

## КАВИТАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ

Ходосенко Р.С.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В последнее время в различных областях техники, таких как авиация, ракетостроение, химическое и энергетическое машиностроение, получают все большее распространение высокооборотные центробежные насосы.

Их достоинством является простота конструкции, малая масса и большой ресурс.

При высокой рабочей частоте центробежного колеса возникает разность давлений в жидкости, из этого следует ее «вскипание». Жидкость начинает кипеть, когда давление в некоторых участках понижается до давления ее насыщенных паров. Происходит нарушение потока жидкости с образованием многочисленных пузырьков – каверн. При этом жидкость интенсивно кипит, этот процесс сопровождается заполнением полости каверн парами жидкости. Перемещаясь с потоком в область более высокого давления, кавитационный пузырёк схлопывается, излучая при этом ударную волну. На рис.1 показано явление кавитации на примере гребного винта.

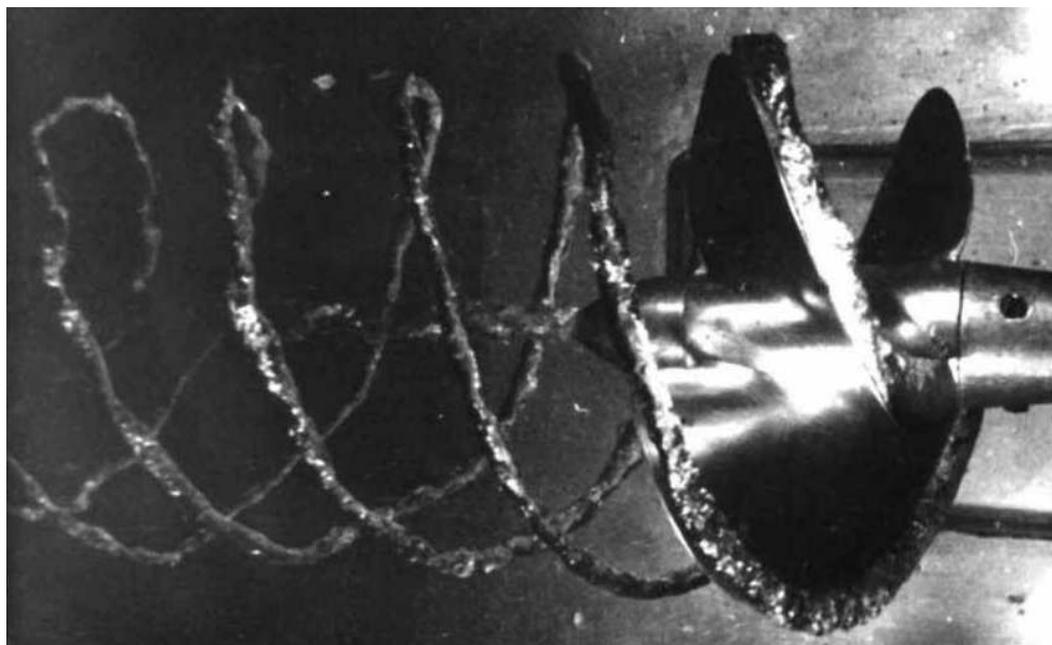


Рисунок 1 – Явление кавитации на гребном винте судна.

Следствиями явления кавитации является: вибрация, шум, эрозионное повреждение конструкции, на участках протекания процесса кавитации (рис 2). В результате все эти явления несут с собой изменяются энергетических характеристик насоса, резко снижается напор.



Рисунок 2 – Кавитационная эрозия на рабочем колесе центробежного насоса.

Длительная работа насоса при наличии даже незначительных кавитационных явлений недопустима. Для предотвращения нежелательных последствий кавитации приходится либо повышать давление жидкости перед насосом либо понижать рабочую частоту вала турбины. При этом ухудшаются экономические и массо-габаритные характеристики агрегата.

Для прогнозирования антикавитационных свойств насоса используют кавитационный коэффициент быстроходности  $C_{кр}$ .

$$C_{кр} = \frac{5,62n\sqrt{Q}}{\Delta h_{кр}^{\frac{3}{4}}}, \quad (1)$$

где  $n$  – рабочая частота вращения вала, об/мин;  
 $Q$  – объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$h_{кр}$  – критический кавитационный запас или превышение полного минимального напора жидкости, м.

