

**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].

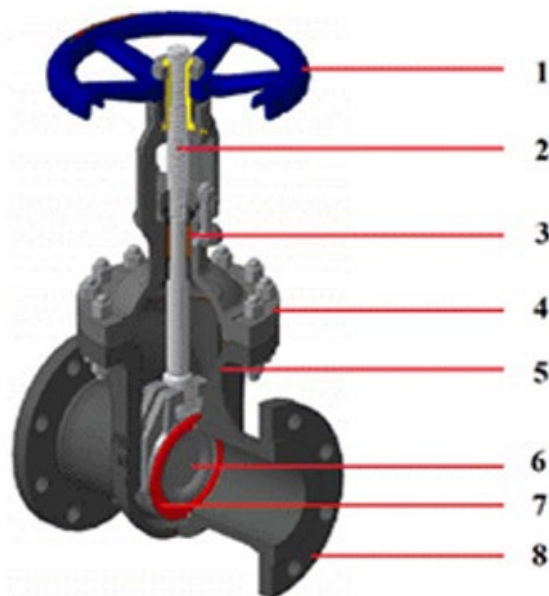


Рис. 1. Задвижка клиновая:

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  $\Delta P_c$ , при котором обеспечивается бескавитационный режим работы регулирующей арматуры. Коэффициент кавитации рассчитывают по формуле:

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

где  $\delta P_c$  – 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  $\delta P$  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).

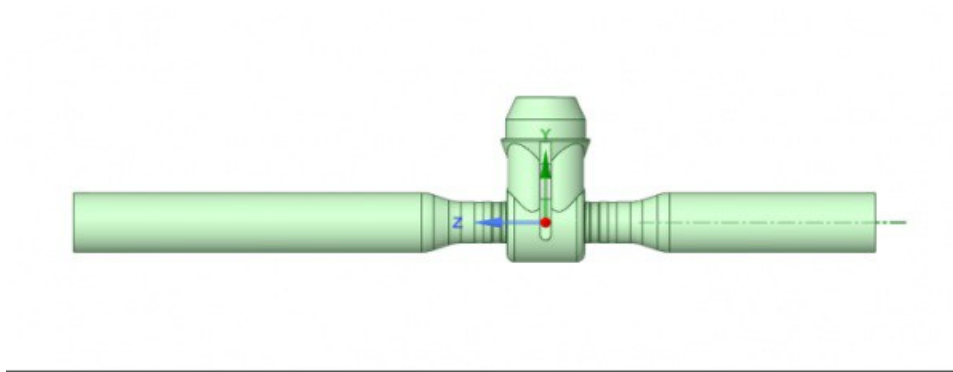


Рис. 2. Расчетная модель проточной части задвижки

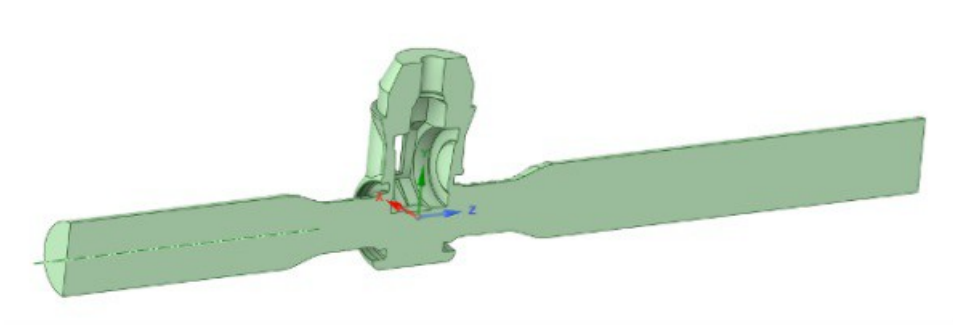


Рис. 3. Расчетная модель проточной части задвижки: вид в сечении плоскостью YZ

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.

