300}{0.5 \times 1000 \times 14^2} = 0.996 \quad (3)$$

где p_{∞} - давление в невозмущенном потоке;

$p_{\text{нас}}$ - давление насыщенного пара;

v_{∞} - скорость набегающего потока.

$$p_{\infty} \approx 1 \text{ атм} (\approx 10^5 \text{ Па})$$

$$p_{\text{нас}} \approx 2.3 \text{ кПа (для воды при } 20^\circ \text{C)}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

Для достижения развитой кавитации скорость набегающего потока должна быть больше или равна критической скорости. Для определения критической скорости ($V_{\text{кр}}$) см. формулу 4.

В зависимости от значения числа кавитации:

$\sigma > 1$ – кавитация отсутствует

$\sigma \approx 1$ - начало кавитации

$\sigma < 1$ - развитая кавитация

Критическая скорость составляет:

$$V_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2(p_{\infty} - p_{\text{нас}})}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(10^5 - 2300)}{1000}} \approx 14 \text{ м/с} \quad (4)$$

Это и дает упомянутый порог, который может снижаться из-за турбулентных пульсаций и локальных ускорений.

Образование кавитационных пузырьков на подводной части буя и цепи представлено на рисунке 2.

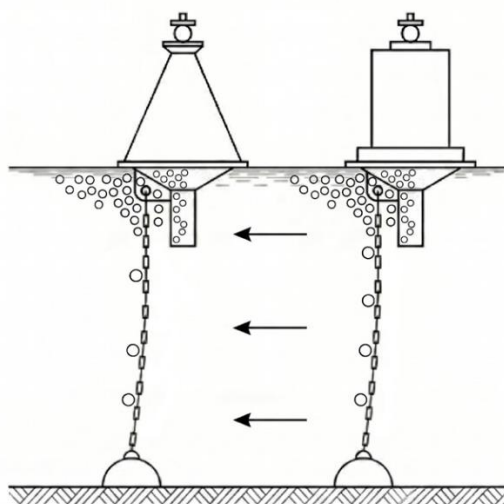


Рисунок 2 – Схема образования кавитационных пузырьков на подводной части буя и цепи

Конечно, на свободных реках скорость 14 м/с секунду не развивается, но кавитация возможно и при более низких значениях скорости.

Например, на участках с препятствиями - Днепровские пороги, на этом участке было зафиксировано возникновение кавитации при 4 м/с, на данный момент, этот участок более не является судоходным, поэтому приведем пример аналогичных судоходных порогов.

Казачинский порог и Большой (Орон) на нижней Тунгуске. На них развивается большая скорость течения. На Казачинском до 20–22 км/ч, на Ороне до 20 км/ч.

Казачинский порог образован скальными выступами и каменистыми грядами, пересекающими русло реки по всей его ширине.

На Ороне же русло представляет собой беспорядочное нагромождение каменных гряд, каменистых побочной и кос. Судоходства на Нижней Тунгуске сопряжено с большими трудностями из-за многочисленных порогов и водоворотов. Навигация большегрузных судов возможна только в период весеннего паводка (конец мая—середины июня).

Оба этих порога объединены тем, что имеют сложную геометрию русла, с многочисленными каменистыми грядами, выступами, мешающими судоходству.

Из-за чего во многих местах поток меняет направление, имеет резкое ускорение - в местах сужений, за выступами, вокруг и над препятствиями. Все это приводит к тому, что поток становится турбулентным, имеет сильные локальные ускорения, образует вихри, в центре которых могут возникать зоны пониженного давления.

Следовательно, если плавучий навигационный знак будет установлен в зоне действия активного турбулентного потока, то помимо основных факторов износа, есть вероятность того, что знак попадет под действие кавитации, что несомненно станет дополнительным фактором износа и приведет к более быстрому выходу из строя знака навигационной обстановки.

Дальнейшее изучение кавитационного воздействия позволит более достоверно спрогнозировать срок службы навигационного знака.

Список литературы:

1. Пирсол, И. С. Кавитация : монография / И. С. Пирсол ; пер. с англ. Ю. Ф. Журавлева ; под ред., с предисл. и доп. Л. А. Эпштейна. – Москва : Мир, 1975. – 95с.

2. Рождественский, В. В. Кавитация : учебное пособие для вузов по специальности «Гидроаэродинамика» / В. В. Рождественский. — Ленинград : Издательство «Судостроение», 1977. — 247 с.

3. Мизгирев, Д. С. Кавитационные процессы в судовых трубопроводных системах / Д. С. Мизгирев, В. Н. Власов, Д. В. Власов, В. Г. Сугаков // Морские интеллектуальные технологии, 2025. — 28 с.

