

Расчет трубопроводной арматуры

Часть II. Создание расчетной модели

Андрей Кавардак, Михаил Черных, Алексей Чурилов, Алексей Журавлев

Введение

В данной статье приведена последовательность создания расчетной модели для расчета современными методами, преимуществами которых представлены в [1], на примере антипомпажного клапана (далее — арматура). Арматура предназначена для обеспечения нормальной работы компрессора и устранения

Основные характеристики арматуры

Параметр		Значение
Материальное исполнение	Корпус	ASTM A352 Gr.LCC
	Крышка	ASTM A350 Gr. LF2 Cl.1
	Стакан, шток, затвор	17-4 PH
	Шпильки	ASTM A320 Gr.L7
Рабочая среда	Аммиак (98,48+99,79%)	
Номинальный диаметр DN	300 мм	
Номинальное давление PN	4 МПа	
Температура рабочей среды	+156 °С	
Температура окружающей среды	-43+39 °С	
Масса	935 кг	

явления помпажа. Ее основные характеристики отражены в таблице.

Построение геометрии

Создание расчетной модели арматуры начинается с постро-

ения геометрической модели (рис. 1а). В рассматриваемом примере в качестве программы для моделирования была использована система твердотельного и поверхностного моделирования Autodesk Inventor. Размеры были приняты в соответствии с проектной документацией, причем толщину необходимо задавать с уче-

том расчетного срока службы и скорости коррозии. Затем геометрическая модель была импортирована в универсальную программную систему конечно-элементного анализа ANSYS (рис. 1б). После задания свойств материалов получен-

ная континуальная модель была разбита на конечные элементы (рис. 1в).

Определение свойств материала

В зависимости от проверяемого предельного состояния используются различные диаграммы материала: упруго-пластическая, упруго-идеальнопластическая или циклическая.

Все диаграммы материала демонстрируют зависимость напряжения не только от деформации, но и от температуры.

Упруго-пластическая диаграмма строится на основании модели материала Multilinear Isotropic Hardening в ANSYS (рис. 2а).

Диаграмма ограничивается значением истинного напряжения при истинной деформации, после которого начинается идеально-пластический участок. Расчетные значения напряженно-деформационных характеристик принимаются в соответствии с [2], прил. 3-D, п. 3-D.3 (рис. 2б).

Упруго-идеальнопластическая диаграмма строится на основании модели материала Bilinear Kinematic Hardening в ANSYS (рис. 3а).

Линейные участки моделируют зону упругой работы и площадку текучести материала. Участок пластической работы материала рекомендуется задавать с незначительным упрочнением для обеспечения лучшей сходимости. Расчетные значения напряженно-деформационных характеристик принимаются в соответствии с [3] — рис. 3б.

Данная диаграмма позволяет учитывать кинематическое упрочнение при переменном нагружении (эффект Баушингера).

Циклическая диаграмма строится на основании модели материала Multilinear Isotropic Hardening в ANSYS (рис. 4а).

Расчетные значения напряженно-деформационных характеристик принимаются в соответствии с [2], прил. 3-D, п. 3-D.4 (рис. 4б).

Данная диаграмма представляет собой кривую усталости,

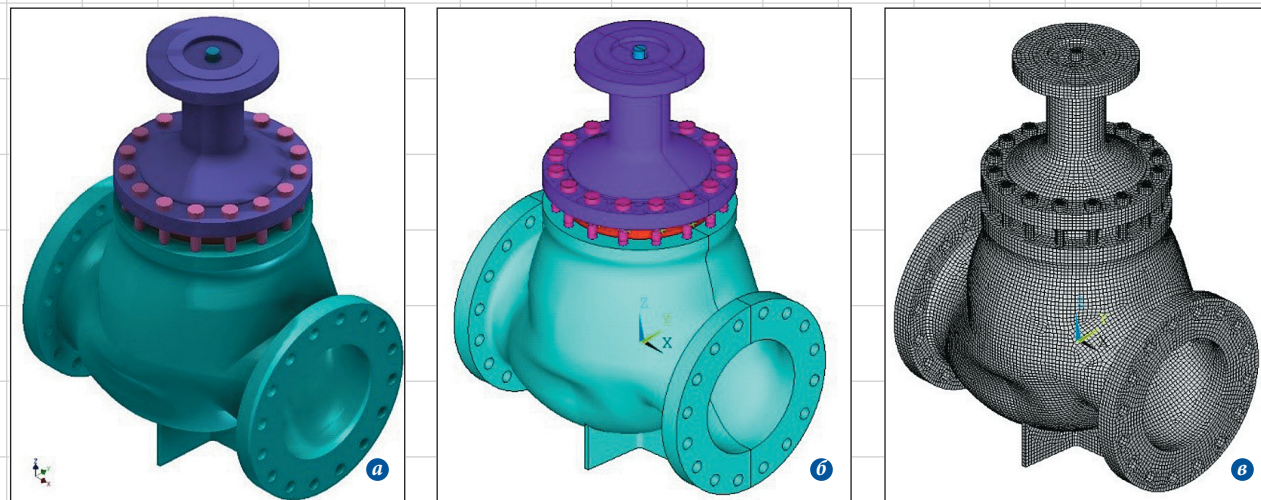


Рис. 1. Модели арматуры: а — геометрическая; б — континуальная; в — конечно-элементная

