

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕДУКЦИОННОГО КЛАПАНА В ANSYS CFX

А. О. Грачев¹, Р. Г. Манукян², Д. А. Томина³, Р. Р. Калимуллин⁴

¹grachevalex2002@mail.ru, ²mavrokia@yandex.ru, ³ditomina@yandex.ru, ⁴kalimullin.rr@ugatu.su

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В данной статье рассматривается процесс численного моделирования редукционного клапана с использованием программного обеспечения ANSYS CFX. Редукционные клапаны необходимы в системах управления давлением, обеспечивая стабильную работу оборудования и предотвращая его повреждение. В исследовании представлены основные принципы работы редукционных клапанов, а также их гидродинамические характеристики.

Ключевые слова: редукционный клапан; численное моделирование; ANSYS CFX; гидродинамика.

ВВЕДЕНИЕ

Редукционные клапаны необходимы в системах управления потоком для обеспечения стабильной работы и защиты оборудования при повышении давления в системе. Они широко применяются в нефтегазовой, химической и энергетической промышленности, где точность регулирования давления критически важна для безопасности и эффективности процессов.

При разработке гидравлического оборудования необходимо проверить работоспособность спроектированного объекта и процессов, протекающих в объекте в процессе эксплуатации. Эта задача решается в программном пакете ANSYS.

В данной статье на примере редукционного клапана показано задание граничных условий и расчет проточной части.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕДУКЦИОННОГО КЛАПАНА В ANSYS CFX

Из исследуемого клапана на рис. 1 для проведения расчета течения жидкости сформирована «обращенная модель» – проточная часть на рис. 2 в четырех положениях 0,5 мм, 1–3 мм с шагом 1 мм.

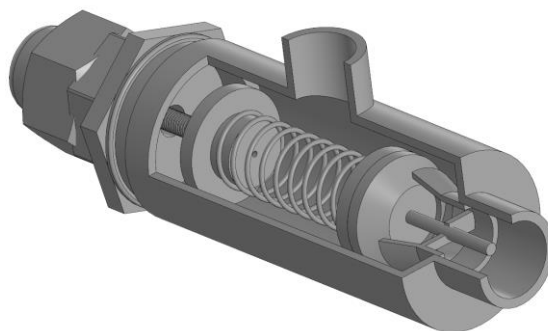


Рис. 1. Твердотельная модель клапана

Для расчета численного газодинамического моделирования из модели удалены пружина и механизм регулирования, незначительно влияющие на результаты расчета, но требующие для своего правильного разрешения больших вычислительных ресурсов [1].

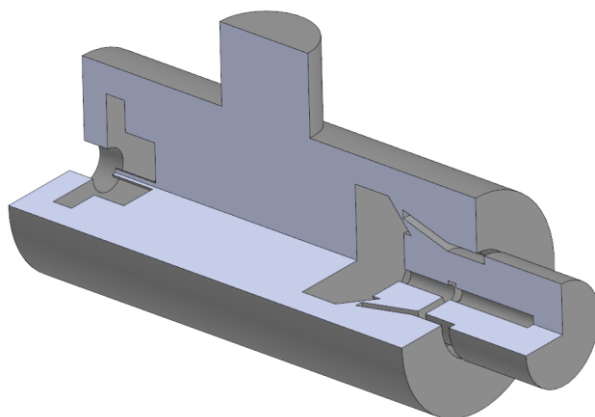


Рис. 2. Упрощенная проточная часть клапана

На геометрической модели (рис. 3) построена неструктурированная конечно-элементная (конечно-объемная) сетка из тетраэдральных элементов со средним значением 1 мм. Для лучшего разрешения пограничного слоя на поверхностях, являющихся твердыми стенками, построены 5 призматических слоев с темпом роста 1,2. Общее количество элементов на расчётной модели на расстояние 0,5 мм составляет 732 230, для расстояния 3 мм составляет 754 834.