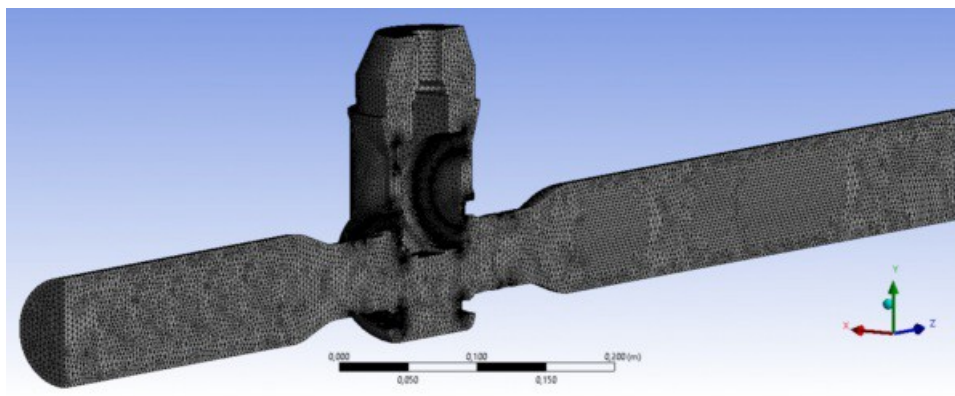


Рис. 4. Расчетная сетка

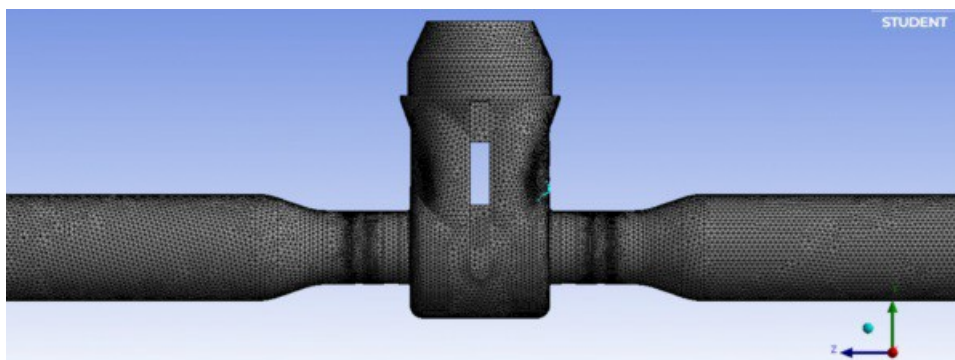


Рис. 5. Расчетная сетка: вид в сечении плоскостью OYZ

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  $k$ - $\omega$  SST модель – модель, обладающая высокой точностью и надежностью, захватывающая более широкий класс различных течений, нежели стандартная  $k$ - $\omega$  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  $\delta P$ , 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/м<sup>3</sup>, протекающей через регулирующую арматуру при перепаде давлений 0,1 Мпа (1 бар или 1 кгс/см<sup>2</sup>) [СТ ЦКБА 123-2019 :37 ].

Таблица 1

Q, м <sup>3</sup> /с	Q, м <sup>3</sup> /ч	Рнп, Бар	Р1, Бар	Р2, Бар	$\delta P$	$\sqrt{\delta P}$	$K_v$ , м <sup>3</sup> /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

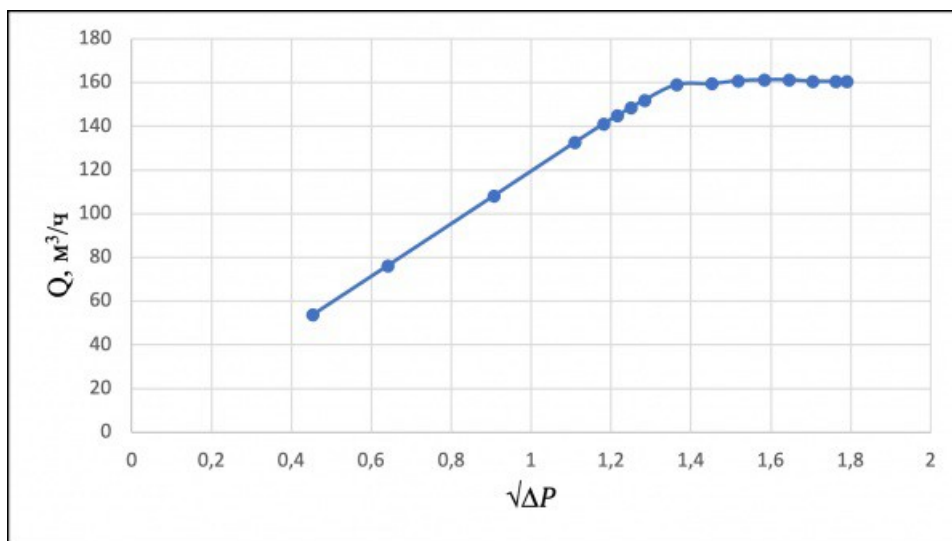


Рис. 6. График расходной характеристики

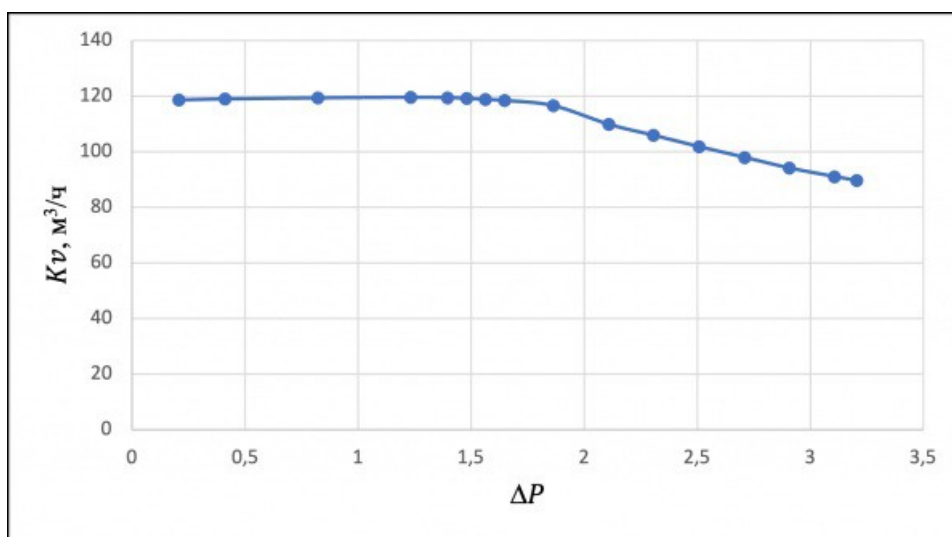


Рис. 7. График зависимости пропускной способности  $K_v$  от перепада давлений на задвижке  $\delta P$

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  $\delta P$ . 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](mailto: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.