

УДК 622.2 : 519.6

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

Сызранцева К.В., Ибрагимов А.А.

ФГБОУ ВПО «Тюменский Индустриальный Университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38)

Неотъемлемой частью любых трубопроводов предприятий топливно-энергетического комплекса является арматура. В процессе эксплуатации конструктивные элементы трубопроводных систем различного назначения находятся под действием широкого спектра нагрузок и воздействий, обуславливающих сложные процессы трения, износа, усталости и старения. Существует большое количество видов трубопроводной арматуры, наиболее распространенным из которых по количеству применяемых единиц является запорная арматура. В сравнении с другими видами запорной арматуры ряд преимуществ имеют клиновые задвижки (незначительное гидравлическое сопротивление при полностью открытом проходе, простота обслуживания, возможность подачи сырья в любом направлении и др.). Так как корпус задвижки имеет сложную геометрическую форму, то для его расчета применяют численные методы теории упругости. В данной работе анализ выполнялся в программном комплексе ANSYS. Выполняя моделирование разных вариантов нагружения при вариации внутреннего давления, была установлена функциональная зависимость эквивалентных напряжений от приложенного давления в виде полинома. В данной работе произведен конечно-элементный прочностной анализ методом конечных элементов (МКЭ) задвижки ЗКЛ2 100-16 в программном комплексе ANSYS, а также восстановлена функция напряжений от приложенного давления.

Ключевые слова: запорная арматура, клиновые задвижки, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

THE APPLICATION OF SOFTWARE ANSYS FOR THE STUDY OF LOAD CARRYING CAPACITY OF VALVES

Syzrantseva K.V., Ibragimov A.A.

Tyumen industrial University, Tyumen, Russia (625000, Tyumen, st. Volodarskogo, 38)

Valves are an integral part of any pipelines of the fuel and energy complex enterprises. During operation, the structural elements of pipeline systems for various purposes are under the influence of a wide range of loads and impacts, causing complex processes of friction, wear, fatigue and aging. There are a large number of types of pipeline valves, the most common of which by the number of units used is the shut-off valve. In comparison with other types of valves, a number of advantages are wedge gate valves (slight hydraulic resistance with a fully open passage, ease of maintenance, the ability to supply raw materials in any direction, etc.). Since the valve body has a complex geometric shape, numerical methods of elasticity theory are used for its calculation. In this paper, the analysis was performed in the ANSYS software package. Performing modeling of different variants of loading at variation of internal pressure, the functional dependence of equivalent stresses on the applied pressure in the form of a polynomial was established. In this paper, the finite element strength analysis by finite element method (FEM) gate valve ZKL2 100-16 in the software package ANSYS, and restored the function of stresses from the applied pressure.

Key words: valves, wedge gate valves, stress-strain condition, finite element method.

В системах добычи, транспорта и хранения газа и нефти запорная арматура играет исключительно важную роль в обеспечении надежности систем на всех режимах функционирования. В процессе эксплуатации конструктивные элементы трубопроводных систем различного назначения находятся под действием широкого спектра нагрузок и воздействий, обуславливающих сложные процессы трения, износа, усталости и старения.

Несмотря на систематические совершенствования конструкций запорной арматуры решение проблемы обеспечения их работоспособности все еще не отвечает современным требованиям надежности и безопасности трубопроводных систем.

Одним из наиболее распространенных типов запорной трубопроводной арматуры, устанавливаемой на магистральных и технологических трубопроводах для полного перекрытия потока рабочей среды, являются задвижки. Запирающий элемент перемещается в задвижках возвратно-поступательно, перпендикулярно направлению потока рабочей среды и имеет два крайних рабочих положения - "открыто" и "закрыто".

Большой ущерб народному хозяйству и окружающей среде могут нанести потери нефти и нефтепродуктов вследствие аварий. Аварийные потери вызываются несоблюдением строительных норм и правил при проектировании и сооружении средств транспорта и хранения, нарушением правил технической эксплуатации и несвоевременным ремонтом оборудования. Транспортировка нефти и полученных продуктов к потребителю связана со значительными их потерями. Потери от утечек при трубопроводном транспорте приводят к затратам общественного труда и снижению эффективности производства. Кроме того, потери нефти и нефтепродуктов при авариях, разливах и утечках загрязняют почву, грунтовые воды и водоемы. Помимо потерь ценных нефтепродуктов и загрязнения окружающей среды, утечки представляют опасность крупных аварий; взрывов и пожаров.