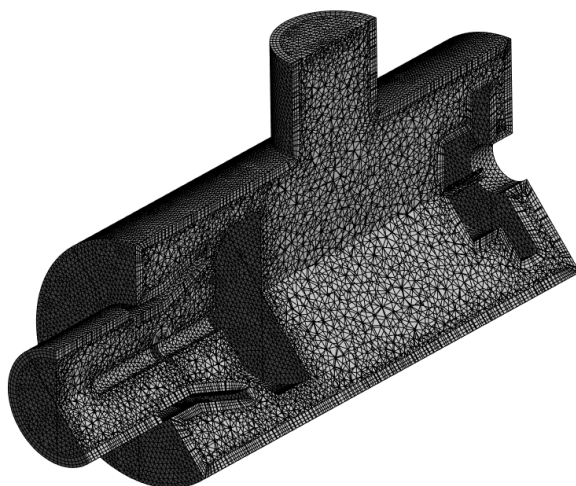


Рис. 3. Сетка конечных элементов на открытии на 0,5 мм

Для дальнейших расчетов конечно-элементной модели проточной части клапана используется CFX-Pre.

Рабочее тело в модели – вода (Water) с температурой 25 °С. Ссылочное давление (reference pressure) 1 атм. Применяемая модель турбулентности – $k - \varepsilon$. Модель переноса тепла не используется (Isothermal), так как рабочее тело несжимаемо, и градиента температур нет.

На входе задано граничное условие входа (Inlet) со статическим давлением 16 МПа (рис. 4). На поверхностях модели, являющихся твёрдыми стенками, установлено граничное условие стенки (Wall) с настройками по умолчанию.

На выходе из модели (рис. 4) установлено граничное условие – выход (Outlet) с осредненным статическим давлением равным 0, клапан соединен с атмосферой.

Для контроля процесса вычисления отслеживалось изменение выходного давления и расхода [2].

$$Pin = areaAve(Total Pressure)@Inlet$$

$$Pout = areaAve(Total Pressure)@Outlet$$

$$Q = 0.65 * S_{np}[m^2] * sqrt((2 * Pin - Pout)/1000[kg * m^{-3}]),$$

где:

Pin – давление на входе в редукционный клапан;

$Pout$ – давление на выходе из редукционного клапана;

Q – расход через редукционный клапан.

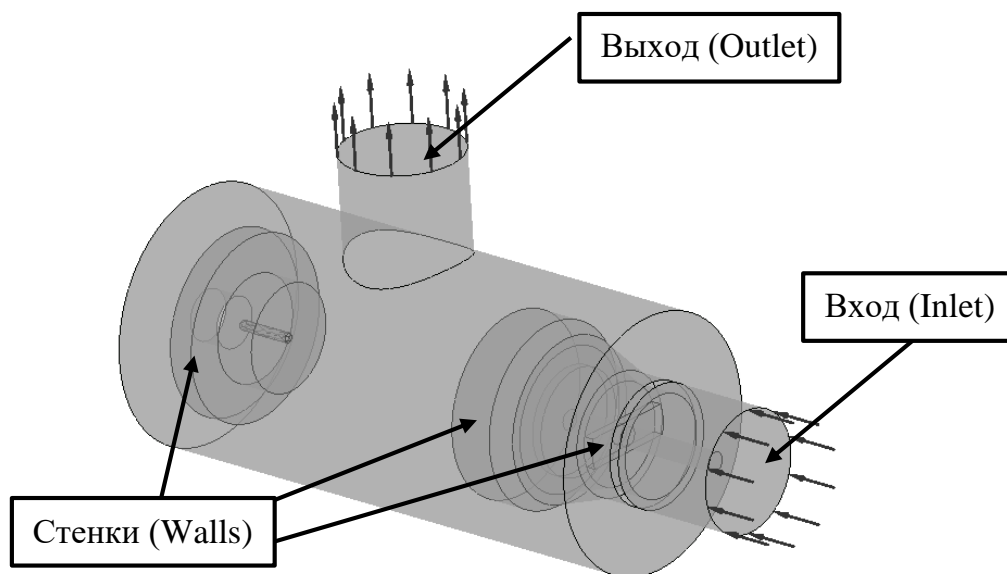


Рис. 4. Общий вид расчетной модели с граничными условиями

Расчеты считались завершенными при достижении сходимости основных уравнений порядка 10^{-4} и дисбаланса 0,1 % (рис. 5). Среднее время одного расчета составило 7 минут. Наличие скачков на графиках сходимости связано с тем, что решение нового расчета заимствуется с предыдущего.

