

Моделирование течения в клапане обратном подъемном DN 50 PN 16 и определение его гидродинамических характеристик при различных положениях захлопки

Е.Г. Кузнецов, технический директор, ООО «НТКЦА», г. Уфа

В.В. Шмелев, руководитель центра технической поддержки, ООО «ТЕСИС», г. Нижний Новгород

◆ Введение

Традиционно определение гидродинамических характеристик элементов трубопроводной арматуры достигается, как правило, либо с помощью применения различных расчетных методик и справочников, либо в результате экспериментальных исследований натурных моделей на специальных стендах. Однако, расчетный способ ограничен применимостью к определенным классам течений и «традиционным» геометрическим параметрам конструкции, а исследования на натурных физических моделях — достаточно длительный по времени и дорогостоящий по материальным затратам процесс.

Бурный прогресс вычислительной техники и численных методов расчета сделал доступным для использования в проектировании программ численного моделирования, среди которых достойное место занимает российский программный комплекс — FlowVision.

Фундаментом для представления в конечно-разностном виде и построения алгоритмов решения уравнений Навье-Стокса являются работы академика О.М. Белоцерковского и учеников его школы.

Программный комплекс предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в областях сложной формы, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики. Моделируемые течения включают в себя стационарные и нестационарные, сжимаемые и несжимаемые потоки жидкости и газа. А также как многофазные течения, так и течения с примесями, которые имеют отличное от несущей фазы агрегатное состояние.

Программный комплекс FlowVision имеет развитые механизмы перестроения расчетной сетки, связанные с ее адаптацией, которые можно применять прямо в процессе расчета, в отличие от обычной практики, когда после перестроения расчетной сетки требуется проведение расчета заново. Использование различных физических моделей в сочетании с адаптивной расчетной сеткой позволяет моделировать сложные потоки жидкости и газа, включая течения с сильной закруткой и с горением.

Программный комплекс FlowVision создан с использованием новых технологий объектно-ориентированного программирования и современного графического пользовательского интерфейса. Такой подход к созданию FlowVision позволил реализовать в нем новейшие методы вычислительной гидродинамики и автоматической генерации расчетной сетки.

Перечисленные выше функциональные возможности FlowVision позволяют успешно решать широкий круг задач арматуростроения. В настоящей работе, выполненной с целью демонстрации возможностей программного комплекса FlowVision, приведены результаты моделирования течения в проточной части и расчета гидродинамических характеристик трубопроводной арматуры — клапана обратного подъемного DN 50 PN 16 и определения его гидродинамических характеристик для различных положений захлопки.

Работа выполнена центром технической поддержки программных продуктов ООО «ТЕСИС» в рамках научно-технического сотрудничества с ООО «НТКЦА».

◆ Расчетная модель

Моделирование течения в клапане обратном подъемном DN 50 PN 16 и определение его гидродинамических характеристик для различных положений захлопки выполнены в рамках модели турбулентного течения несжимаемой жидкости с использованием стандартной **k-ε** модели турбулентности, которые описываются следующей системой уравнений в частных производных.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V} \otimes \mathbf{V}) &= -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t)(\nabla \mathbf{V} + (\nabla \mathbf{V})^T)) + \mathbf{g}, \\ \nabla \mathbf{V} &= 0 \\ \frac{\partial k}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V}k) &= \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k})\nabla k) + \frac{G}{\rho} - \varepsilon, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V}\varepsilon) &= \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\nabla \varepsilon) + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 \frac{G}{\rho} - C_2 \varepsilon), \end{aligned}$$

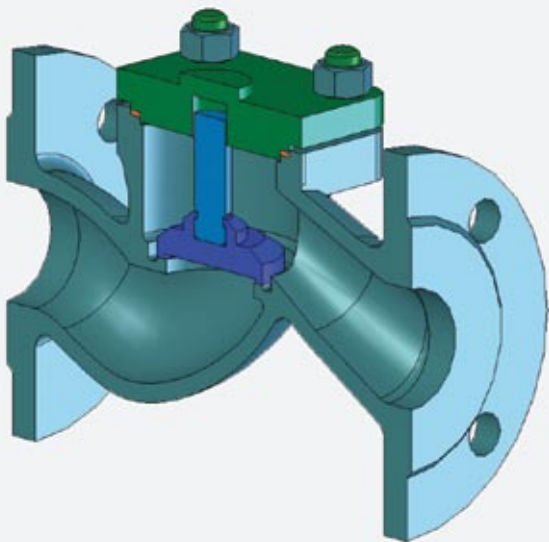
где:

$$\mu_i = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad G = \mu_i \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right),$$

$$\sigma_k = 1; \quad \sigma_\varepsilon = 1.3; \quad C_\mu = 0.09; \quad C_1 = 1.44; \quad C_2 = 1.92$$