В настоящее время производится огромное количество конструктивных разновидностей задвижек, отличающихся конструкцией запирающего элемента (затвора), способом подсоединения к трубопроводу, расположением ходового узла, типом привода.

Правильный выбор конструкции задвижек в значительной степени предопределяет безаварийную и безотказную работу как отдельных технологических блоков в целом, так и трубопроводов в частности.

При установке запорной арматуры на трубопроводе предпочтение следует отдавать конструкциям с малым гидравлическим сопротивлением. Малое гидравлическое сопротивление задвижек делает их особо ценными при применении на трубопроводах, через которые постоянно движется среда с большой скоростью [4].

Из многообразия видов высокой герметичностью, невысоким гидравлическим сопротивлением и простотой конструкции можно выделить класс клиновых задвижек. Из недостатков клиновых задвижек следует отметить невысокую ремонтпригодность при износе уплотнительных материалов.

Отличными эксплуатационными свойствами зарекомендовала себя задвижка стальная ЗКЛ2 100-16. Это обусловлено в первую очередь её конструктивными особенностями и

использованием современных высококачественных материалов. Особенность данной модели - равноценная возможность установки в вертикальном и наклонном положении.

Для оценки работоспособности необходимо определить критерии герметичности и прочности.

Поскольку корпус задвижки имеет сложную геометрическую форму, то он не может быть рассчитан методами сопротивления материалов. В тех случаях, когда аналитическое решение получить не удается, в первую очередь это касается деталей со сложной геометрической конфигурацией, используют приближенные численные методы теории упругости. Среди таких методов к настоящему времени наиболее разработаны и применяются в расчетной практике следующие: метод конечных разностей (МКР), метод конечных элементов (МКЭ) и метод граничных элементов (МГЭ). МКР основан на замене дифференциальных уравнений соответствующими уравнениями в конечных разностях, записанных на регулярной сетке [5]. Данный метод не получил широкого распространения из-за трудности описания сложных криволинейных контуров деталей. МКЭ – наиболее общий метод численного решения физических задач, описываемых при помощи дифференциальных уравнений в частных производных. С помощью МКЭ также решаются задачи смазки и теплопроводности, анализируются колебания систем, решаются задачи электростатики, движения жидкости по трубам. Он применяется для анализа напряжений и деформаций несущих конструкций и деталей практически любой техники.

Основное уравнение метода конечных элементов является системой линейных уравнений, неизвестными которой являются узловые перемещения [2]:

$$[K]\{U\} = [F]. \quad (1)$$

Корпуса запорной арматуры проходят в обязательном порядке гидравлическое испытание при приложении двойного рабочего давления. Для данной задвижки оно равно 3,2 МПа [3].

Согласно анализу, проведенному в работе [1], был сделан вывод, что из всех существующих на данный момент промышленных пакетов наиболее точным и универсальным является ANSYS.

Конечно-элементный анализ состоит из 5 этапов:

- 1) Построение геометрии в SolidWorks.
Импорт модели через формат ACIS.
- 2) Построение конечно-элементной сетки.

Для разбивки был выбран конечный квадратичный элемент SOLID186, так как он хорошо описывает криволинейные поверхности. Параметры материала были заданы следующими. Чтобы обеспечить удовлетворительное качество сетки размер элемента был выбран 10мм [7].

3) Задание граничных условий.

Поскольку модель является симметричной относительно 2-х плоскостей, то анализу подверглась только 1/4 модели. На плоскостях разреза были указаны условия симметрии. Опора задвижки жестко заделана. По всей внутренней поверхности корпуса задвижки указано внутреннее давление 1,6 МПа.

4) Для решения задачи использовался прямой решатель SPARSE SOLVER, именно он используется в ANSYS по умолчанию.

5) Анализ результатов.

Оценка качества конечно-элементной сетки осуществлялась по формуле:

$$\Delta = \frac{ESOL - NSOL}{ESOL} \times 100\% = \frac{73.58 - 67.08}{73.58} \times 100\% = 8,3\% < 10\% \quad (2)$$

Поскольку значение Δ меньше 10%, то качество сетки можно считать удовлетворительной [6].

На рисунке 1 представлены картины распределения суммарных перемещений ЗКЛ2 100-16. Для наглядности деформация преувеличена в 300 раз.

На рисунке 2 показаны распределения эквивалентных напряжений по Мизесу. Максимальное значение составляет 67,083 МПа, что не превышает предел текучести материала 275 МПа, чем обеспечивается прочность детали.