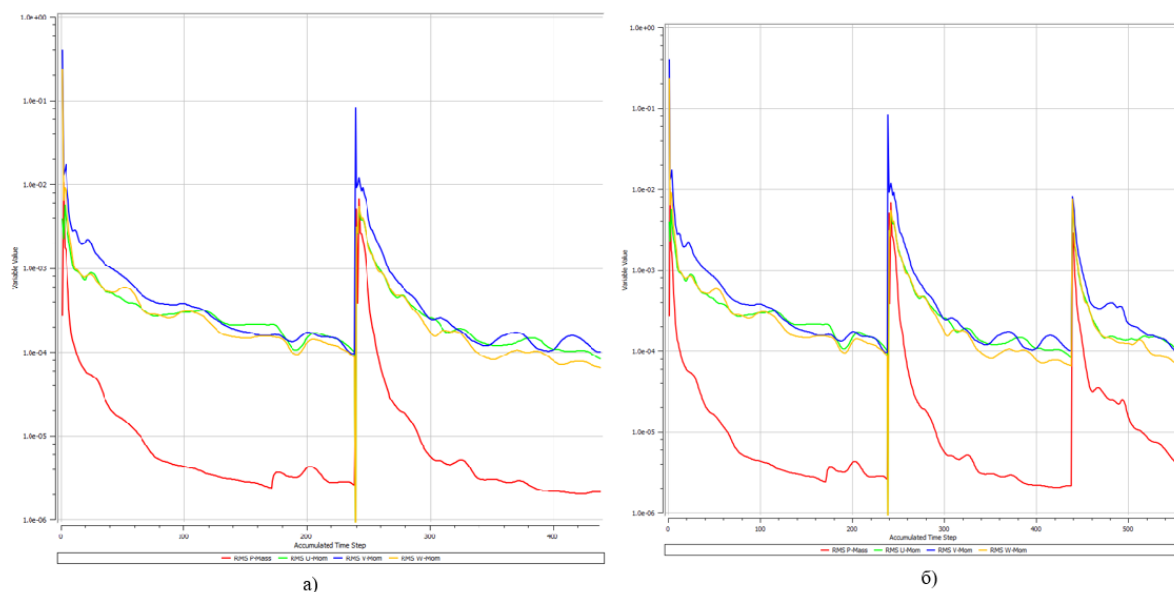


Рис. 5. Графики сходимости в процессе расчета:
 а) расстояние запорного элемента 0,5 мм; б) расстояние запорного элемента 3 мм

На рис. 6–9 приведены линии тока в модели и распределение давления в средней плоскости.

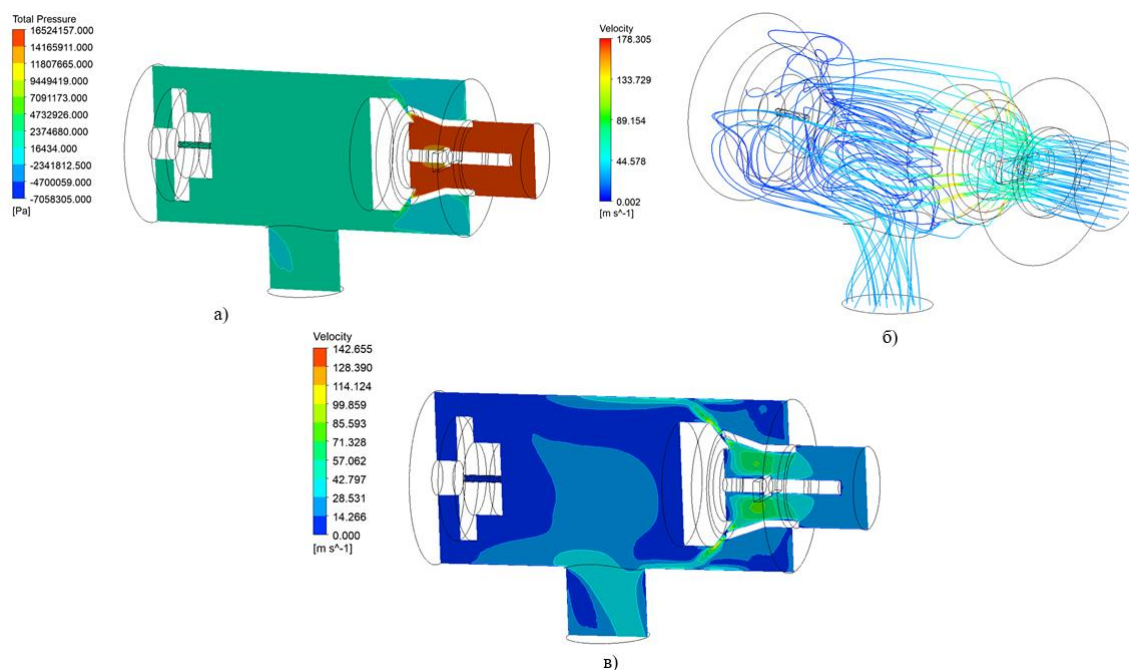


Рис. 6. Результаты решения при открытии клапана на 0,5 мм:
 а) изменение давления; б) линии тока в модели; в) поля скоростей

