

ВОРОБЬЁВА
Вера Михайловна

магистратура, Петрозаводский государственный университет
(Петрозаводск, Российская Федерация)
ververa.sh@yandex.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В КЛИНОВОЙ ЗАДВИЖКЕ В СРЕДЕ ANSYS FLUENT

Научный руководитель:

Екимова Татьяна Анатольевна

Рецензент: Р. Н. Осауленко

Статья поступила: 05.04.2023;

Принята к публикации: 02.05.2023;

Размещена в сети: 25.06.2023

Аннотация. В статье моделируется явление кавитации в среде ANSYS Fluent и исследуются характеристики кавитации на примере клиновой задвижки. В результате эксперимента определено начало кавитации и максимальный перепад давлений, который может подаваться на задвижку без ее последующего разрушения.

Ключевые слова: моделирование, кавитация, ANSYS Fluent, клиновая задвижка

Для цитирования: Воробьёва В. М. Компьютерное моделирование кавитации в клиновой задвижке в среде ANSYS FLUENT // StudArctic Forum. 2023. Т. 8, № 2. С. 36—41.

Кавитация представляет собой образование полостей паровой фазы или пузырьков внутри жидкости вследствие быстрых изменений локального давления. Кавитация возникает, когда в области жидкости происходит падение давления до точки ниже давления паров жидкости при текущей температуре [Brennen: 3]. В этот момент происходит изменение состояния с жидкого на газообразное, что создает пузырек. После образования полостей пузырьки низкого давления не могут поддерживать свою форму, потому что они окружены жидкостью с более высоким давлением. В дальнейшем пузырьки схлопываются, что приводит к сжатию и нагреву газа внутри пузырька, в результате чего образуется ударная волна с высоким давлением и температурой.

Кавитация является причиной таких проблем, как эрозия, шум, вибрация, деформация и разрушения агрегатов, арматуры и трубопроводов, которые, как правило, работают при высоком давлении. Возникновение кавитации, в общем и целом, отрицательно сказывается на правильном функционировании гидравлической системы. Несмотря на это, в частных случаях кавитация может производить положительный эффект, например, привести к уменьшению лобового сопротивления в подводных аппаратах, или к лучшему распылению жидкости в отверстиях топливных форсунок. Для уменьшения отрицательного или увеличения положительного эффекта кавитации важно понимать физику явления двухфазного потока. Получение теоретических знаний об основных аспектах кавитации и изучение динамики в простых геометрических формах способствует достижению этой цели [Ferrari: 2].

В качестве модели для проведения численного эксперимента по изучению зависимости объемного расхода среды от задаваемых давлений выбрана клиновая задвижка АНЕМ.491654.081, схема которой представлена на рисунке 1. Корпус – это основная часть задвижки. К корпусу приварено седло с наплавленной уплотнительной поверхностью и направляющая клина. Сверху корпус закрывается крышкой. Клиновая задвижка имеет два рабочих положения: открытое и закрытое. Клин задвижки состоит из двух скрученных полуклиньев, соединенных шпонкой. Переход в закрытое состояние осуществляется посредством опускания клина при помощи штока, расположенного сверху. Шток управляется маховиком через винтовую передачу [Messa: 4].

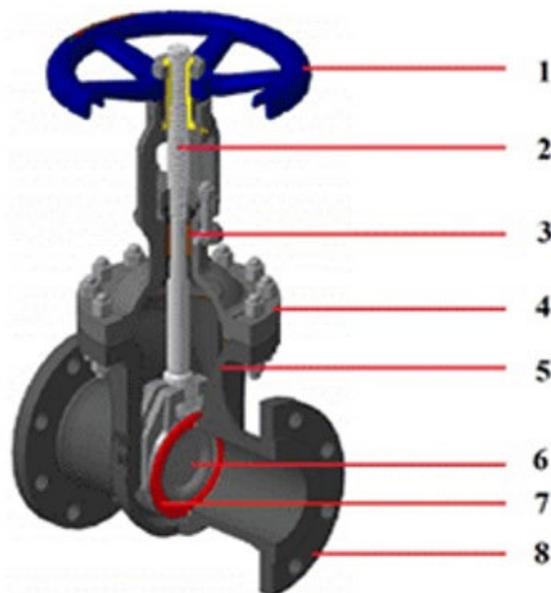


Рис. 1. Задвижка клиновая:

1 – маховик, 2 – шток (шпindelь), 3 – сальниковый узел, 4 – крышка, 5 – корпус, 6 – клин, 7 – уплотнительная поверхность, 8 – присоединительный патрубок

Согласно ГОСТ 34437-2018 «Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик», исследование кавитационных характеристик проводится исходя из следующих положений:

- критерием кавитации является коэффициент кавитации K_c [ГОСТ 34437-2018 : 19];
- коэффициент кавитации K_c используют для расчета допустимого перепада давлений ΔP_c , при котором обеспечивается бескавитационный режим работы регулирующей арматуры. Коэффициент кавитации рассчитывают по формуле:

$$K_c = \frac{\delta P_c}{P_1 - P_{ss}}$$

где δP_c – перепад давлений на арматуре, соответствующий началу отклонения расходной характеристики вида $Q = f(\sqrt{\delta P})$ от линейной зависимости; P_1 - абсолютное давление пара до испытуемой арматуры, равное сумме избыточного и атмосферного давления; P_{ss} - абсолютное давление насыщенных паров жидкости на входе в регулируемую арматуру [ГОСТ 34437-2018 : 20].

При испытании арматуры на фиксированном ходе (степени открытия) граничным условием обеспечения бескавитационного режима течения является перепад давлений, при котором в пределах погрешности измерений наступает отклонение от линейной расходной характеристики $Q = f(\sqrt{\delta P})$ [ГОСТ 34437-2018 : 10].

В бескавитационном режиме число измерений Q и δP должно быть не менее пяти [ГОСТ 34437-2018 : 10].

Расчетная модель представлена на рисунках 2 и 3. С помощью средств ANSYS SpaceClaim выделена проточная часть клиновой задвижки. При подготовке геометрической модели устранены имеющиеся зазоры и соединительные элементы исходной 3D-модели задвижки, не являющиеся необходимыми в расчете. Для получения корректных результатов на входе в задвижку добавлен участок (патрубок) длиной в три условных диаметра D_u , на выходе добавлен участок в пять условных диаметров, что позволяет получить равномерное распределение профиля скорости. Проточная часть симметрична относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось патрубков, поэтому возможен расчет для одной половины с граничным условием симметрии (рис.3).

