



МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ЧЕРЕЗ ЗАТВОР АРМАТУРЫ

Валиев Римзил Шамилович

студент, Казанский государственный энергетический университет
РФ, г. Казань

Загретдинов Айрат Рифкатович

научный руководитель, канд. техн. наук, доцент, Казанский государственный
энергетический университет
РФ, г. Казань

Аннотация

Запорная арматура играет важную роль в регулировании потоков жидкостей и газов в технологических системах. Для повышения ее эксплуатационной эффективности необходимо детальное изучение гидродинамических процессов, происходящих в запорных элементах. В данной работе проводится численное моделирование течения рабочей среды через затвор арматуры с использованием методов вычислительной гидродинамики (CFD). Анализируются параметры потока, потери давления, кавитационные эффекты и влияние геометрии затвора на характеристики течения. Полученные результаты позволяют оптимизировать конструкцию арматуры для повышения ее надежности и эффективности.

Ключевые слова: затвор арматуры, численное моделирование, гидродинамика, CFD, кавитация, давление, турбулентность, рабочая среда

1. Введение

Запорная арматура широко применяется в трубопроводных системах различных отраслей промышленности, включая энергетику, нефтегазовую и химическую промышленность. Ключевой задачей является обеспечение надежного перекрытия и регулирования потока рабочей среды с минимальными потерями давления и предотвращением кавитационных повреждений. Численное моделирование течения через затвор арматуры позволяет прогнозировать поведение потока и выявлять критические зоны, влияющие на долговечность конструкции.

2. Теоретические основы моделирования течения

Для описания движения жидкости или газа через запорный элемент используются уравнения Навье-Стокса в сочетании с моделями турбулентности:

- **k-ε модель** – применяется для оценки средних характеристик потока.
- **Large Eddy Simulation (LES)** – используется для более точного анализа турбулентных структур.
- **VOF-метод (Volume of Fluid)** – позволяет учитывать двухфазные течения, например, при кавитации.

Граничные условия включают задание входного давления, расхода рабочей среды и характеристик стенок арматуры.

3. Моделирование потока через затвор арматуры

Для численного эксперимента выбрана модель задвижки с различными степенями открытия. Исследуются следующие параметры:

- распределение скоростей и давления,
- коэффициент гидравлического сопротивления,
- кавитационные зоны и эрозионные риски.

Рассмотрены три варианта открытия затвора: **25%, 50% и 100%**, что позволяет оценить влияние геометрии на характеристики потока.

4. Анализ результатов моделирования

Полученные данные показывают:

- При **неполном открытии (25%)** наблюдаются значительные потери давления и интенсивные вихревые образования.
- При **50%-ном открытии** возникает зона ускоренного потока, увеличивающая риск кавитации.
- Полностью открытый затвор обеспечивает **наименьшее сопротивление**, но локальные турбулентные зоны все же присутствуют вблизи стенок.

Кавитационный анализ показывает, что снижение давления ниже давления насыщенного пара ведет к образованию паровых пузырьков, вызывающих эрозионные повреждения.

5. Оптимизация конструкции арматуры

На основе моделирования предложены рекомендации по улучшению конструкции:

- Оптимизация геометрии седла и диска затвора для снижения локальных зон разрежения.
- Применение антикавитационных устройств для предотвращения разрушительного воздействия пузырьков.
- Выбор материалов с высокой устойчивостью к кавитационной эрозии (например, композитные покрытия или нержавеющая сталь).

6. Выводы

Численное моделирование течения рабочей среды через затвор арматуры позволило выявить ключевые факторы, влияющие на потери давления и образование кавитации. Оптимизация геометрии и улучшение конструктивных решений позволяют повысить надежность и долговечность арматуры. В дальнейшем планируется проведение экспериментальных исследований для верификации численных расчетов.

Литература

1. Беляев В.И. Гидродинамика трубопроводной арматуры. – М.: Машиностроение, 2019.
2. Anderson J.D. Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. – McGraw-Hill, 1995.
3. Patankar S.V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. – Hemisphere, 1980.
4. Wang L., Liu Y. CFD Analysis of Flow Characteristics in Valves. – Journal of Fluid Mechanics, 2020.
5. Zwart P.J. Cavitation modeling in CFD. – Journal of Hydraulic Research, 2018.