Выполняя моделирование разных вариантов нагружения, установим зависимость эквивалентных напряжений от приложенного давления.

Для решения задачи полиномиальной регрессии был выбран универсальный математический пакет, предназначенный для выполнения инженерных и научных расчетов MathCAD. Это программное средство объединяет в себе простой текстовый редактор, математический интерпретатор и графический процессор.

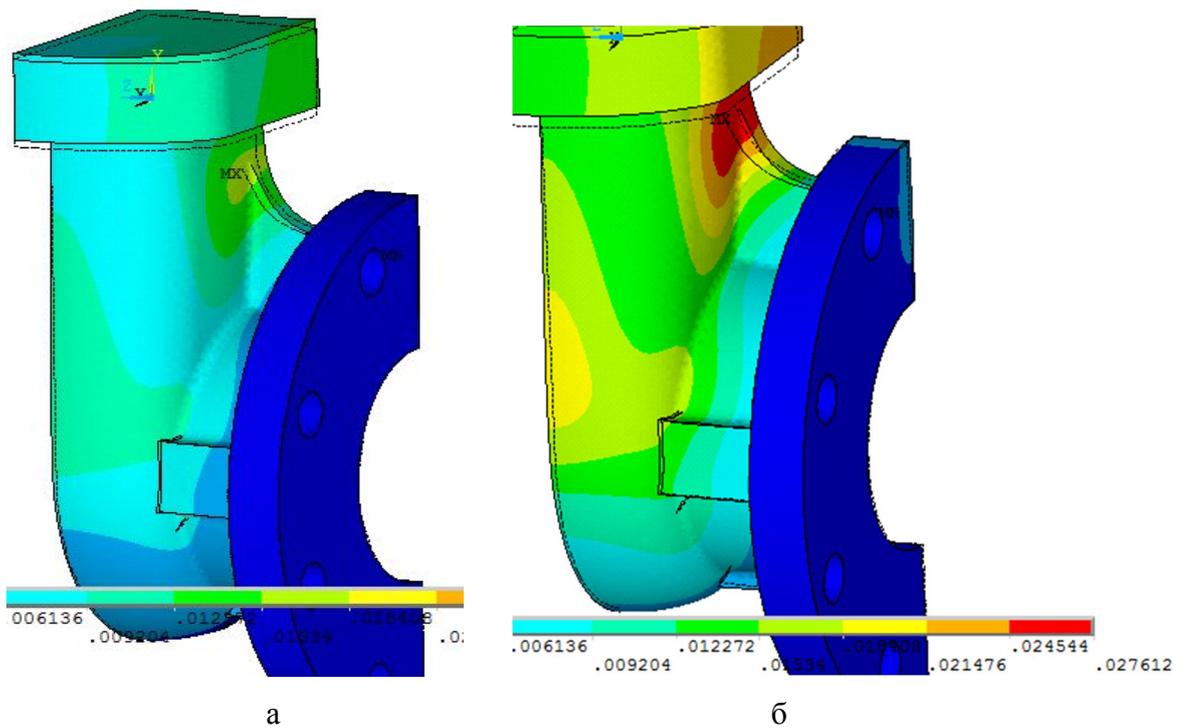


Рисунок 1. Распределение суммарных перемещений.
 а) перемещения в случае приложения давления в 3,2 МПа,
 б) - критического давления в 5 МПа.