Исходная геометрия клапана (см. рис. 1) в виде 3-х мерной твердотельной модели, созданной в САД-системе КОМПАС, предоставлена ООО «НТКЦА».

Рис. 1. 3-х мерная твердотельная модель клапана обратного подъемного DN 50 PN 16



Моделирование течения жидкости выполнено при следующих параметрах:

- давление на выходе 1 600 000 Па (1,6 МПа);
- перепад давления между входным и выходным сечениями 200 000 Па (0,2 МПа);
- температура воды +15 С°.

Рис. 2. Общий вид проточной части клапана с полностью открытой захлопкой

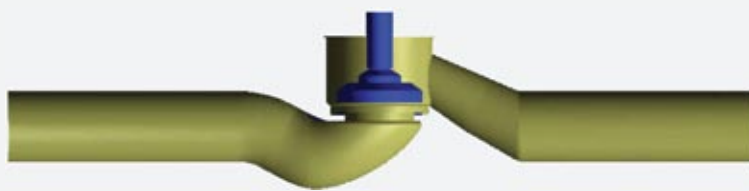
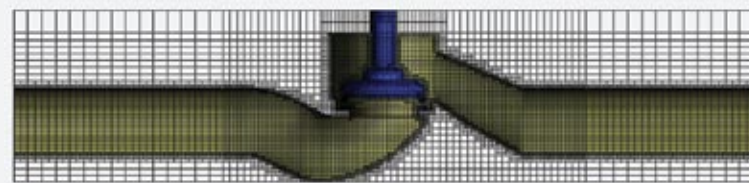


Рис. 3. Общий вид конечно-объемной локально адаптированной расчетной сетки



Положения захлопки:

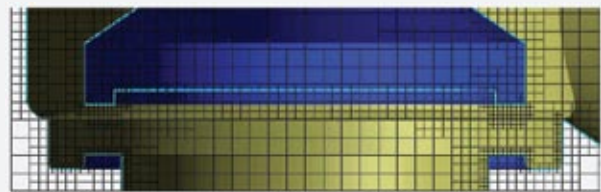
- полностью поднята на 7 мм,
- частично поднята на 4 мм.

Для моделирования течения в FlowVision импортируется проточная часть клапана (см. рис. 2). По сравнению с исходной геометрией были увеличены на 150 мм входной и выходной участки. Это, как будет показано ниже, было обусловлено необходимостью корректного моделирования течения на входе и на выходе клапана.

На рис. 3 приведен вид конечно-объемной локально адаптированной расчетной сетки. Адаптация (измельчение) начальной сетки выполнена как по всему объему проточной части (1-й уровень адаптации), так и по стенкам клапана и поверхности захлопки (2-й уровень адаптации).

Дополнительно, в узкой зоне течения жидкости между стенками клапана и торцом захлопки была применена адаптация 3-го уровня по поверхности элементов конструкции (см. рис. 4).

Рис. 4. Фрагмент расчетной сетки в узкой зоне течения жидкости между стенками клапана и торцом захлопки



◆ Результаты расчета

На рис. 5 приведено графическое представление векторного поля скоростей жидкости в плоскости симметрии клапана. Поле скоростей наглядно показывает характер течения, наличие зон обратного тока во входном поворотном канале и, особенно, в выходном, образование стационарных вихрей за захлопкой. Следует отметить, что зона обратного течения в выходном канале имеет значительные размеры. В частности, она значительно уменьшает проходное сечение канала и по протяженности выходит за габариты изделия (для получения корректного решения в выходном канале и была увеличена проточная часть клапана).

Ниже, на рис. 6, 7 и 8 приведено поле скоростей для отдельных областей. На рис. 6 приведено течение за захлопкой в плоскости симметрии клапана и в вертикальной плоскости, перпендикулярной первой, где отчетливо виден стационарный вихрь, образующийся при обтекании захлопки.