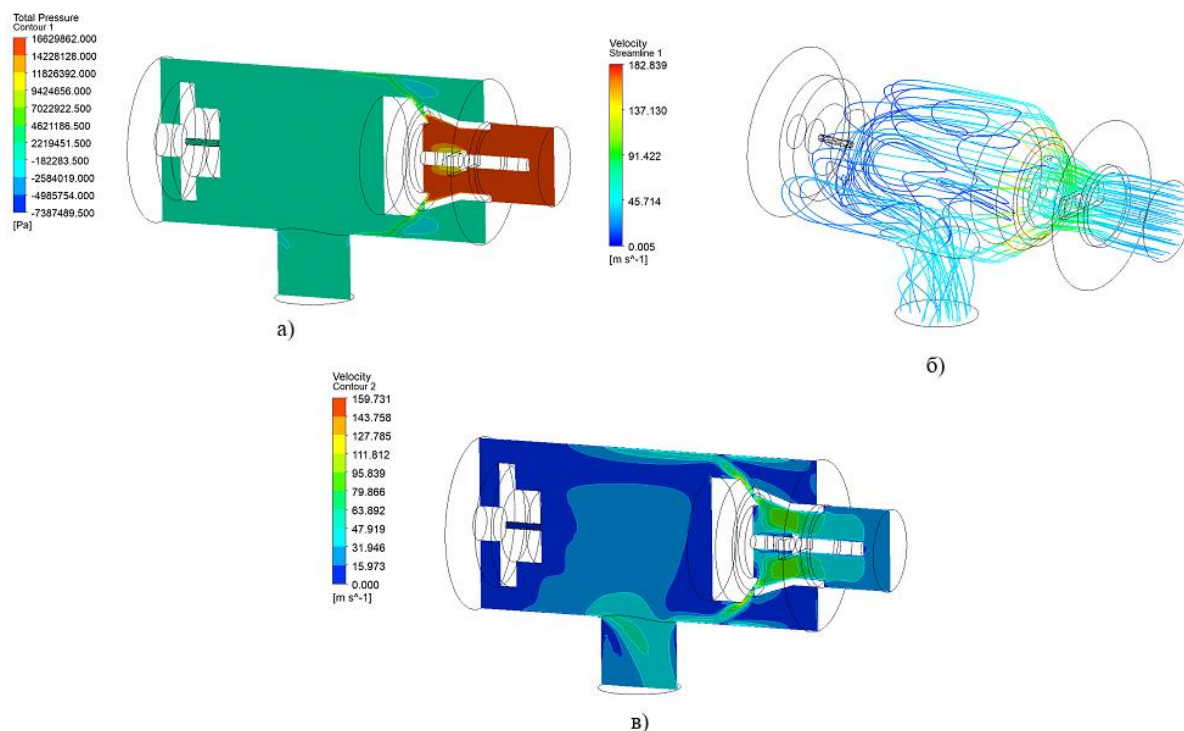


Рис. 7. Результаты решения при открытии клапана на 1 мм:
а) изменение давления; б) линии тока в модели; в) поля скоростей