основанную на испытательных образцах в виде гладкого бруска.

Для автоматического учета влияния температуры на физико-механические свойства материала их рекомендуется задавать зависящими от температуры (рис. 5).

Моделирование нагрузок и воздействий

Полученной конечно-элементной модели задаются расчетные нагрузки и воздействия. На арматуру действуют собственный вес и вес

электропривода, внутреннее давление, температура внутренней и окружающей среды, усилия затяжки шпилек, а также различные ограничения степеней свободы.

Нагрузки от собственного веса учитываются автоматичес-

ки заданием плотности материалов и ускорения свободного падения. Вес электропривода рекомендуется моделировать распределенной нагрузкой для уменьшения общей вычислительной размерности (рис. 6а).

При моделировании нагрузок от внутреннего давления необходимо обратить внимание на некоторые особенности. Во-первых, в зависимости от положения затвора давление может воздействовать как на всю внутреннюю поверхность, так и только на ее часть, что может быть гораздо опаснее (рис. 6б). Во-вторых, в случае если привод арматуры не имеет независимой опоры, необходимо учитывать передачу давления с затвора на другие элементы арматуры (например, крышку или шпильки).

Нагрузки от температурного воздействия моделируются приложением расчетной температуры на соответствующие конечные элементы арматуры и заданием начальной температуры материалов арматуры. В качестве расчетной температуры рекомендуется принимать фактическое конечное распределение температур в материале, для чего требуется провести термодинамические расчеты (рис. 7). За исходную температуру для термодинамического расчета принимается температура внутренней среды при рассматриваемом расчетном режиме и соответствующая температура окружающей среды.

В случае если необходимо учесть температурное воздействие с коэффициентом перегрузки, то рекомендуется вводить данный коэффициент к коэффициенту линейного расширения, что позволит оставить свойства материала неизменными.

Для моделирования предварительного натяжения шпилек от силы затяжки были использованы элементы PRETS179.

Ограничения степеней свободы в данном случае выражаются в виде закреплений (задания условия симметрии, закрепления

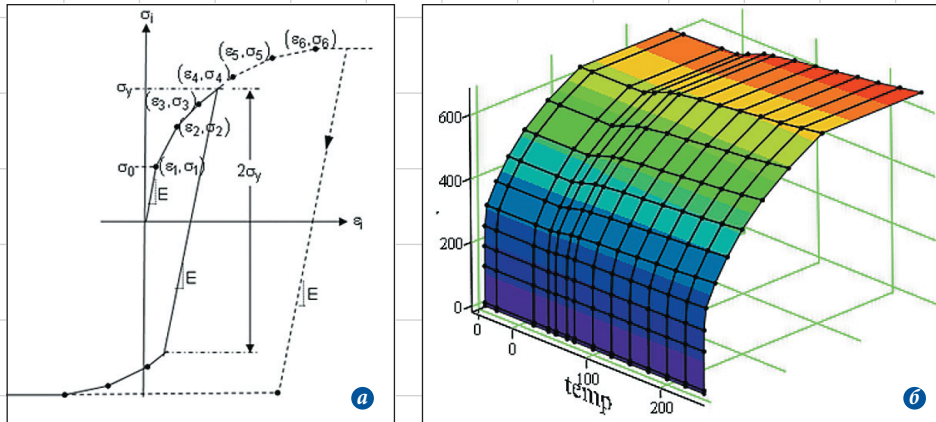


Рис. 2. Упруго-пластическая диаграмма материала корпуса арматуры: а — общий вид; б — определенная в Mathcad