Рис. 5. Поле скоростей

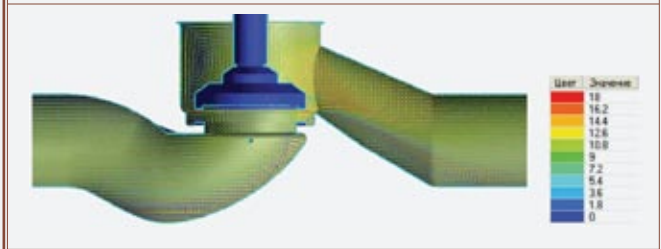


Рис. 6. Поле скоростей около захлопки

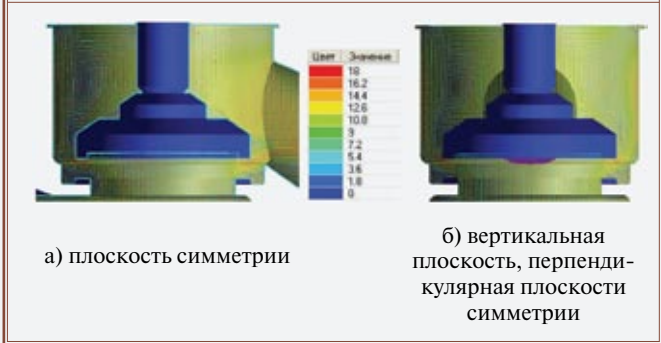
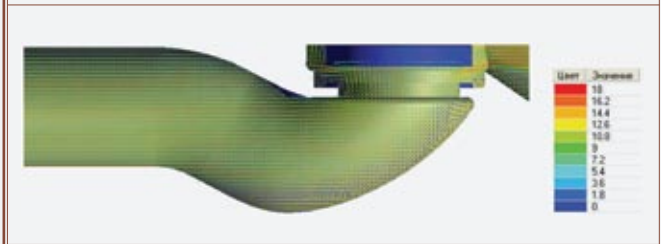


Рис. 7. Поле скоростей в выходном канале



Рис. 8. Поле скоростей в поворотном участке входного канала



На рис. 7 приведено течение в плоскости симметрии выходного канала, где отчетливо видна зона обратного

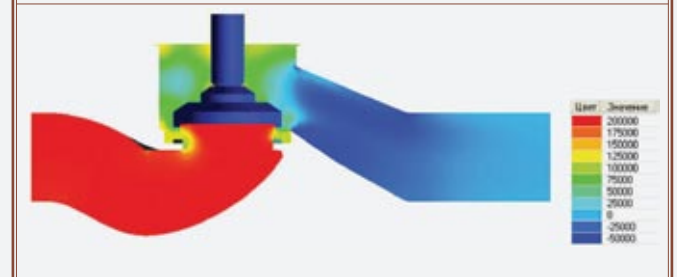
течения и торможения потока, выходящая за габариты изделия.

На рис. 8 приведено течение в плоскости симметрии поворотного участка входного канала, где также отчетливо видны две зоны обратного течения и торможения потока.

На рис. 9 приведено распределение давления в плоскости симметрии проточной части клапана. Картина распределения давления дополняет возможности анализа течения и, в частности, показывает участки (элементы конструкции), которые являются наиболее нагруженными.

По результатам моделирования определены интегральные характеристики течения в виде соотношения между перепадом давления, массовым расходом, средней скоростью течения и силой, действующей на захлопку, для различных положений захлопки, приведенные в табл. 1.

Рис. 9. Распределение давления



◆ **Заключение**

В результате проделанной работы:

- в программном комплексе FlowVision построена расчетная модель и проведено моделирование течения в проточной части клапана обратного подъемного DN 50 PN 16,
- построена картина течения в виде поля скоростей и распределения давления в проточной части клапана,
- проведен анализ течения. Выявлены зоны обратного течения и вихреобразования,
- получены интегральные гидродинамические характеристики течения при различных положениях захлопки.

Таблица 1.

Перепад давления, Па	Поднятие захлопки, мм	Массовый расход воды, кг/с	Средняя скорость течения, м/с	Вертикальная сила, действующая на захлопку, Н
200000	7.0	10.44	5.35	318.8
	4.0	7.60	3.88	344.2