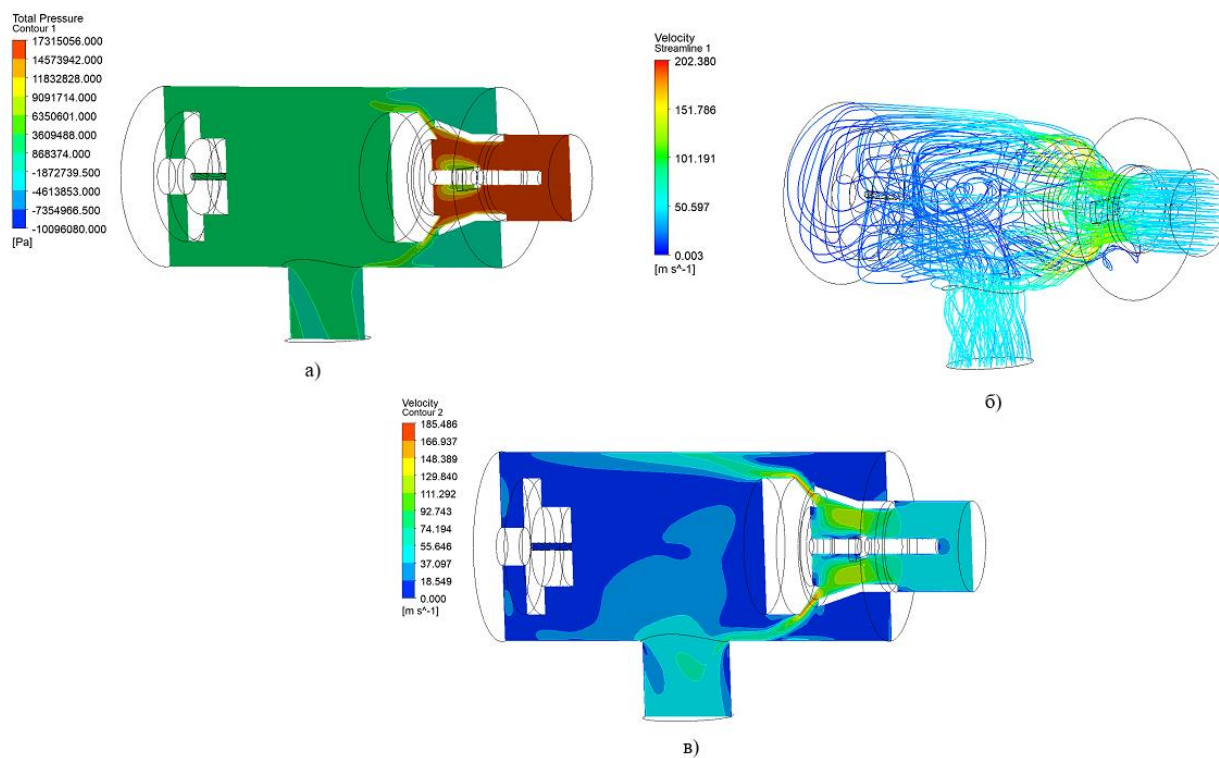


Рис. 8. Результаты решения при открытии клапана на 2 мм:
а) изменение давления; б) линии тока в модели; в) поля скоростей

