

УДК 01;03.620

А.И. Михеев, канд. техн. наук., доц., В.Г. Федотов, канд. фіз-мат. наук, доц.
Киевская государственная Академия водного транспорта им. Гетмана Петра
Конашевича-Сагайдачного, Украина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КАВИТАЦИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

A.I. Mikheyev, Ph.D., Assoc. Prof., V.G. Fedotov, Ph.D., Assoc. Prof.
**SOME ASPECTS OF CAVITATION DURING EXPLOITATION OF METALLIC
SHIP'S PROPELLERS**

В практике эксплуатации судов известен противоречивый, но не совсем понятный до конца факт - гребные винты из цветных металлов на основе меди (бронзы, латуни) по сравнению со стальными более устойчивы против кавитационного разрушения несмотря на то, что механическая прочность сталей выше аналогичных характеристик медных сплавов [1]. Именно поэтому быстроходные гребные винты предпочитают изготавливать из сплавов на медной основе. В результате кавитационных процессов увеличивается гидродинамическое сопротивление, уменьшается КПД гребных винтов и, как следствие, снижаются их тяговые возможности и максимальная скорость судов.

Для объяснения этого противоречия предлагается устоявшийся взгляд на кавитацию дополнить иным гипотетическим подходом к осмыслению этого явления, дающего возможность количественно сравнивать влияние кавитации на стойкость различных металлических сплавов.

Бытующее сегодня мнение, проясняющее негативную сущность кавитации, сводится к разрушающему действию механических сил, возникающих при схлопывании кавитационных пузырьков. Считается, что это разрушение проявляется или в виде гидродинамического удара, или в результате кумулятивного механизма с явно выраженным векторным действием [2,3]. При этом числовые значения основных параметров при кавитации достигают следующих величин: скорость схлопывания – до нескольких километров в секунду, время действия - $10^{-6} \dots 10^{-7}$ с.

Использование положений гидродинамической теории кумуляции [4], позволяет количественно оценить глубину разрушающего действия при кумулятивном механизме схлопывания кавитационного пузырька:

$$L = l_c \sqrt{\rho_c / \rho_{пр}}, \quad (1)$$

где L – глубина проникновения струи; l_c – длина кумулятивной струи;
 ρ_c – плотность среды струи; $\rho_{пр}$ – плотность материала преграды.

Однако новые данные по изучению динамики кавитационных пузырьков позволяют показать принципиальное различие между принятыми в настоящее время и предлагаемыми физическими механизмами кумуляции энергии акустического поля. Суть этого различия состоит в том, что энергия концентрируется не только в виде давления на границе полусферической поверхности пузырька системы «жидкость – газ», но и за счет постоянно возрастающего до определенной величины электростатического поля ориентированных диполей молекул воды.

При неподвижном пузырьке полярные молекулы в узком слое жидкости вблизи раздела фаз ориентированы конкретным образом, зависящим от сил взаимодействия между молекулами жидкости и газа. Заметим, что с точки зрения электростатики схема силовых линий поля эквивалентна случаю заряженной сферы, обладающей некоторым виртуальным зарядом Q . Расчеты показали, что суммарная величина заряда полусферы (радиусом 2,5 мм) пузырька на поверхности твердого тела примерно будет составлять $Q = 6,7 \cdot 10^{-4}$ Кл, а напряженность электрического поля (E) ориентированных ди-

польных молекул воды в пузырьке равна $E \approx 6 \cdot 10^9$ В/м. Конечная же величина электрического заряда пузырька (Q), т.е. его радиус определяется дефектностью поверхности подложки, величиной пониженного давления в момент разрыва потока и значением электрической проводимости материала подложки (σ).

С учетом вышеизложенного проведены расчеты сравнительной количественной оценки противокавитационной стойкости реальных конструкционных материалов гребных винтов (легированные стали марок 10X14НДЛ и 10X17НЗГ4Д2ТЛ, латунь марки ЛМцЖ 55-3-1 и бронза марки Бр.А9Ж4Н4Л).

Анализ конструкционных материалов гребных винтов свидетельствует о превосходстве легированных сталей над сплавами на основе меди по прочностным характеристикам (предел текучести) в 1,2...2,8 раза, по твердости – в 1,12...1,66 раза. Плотности медных сплавов незначительно превышают плотности сталей – в 1,06 раза, но электропроводимость бронзы и латуни существенно выше аналогичных параметров сталей - в 3...5 раз. Принимая во внимание, что величина электрического заряда пузырька прямо пропорциональна его квадрату радиуса ($Q \sim r_0^2$) и обратно пропорциональна электропроводимости материала подложки ($Q \sim 1/\sigma$), то тогда:

$$r_{0(st)} / r_{0(cu)} \approx \sqrt{\sigma_{cu} / \sigma_{st}} \approx 1,82 \dots 2,21, \quad (2)$$

где $r_{0(st)}$ и $r_{0(cu)}$ - радиусы пузырьков на стальной и медесодержащей подложках;

σ_{cu} и σ_{st} - электропроводимости медесодержащей и стальной подложек.

То есть, радиусы кавитационных пузырьков, образующихся на стальных поверхностях, примерно в 2 раза больше, чем радиусы пузырьков на латунной и бронзовой поверхностях гребных винтов. Следовательно, и длина формирующейся миникумулятивной струи при схлопывании пузырька на стальной подложке будет превышать подобную струю, воздействующую на медесодержащие подложки, также в 2 раза. С учетом полученной информации и выражения (1) проведена количественная сравнительная оценка, которая показала, что глубины поверхностных разрушений в латунных и бронзовых гребных винтах примерно в два раза меньше аналогичных характеристик в легированных сталях.

Таким образом, устраняется известный в практике нонсенс, когда более прочные стальные материалы существенно уступают по противокавитационной стойкости менее прочным – цветным сплавам. Приведенные соображения позволяют сделать вывод, что в процессе кавитации энергия при схлопывании пузырька концентрируется не только в виде механической энергии, но и в виде энергии электрического поля ориентированных дипольных молекул; наиболее разрушающее действие, по-видимому, связано с кумулятивным механизмом схлопывания пузырьков; при оценке кавитационных процессов необходимо учитывать электропроводность конструкционного материала гребного винта, радиус и величину электростатического заряда оболочки пузырька.

Литература

1. Васильев В.И., Рощин М.Б., Товстых Е.В. Судостроительные материалы. – Л.: Судостроение, 1971. – 384 с.
2. Козырев С.П. О захлопывании кавитационных каверн, образованных электрическим разрядом в жидкости. / Доклады АН СССР, т.183, №3, 1968. – с.568 – 571.
3. Смородов Е.А. Динамика кавитационного пузырька в полярной жидкости. – Письма в ЖТФ, т.32, вып.8, 2006.
4. Лаврентьев М.А. УМН, 1957, т. 12, вып. 4(76), с.41 – 56.