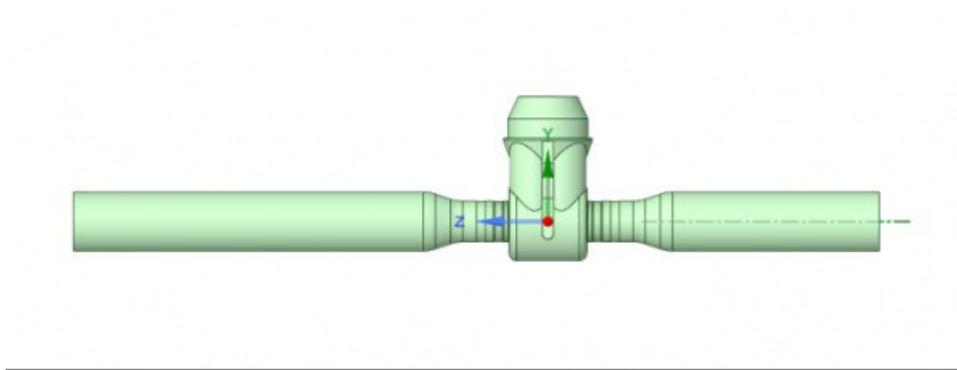


Рис. 2. Расчетная модель проточной части задвижки

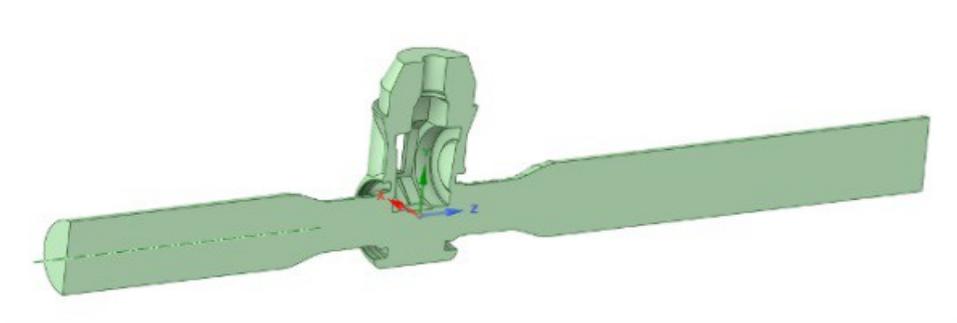


Рис. 3. Расчетная модель проточной части задвижки: вид в сечении плоскостью YZ

Построение расчетной сетки для модели осуществлялось при помощи модуля Fluent Mesh. Построение расчетной сетки выполнялось в соответствии с общими рекомендациями по критериям качества элементов. Расчетная сетка представлена на рисунках 4, 5.

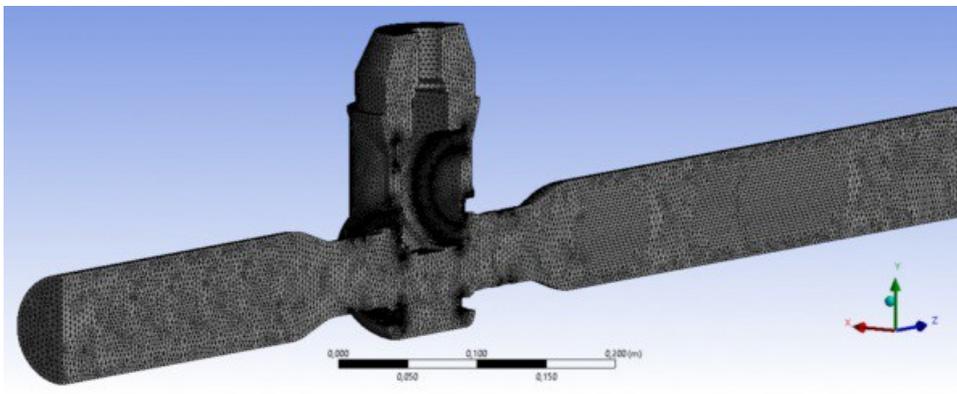


Рис. 4. Расчетная сетка

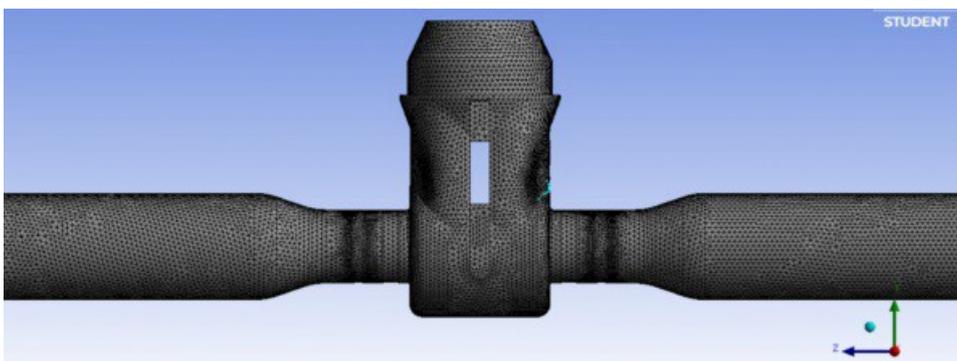


Рис. 5. Расчетная сетка: вид в сечении плоскостью OYZ

Постановка задачи и непосредственно проведение численного эксперимента (расчета) выполнялось в ANSYS Fluent. Программа Fluent решает двухмерные, осесимметричные и трехмерные задачи в стационарной или нестационарной постановках в большом диапазоне скоростей потока. Течение рабочего тела может рассматриваться как невязкое, ламинарное или турбулентное.