Чем большую величину имеет коэффициент  $C_{кр}$ , тем более высоким антикавитационным свойством обладает насос.

Из данного выражения видно, что при заданных параметрах  $Q$  и  $\square h_{кр}$  допустимая частота вращения вала насоса  $n$  пропорциональна кавитационному коэффициенту быстроходности  $C_{кр}$ , который зависит от конструкции насоса и может меняться в широких пределах. Из вышеописанного следует, что кавитация влияет на облик агрегата, его основные характеристики, габариты и массу.

Прежде всего высокие антикавитационные характеристики достигаются путем внедрения в конструкцию на одном валу с центробежными колесом, колес-шнеков. На рисунке представлена типовая схема шнеко-центробежной ступени. Шнек прост в изготовлении, незначительно увеличивает габариты входного устройства, так же несущественно усложняет конструкцию.

Гибриды шнеко-центробежных насосов при правильном проектировании могут иметь значения антикавитационного коэффициента быстроходности  $C_{кр} = 5000 \div 5500$ .

Одним из основных факторов при проектировании турбонасосных насосных агрегатов является учет характеристик рабочей жидкости. Например наличие газовых включений ускоряет процесс кавитации.

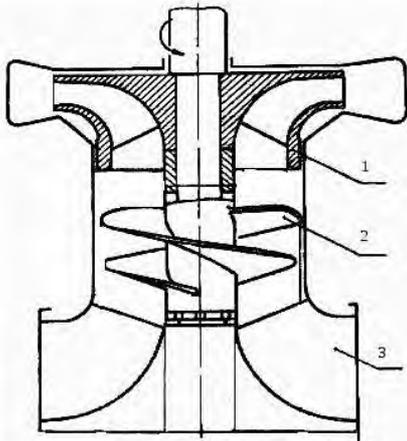


Рисунок 3 – Типовая схема шнеко-центробежной ступени.

1 - центробежное рабочее колесо; 2 - шнек; 3 – подвод.

Прежде всего жидкость не может воспринимать растягивающих усилий. В результате происходит ее разрыв, и как следствие, нарушение сплошности потока с образованием многочисленных каверн.

При этом процессе жидкость интенсивно кипит и как только паровые каверны, движущиеся вместе с потоком жидкости, попадают в участок, где давление выше упругости насыщенного пара, происходит конденсация, после чего каверны исчезают и процесс кавитации завершается.

Образование пара в потоке сопровождается затратой тепла, которое отнимается от жидкости, расположенной вблизи каверн. Как результат, температура рабочей жидкости понижается, а давление становится ниже изначального давления насыщенных паров, вскипание жидкости происходит

как бы с запаздыванием из перегретого состояния. Так же происходит процесс конденсации пара из переохлажденного состояния. Все это ведет к тому, что конденсация пара в кавернах сопровождается большей скоростью и частицы жидкости также достигают большей скорости. В части сжатия каверны происходит сильный гидравлический удар, который может достигать несколько десятков мегапаскалей.

Таким образом, путем изменения конструкции можно улучшить антикавитационные характеристики, повысив при этом КПД агрегата. Есть возможность понизить и вредное воздействие кавитационной эрозии. Одним из основных методов борьбы с кавитационной эрозией является подбор материалов, закладываемых при проектировании деталей агрегатов.

#### *Список литературы*

1. Волков Е.Б., Головков Л.Г., Сырицын Т.А., *Жидкостные ракетные двигатели: 1970—237 с.*

2. Беляев Е.Н., Чванов В.К., Черваков В.В., *Математическое моделирование рабочего процесса жидкостных ракетных двигателей, :1999—115с. — ISBN 0-03-076708-3.*

3. Гахун Г.Г. (ред), *Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: 1989—202с. — ISBN 5-217-00360-X.*

4. Левковский Ю.Л. *Структура кавитационных течений. — Судостроение:1977. —248 с.*