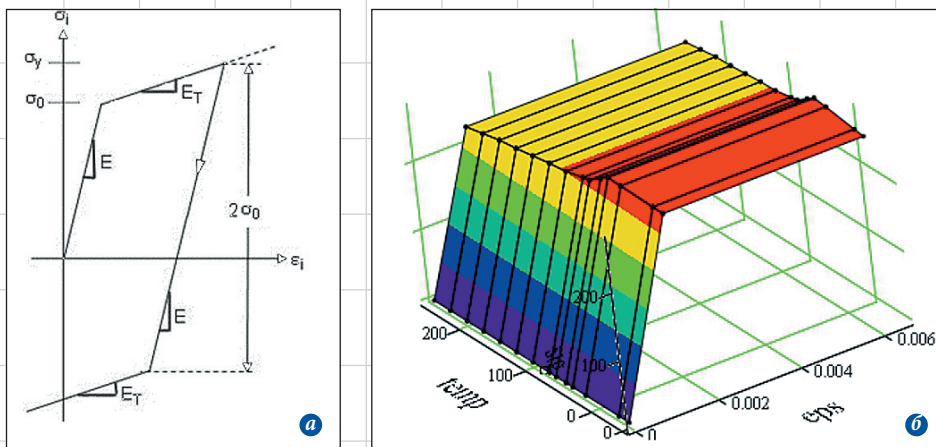


Рис. 3. Упруго-идеальнопластическая диаграмма материала корпуса арматуры: а — общий вид; б — определенная в Mathcad

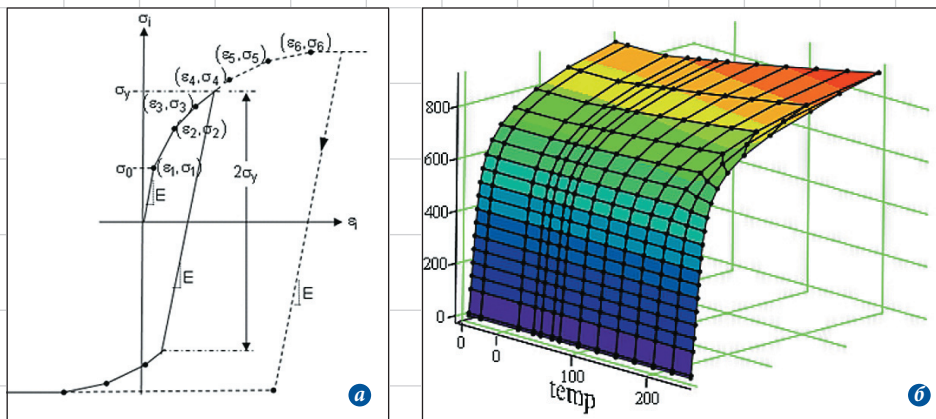


Рис. 4. Циклическая диаграмма материала корпуса арматуры: а — общий вид; б — определенная в Mathcad

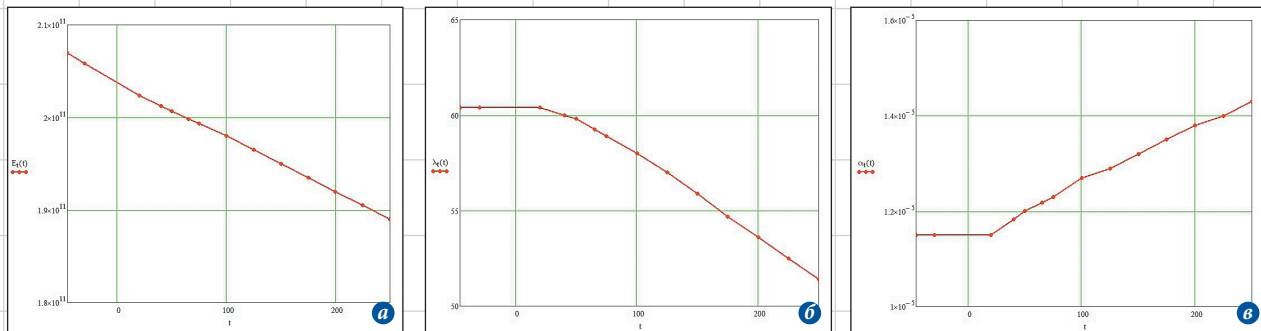


Рис. 5. Графики зависимостей основных физико-механических свойств материала корпуса арматуры от температуры: а — модуль упругости I рода, Па/°C; б — коэффициент теплопроводности, (Вт/м·°C)/°C; в — коэффициент линейного температурного расширения, (1/°C)/°C

