

УДК 621.65.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В НАСОСАХ С ПОМОЩЬЮ ANSYS CFX

Степанов Д. В., Шаблей Л. С.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Кавитация – это явление образования в потоке жидкости паровых каверн в результате местного понижения давления жидкости ниже давления насыщения паров. Кавитация сопровождается гидравлическими ударами, которые происходят при «схлопывании» кавитационных пузырей, что приводит к разрушению поверхности (кавитационной эрозии) рабочих органов гидравлических машин, лопастных насосов, струйных элементов, гребных винтов, форсунок, эжекторов [1].

Важным показателем работоспособности насосов является кавитационный запас. Он характеризует способность насоса сохранять нужный уровень давления в жидкости для избежания возникновения в нём кавитации и определяется по формуле:

$$\Delta h = \frac{p_{ex} - p_v}{\rho g},$$

где p_{ex} – давление жидкости на входе в насос; p_v – давление насыщения пара жидкости при данной температуре; ρ – плотность жидкости.

Для моделирования кавитации используют эмпирические, аналитические и другие модели. В последнее время с развитием информационных технологий наибольшую популярность приобрело моделирование кавитации в программных пакетах, реализующих численное решение системы уравнений Навье-Стокса.

В ANSYS CFX, который был выбран в качестве инструмента для моделирования кавитации, реализована модель кавитации Рэлея-Плессета. Также может быть задана «пользовательская» модель, в которой могут быть заложены любые математические выражения, определяющие скорость образования паровой фазы.

Модель кавитационного массопереноса Рэлея-Плессета основана на уравнении Релея, которое рассчитывает объёмное содержание пара и жидкости в расчётной ячейке. Модель учитывает два фактора: скорость роста пузырька и статистический характер распределения пузырьков в кавитационном потоке. скорость роста пузырька считается по упрощённому уравнению Релея:

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_n - p}{\rho}},$$

где R – радиус кавитационного пузырька; p_n – давление внутри пузырька (в модели давление насыщенных паров); p – местное давление в жидкости (абсолютное давление CFD-решателя).

Объёмная доля пара в ячейке учитывается статистически на основе определения числа зародышей n и радиуса зародыша R_0 и определяется по формуле:

$$\alpha = n \cdot \frac{4}{3} \pi R_0^3.$$

Модель кавитации Рэлея-Плессета, реализуемая в ANSYS CFX, требует задания таких параметров, как средний диаметр капель и давление насыщения паров. В случае использования «пользовательской» кавитационной модели скорость кавитации должна быть задана явно.

В данной работе была опробована методика моделирования кавитационного массопереноса в ANSYS CFX для водяного насоса [2], имеющего полное давление на входе 100 кПа, массовый расход 16 кг/с, частоту вращения ротора 132 рад/с, интенсивность турбулентности на входе 3 %.

При решении задачи кавитирующего потока нужно на первом этапе получить сошедшее решение с выключенной моделью кавитации при условиях, когда можно было бы ожидать её появления. Затем, на втором этапе, модель кавитации включается путём выбора опции Cavitation в разделе Mass Transfer (Массоперенос) вкладки Fluid Pairs (пары жидкостей) на вкладке исследуемой зоны (Domain). Далее, на третьем этапе, ступенчато понижаем давление для снятия кавитационной характеристики.

На первом этапе при решении задачи была построена изоповерхность давления со значением давления насыщения паров (3574 Па). Результаты моделирования показали её отсутствие. Это говорит о том, что в потоке жидкости отсутствуют области потенциальной кавитации. Моделирование данного этапа нужно для того, чтобы создать файл начальных значений для дальнейшего моделирования.

На втором этапе в расчёт были добавлены параметры водяного пара и включена модель кавитации Рэля-Плессета. Также были созданы точки мониторинга для отслеживания таких параметров, как кавитационный запас и напор. Задача была просчитана для $p_{ex}=100$ кПа. Построение изоповерхности объёмной доли водяного пара в 10 % показало её отсутствие. Это говорит о том, что при $p_{ex}=100$ кПа минимальное статическое давление в потоке жидкости выше давления насыщения паров и кавитация отсутствует.

Далее, на третьем этапе, давление на входе было снижено до 80 кПа. Для формирования файла результатов в качестве начальных значений был выбран файл предыдущих расчётов. При ступенчатом понижении давления до 17,5 кПа было зафиксировано появление кавитационной зоны (рис. 1).

На рис. 2 представлен график зависимости напора от коэффициента кавитационного запаса. Можно сказать о том, что при уменьшении p_{ex} от 100 кПа до 20 кПа кавитация не оказывает значительного влияния на напор. При снижении давления ниже 20 кПа увеличивается влияние кавитации на напорную характеристику насоса. В целом же характер данной зависимости совпадает с теоретическими данными кавитационных характеристик насосов.

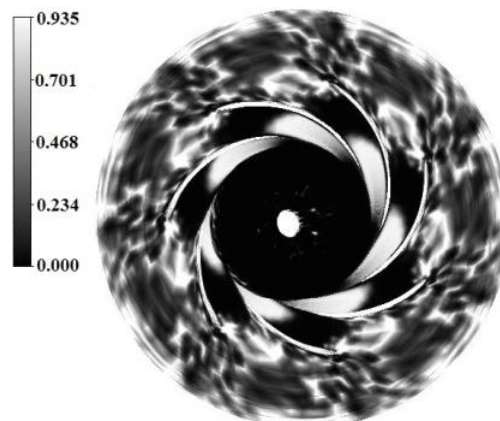


Рис. 1. Распределение объёмной доли водяного пара в потоке жидкости при $p_{ex} = 17,5$ кПа

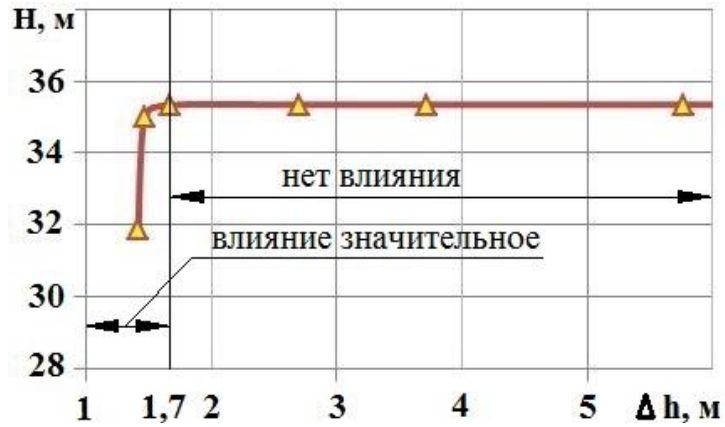


Рис. 2. Кавитационная характеристика

Библиографический список

1. Карелин, В.Я. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст]/ В. Я. Карелин, А. В. Минаев – М.: Стройиздат, 1986. – 396 с.
2. ANSYS CFX Tutorial Guide / Chapter 28: Drop Curve for Cavitating flow in a Pump. ANSYS Inc. Release 15.0.