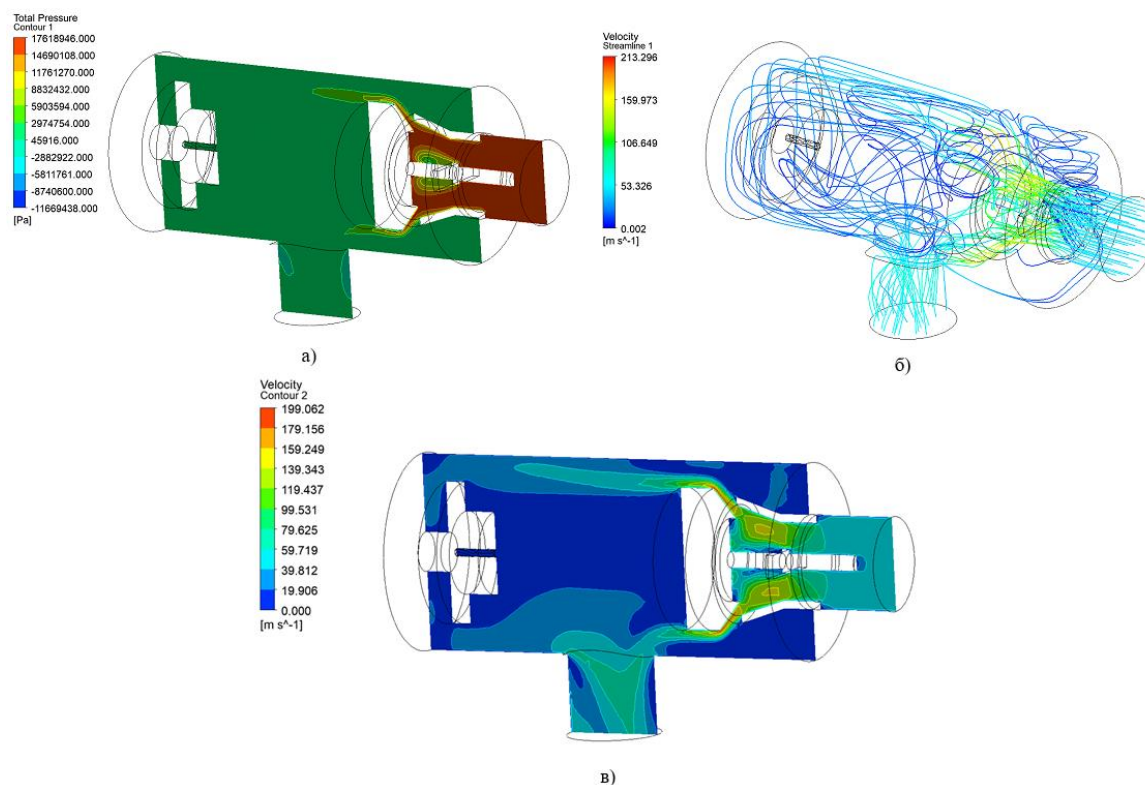


Рис. 9. Результаты решения при открытии клапана на 3 мм:
 а) изменение давления; б) линии тока в модели; в) поля скоростей

Представлено изменение давления в редукционном клапане при разной степени открытия клапана.

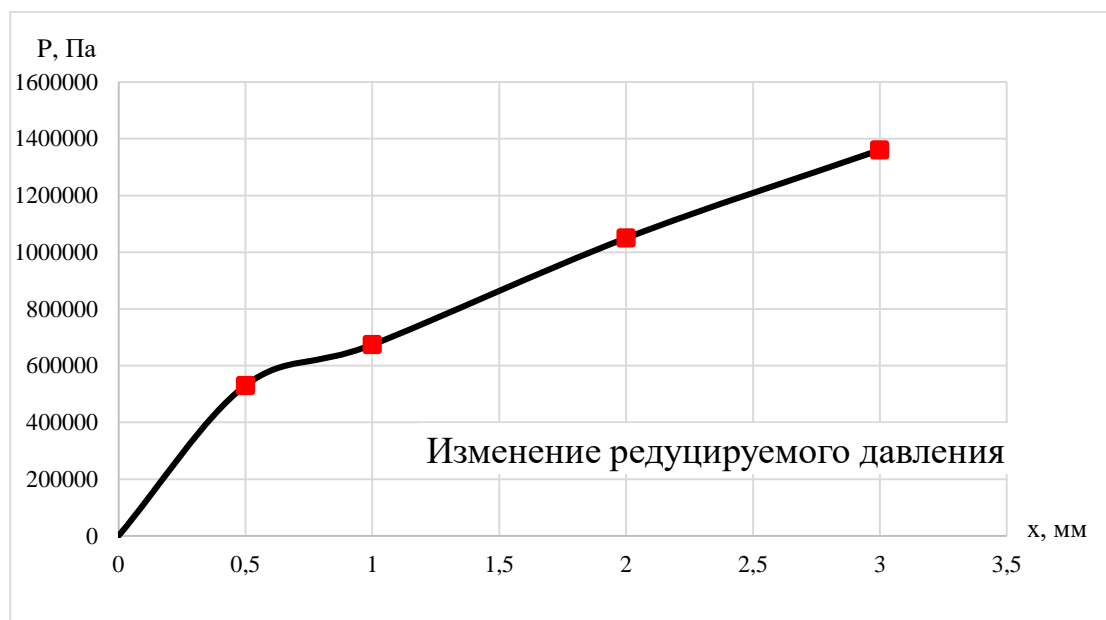


Рис. 10. Изменение давления в редукционном клапане от степени открытия клапана

Характеристика зависимости расхода от давления по результатам исследования представлена на рис. 11.