Для проведения расчетов необходимо задание свойств двухфазной среды. В разделе Multiphase Model указывается количество участвующих в моделировании фаз - 2. В расчете используется k - ω SST модель – модель, обладающая высокой точностью и надежностью, захватывающая более широкий класс различных течений, нежели стандартная k - ω модель. В качестве первой фазы была выбрана вода (water-liquid), в качестве второй фазы – водяной пар (water-vapor), свойства – стандартные, заданные программой – плотность и вязкость при 100 °С. Давление насыщенных паров при расчете – 1 Па (атмосферное давление): это удобно с точки зрения кавитации, так как давление в газовом пузырьке практически не изменяется и соответствует давлению насыщенных паров. Для рабочего давления выбрано значение 0 – давление на входе и на выходе будет абсолютное.

Далее ставятся граничные условия – давление на входе и выходе модели. Давление на входе 5 Бар, начальное давление на выходе - 4,75 Бар. Для расчета коэффициента кавитации необходимо провести расчет на нескольких шагах, увеличивая при этом перепад давлений, уменьшая давление на выходе. В таблице 1 представлены данные о значениях давления на входе и выходе, а также значения объемного расхода на каждом шаге, полученные в результате проведения численного эксперимента посредством расчета с помощью ANSYS Fluent.

Исходя из полученных данных, рассчитан перепад давлений δP , а также коэффициент кавитации K_c и пропускная способность K_v (таблица 1). Коэффициент кавитации, K_c , согласно СТ ЦКБА 029-2006 – безразмерный параметр, обуславливающий при заданной температуре рабочей среды перепад давления на регулирующей арматуре, при котором начинается отклонение расходной характеристики $Q = f(\sqrt{\delta P})$ от линейной зависимости [СТ ЦКБА 029-2006 : 8]. Пропускная способность, K_v , согласно СТ ЦКБА 029-2006 – величина, численно равная расходу рабочей среды с плотностью 1000 кг/м³, протекающей через регулирующую арматуру при перепаде давлений 0,1 Мпа (1 бар или 1 кгс/см²) [СТ ЦКБА 123-2019 :37].

Таблица 1

| Q, м ³ /с | Q, м ³ /ч | Рнп, Бар | Р1, Бар | Р2, Бар | δP | $\sqrt{\delta P}$ | K_v , м ³ /ч | K_c |
|----------------------|----------------------|----------|---------|---------|------------|-------------------|---------------------------|-------|
| 0,0074 | 53,799 | 1 | 4,956 | 4,750 | 0,206 | 0,454 | 118,612 | 0,052 |
| 0,0106 | 76,273 | | 4,911 | 4,500 | 0,411 | 0,641 | 118,971 | 0,105 |
| 0,0151 | 108,148 | | 4,821 | 4,000 | 0,821 | 0,906 | 119,348 | 0,215 |
| 0,0184 | 132,648 | | 4,731 | 3,500 | 1,231 | 1,109 | 119,561 | 0,329 |
| 0,0195 | 141,093 | | 4,696 | 3,300 | 1,395 | 1,181 | 119,436 | 0,378 |
| 0,0201 | 144,968 | | 4,679 | 3,200 | 1,479 | 1,216 | 119,219 | 0,402 |
| 0,0206 | 148,496 | | 4,663 | 3,100 | 1,563 | 1,250 | 118,788 | 0,427 |
| 0,0211 | 151,971 | | 4,647 | 3,000 | 1,647 | 1,283 | 118,422 | 0,452 |
| 0,0221 | 159,067 | | 4,612 | 2,750 | 1,862 | 1,365 | 116,568 | 0,516 |
| 0,0221 | 159,527 | | 4,609 | 2,500 | 2,109 | 1,452 | 109,859 | 0,584 |
| 0,0223 | 160,848 | | 4,605 | 2,300 | 2,304 | 1,518 | 105,959 | 0,639 |
| 0,0224 | 161,280 | | 4,608 | 2,100 | 2,508 | 1,584 | 101,839 | 0,695 |
| 0,0224 | 161,280 | | 4,608 | 1,900 | 2,708 | 1,646 | 98,007 | 0,751 |
| 0,0223 | 160,560 | | 4,606 | 1,700 | 2,906 | 1,705 | 94,187 | 0,806 |
| 0,0223 | 160,560 | | 4,606 | 1,500 | 3,106 | 1,762 | 91,104 | 0,861 |
| 0,0223 | 160,560 | | 4,604 | 1,400 | 3,204 | 1,789 | 89,699 | 0,889 |