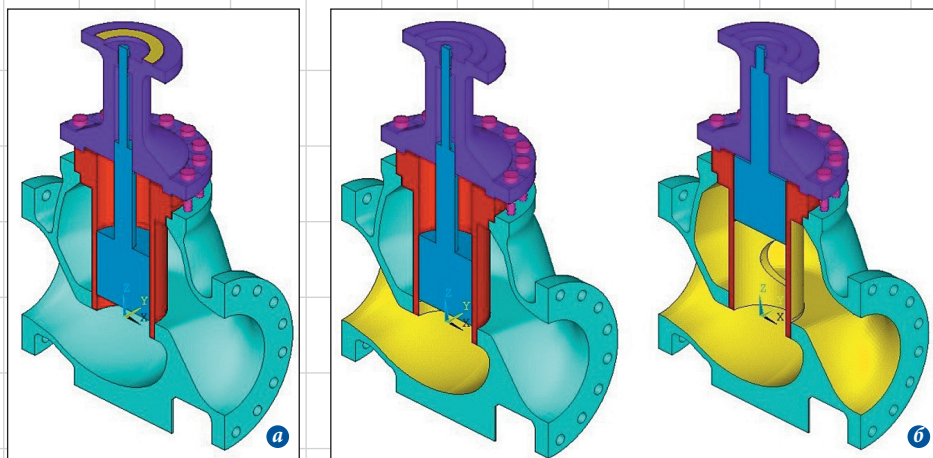


Рис. 6. Моделирование нагрузок и воздействий: а — распределенная нагрузка от электропривода; б — область приложения давления при различном положении затвора

основания и др.) и контактных взаимодействий элементов. Для моделирования контактных взаимодействий элементов были ис-

пользованы элементы TARGE170 и CONTA174, причем элементы TARGE рекомендуется делать больше элементов CONTA.

В результате общая вычислительная размерность каждой расчетной модели составила 380 323 узлов и 108 666 элементов.

Заключение

Создание модели для применения современных методов расчета требует определенных навыков и опыта владения различными программными комплексами. Однако в результате становятся возможными следующие действия: моделирование реальной геометрии арматуры; определение фактического распределения температуры по всему объекту, а на основании этого — учет изменения свойств материала; установление взаимного влияния элементов конструкции и пр. Возможность учета разнообразных факторов, влияющих на работу арматуры, позволяет заранее прогнозировать ее работу в различных ситуациях [4].

Список использованной литературы

1. Кавардак А., Черных М., Чурилов А., Журавлев А. Расчет трубопроводной арматуры. Часть I. Преимущества расчета современными методами // САПР и графика. 2016. № 3. С. 78-80.
2. ASME BPVC. Section VIII. Division 2. 2015. ASME Boiler and Pressure Vessel Code AN INTERNATIONAL CODE. VIII Rules for Construction of Pressure Vessels. Division 2 Alternative Rules.
3. ASME BPVC. Section II. Part D. 2015. ASME Boiler and Pressure Vessel Code AN INTERNATIONAL CODE. Section II Materials. Part D Properties (Metric).
4. CAE-CUBE: [Электронный ресурс]. URL: <http://cae-cube.ru/> (дата обращения — 12.02.2016).

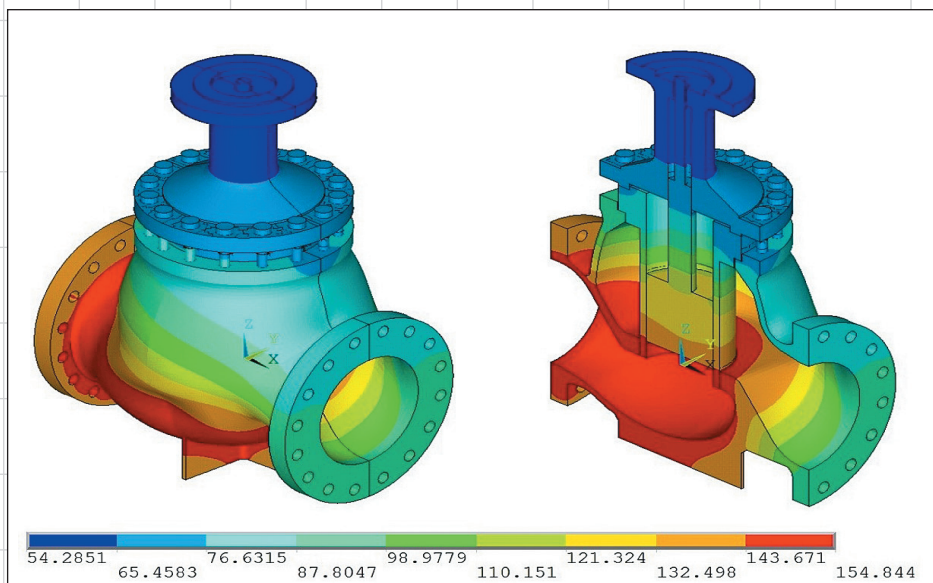


Рис. 7. Карты распределения температуры по результатам термодинамического расчета для летнего сезона при закрытом затворе, °C