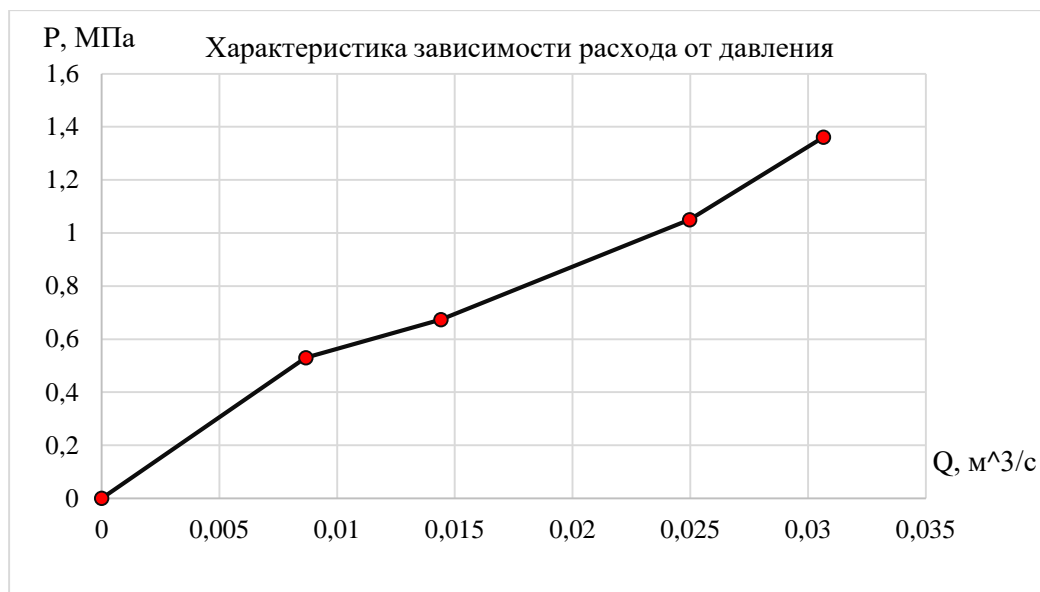


Рис. 11. Характеристика зависимости расхода от давления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показан пример моделирования объекта в программном пакете ANSYS в модуле CFX. CAE-система позволяет проверить работоспособность и характеристики проектируемого объекта. Для получения более точных результатов расчета требуется доработка сетки, а также необходимо улучшение детализации клапана для повышения качества моделирования протекания рабочей жидкости в клапане и точности прогнозирования основных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Численное моделирование дозвукового течения в пневматическом клапане. [Электронный источник]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/chislennoe-modelirovanie-dozvukovogo-techeniya-v-pnevmaticheskom-klapane>. Дата обращения: 26.12.2024.
2. Моделирование обратного клапана. [Электронный источник]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-obratnogo-klapana>. Дата обращения: 26.12.2024.
3. Математическое моделирование динамических характеристик дренажно-предохранительного клапана. [Электронный источник]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-dinamicheskikh-harakteristik-drenazhno-predohranitelnogo-klapana>. Дата обращения: 26.12.2024.
4. Методика определения рациональных параметров клапана высокого давления на основе твердотельного моделирования. [Электронный источник]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-opredeleniya-ratsionalnyh-parametrov-klapana-vysokogo-davleniya-na-osnove-tverdotelnogo-modelirovaniya>. Дата обращения: 27.12.2024.

ОБ АВТОРАХ

ГРАЧЕВ Александр Олегович, студ. каф. ПГМ.

МАНУКЯН Раксана Гагиковна, студ. каф. ПГМ.

ТОМИНА Диана Александровна, студ. каф. ПГМ.

КАЛИМУЛЛИН Радик Рифкатович, канд. техн. наук, доцент каф. ПГМ.

METADATA

Title Computer simulation of a pressure reducing valve in ANSYS CFX

Author: A. O. Grachev¹, R. G. Manukyan², D. A. Tomina³, R.R. Kalimullin⁴

Affiliation:

¹⁻⁴ Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ grachevalex2002@mail.ru, ² mavrokia@yandex.ru, ³ ditomina@yandex.ru, ⁴ kalimullin.rr@ugatu.su

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (33), pp. 32-39, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: This article discusses the process of numerical simulation of a pressure reducing valve using the ANSYS CFX software. Pressure reducing valves are essential in pressure control systems to ensure stable operation of equipment and prevent damage to it. The study presents the basic principles of operation of pressure reducing valves, as well as their hydrodynamic characteristics.

Key words: Pressure reducing valve, numerical simulation, ANSYS CFX, hydrodynamics.

About authors:

GRACHEV Alexander Olegovich, student, Dept. of APPLIED HYDROMECHANICS (UUST).

MANUKYAN Oksana Gagikovna, student, Dept. of APPLIED HYDROMECHANICS (UUST).

TOMINA Diana Alexandrovna, student, Dept. of APPLIED HYDROMECHANICS (UUST).

KALIMULLIN Radik Rifkatovich, Assoc.prof., Dept. of PGM UUST. Cand. Tech.Sci.