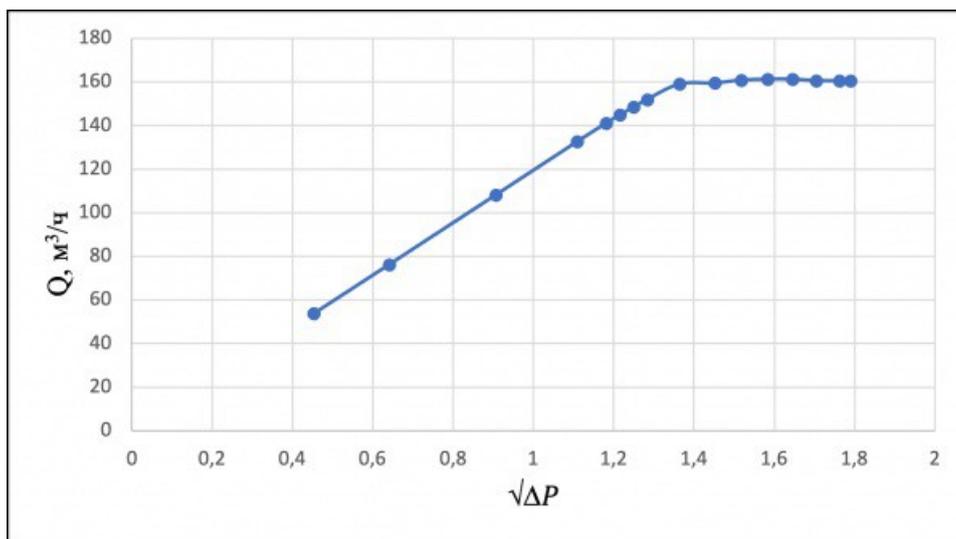


Рис. 6. График расходной характеристики

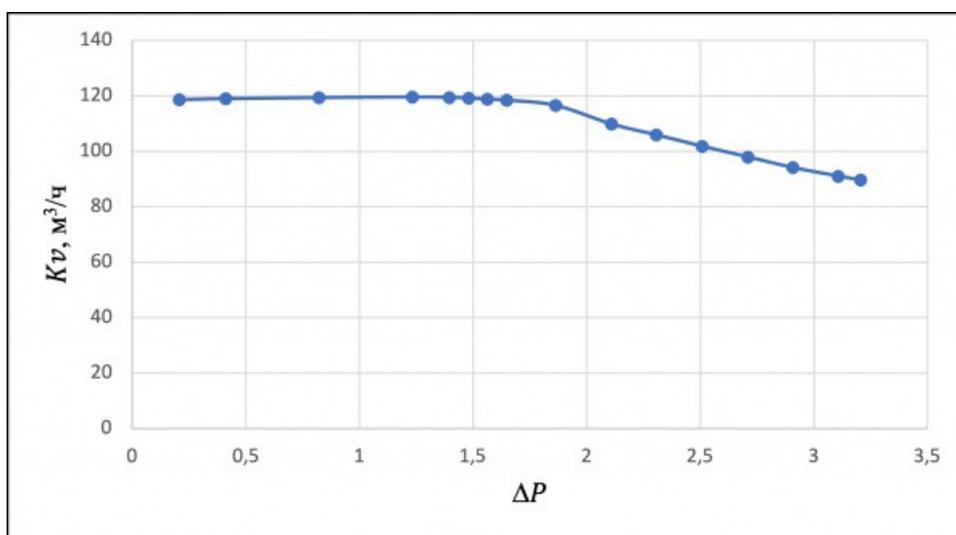


Рис. 7. График зависимости пропускной способности K_v от перепада давлений на задвижке δP

Таким образом, проведен численный эксперимент (численное моделирование эксперимента), в ходе которого была изучена зависимость объемного расхода среды, проходящей через задвижку в зависимости от задаваемых давлений. В результате эксперимента получены значения объемного расхода Q и посчитан перепад давления δP . Построен график расходной характеристики $Q = f(\sqrt{\delta P})$, откуда, согласно ГОСТу, можно определить начало кавитации (рис. 6). Для удобства анализа результатов построен график зависимости пропускной способности от перепада давления $K_v = f(\sqrt{\delta P})$ (рис. 7). В бескавитационном режиме график представляет собой горизонтальную прямую, при кавитации характерно отклонение зависимости от линейной. Начало кавитации соответствует перепаду давления, равному $\delta P = 1.862$ Бар. Соответствующий коэффициент кавитации при этом равен $K_v = 0.516$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ГОСТ 34437-2018. Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик. Введ. 2019-07-01. Москва : Стандартинформ, 2018. 32 с.

СТ ЦКБА 029-2006. Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик. Введ. 2006-07-01. Санкт-

Петербург : АО «НПФ «ЦКБА», 2006.. 62 с.

СТ ЦКБА 123-2019. Арматура трубопроводная. Термины и определения (с иллюстрациями). Введ. – 2019-09-02. Санкт-Петербург: АО «НПФ «ЦКБА», 2019. 71 с.

Brennen C. E. Cavitation in medicine // *Interface focus* 5(5), 2015. 12 с. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsfs.2015.0022>

Ferrari A. Fluid dynamics of acoustic and hydrodynamic cavitation in hydraulic power systems // *Proceedings of the Royal Society A: mathematical, physical and engineering science*, 2017. 20 с. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.2016.0345>

Messa G. V., Negri M., Wang Y., Malavasi S. Estimation of the useful lifetime of a gate valve subjected to impact erosion. // *The Italian Association of theoretical and applied mechanics* 2, 2017. 17 с.

Original article

Vera M. VOROBYOVA

master's degree, Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russia),
ververa.sh@yandex.ru

COMPUTER SIMULATION OF CAVITATION IN A WEDGE GATE VALVE IN THE ANSYS FLUENT ENVIRONMENT

Scientific adviser:

Tatiana A. Ekimova

Reviewer: R. Osaulenko

Paper submitted on: 04/05/2023;

Accepted on: 05/02/2023;

Published on: 06/25/2023

Abstract. The article models the phenomenon of cavitation in ANSYS Fluent and examines the cavitation characteristics of a wedge gate valve. As a result, the experiment determined the beginning of cavitation and the maximum pressure drop that can be applied to the valve without its subsequent destruction.

Keywords: modeling, cavitation, ANSYS Fluent, wedge gate valve

For citation: Vorobyova V. M. Computer simulation of cavitation in a wedge gate valve in the ANSYS FLUENT environment. *StudArctic Forum*. 2023; 8(2): 36—41.