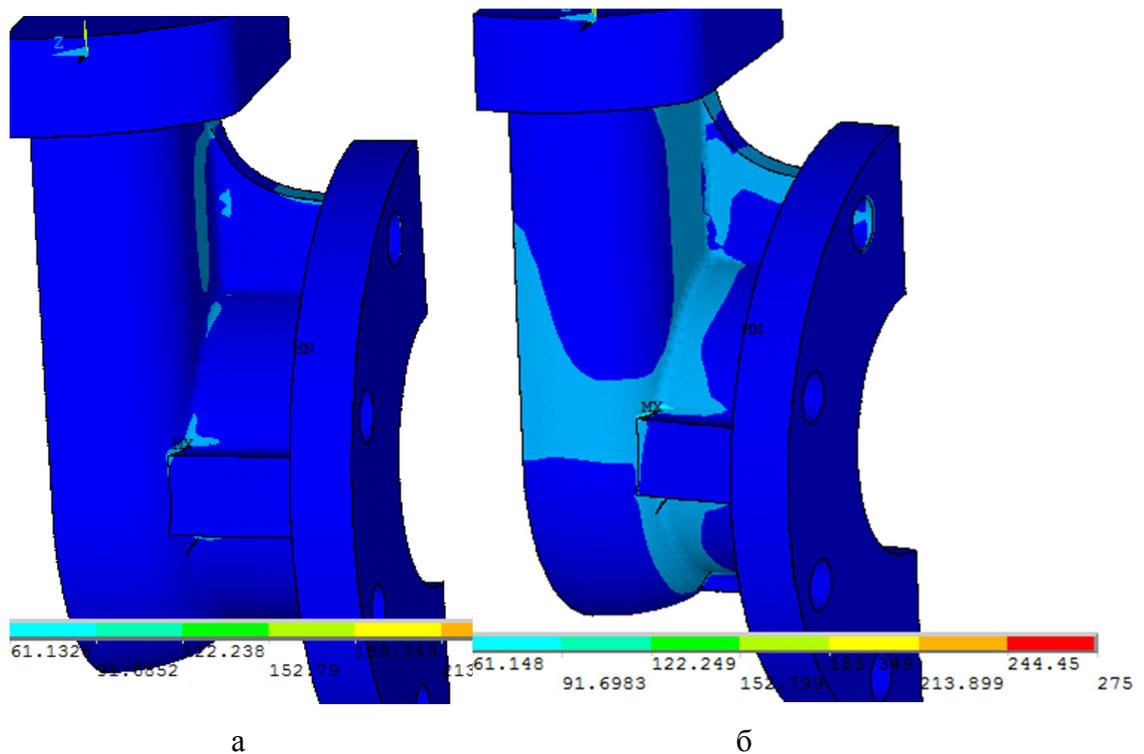


Рисунок 2. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу.
 а) напряжения в случае приложения давления в 3,2 МПа,
 б) - критического давления в 5 МПа.

В математическом процессоре MathCad аппроксимируем полученные результаты полиномиальной регрессии.

Установленная зависимость выглядит следующим образом:

$$\text{Stress}(x) = -0.0001311 \cdot x^2 + 50.487692 \cdot x - 0.002385 \quad (3)$$

Она изображена на рисунке 3.

Приравняв функцию (3) к величине предела текучести, мы получаем квадратное уравнение, решая которое, определяем предельное давление, которое может выдержать данный корпус $P=5,447\text{МПа}$.

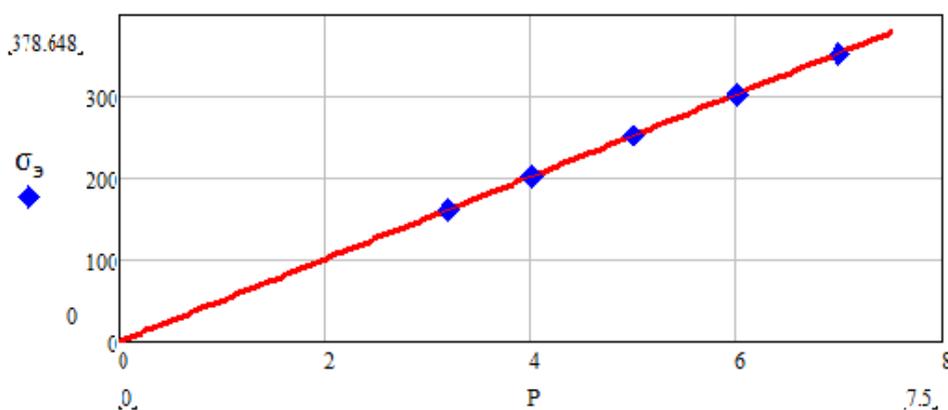


Рисунок 3. Восстановленная функция напряжений от приложенного давления

Список используемой литературы

1. Бадертдинова А.Ф., Ибрагимов А.А. «Сравнительный анализ конечно-элементных пакетов для оценки прочностной надежности нефтегазового оборудования» // Науч. конф., «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – НЕФТЕГАЗОВОМУ РЕГИОНУ» – Тюмень, 2018. – С. 167-170.
2. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Сегерлинд Л. ; под ред. Б. Е. Победри. – М.: Мир, 1979. – С. 392.
3. Сызранцев, В.Н. Использование метода конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния корпусных деталей клиновых задвижек / В.Н. Сызранцев, А.В. Белобородов, К.В. Сызранцева // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2007. – №4. – С. 38-43.

4. Сызранцева, К.В. Компьютерный анализ нагруженности и деформативности элементов нефтегазового оборудования / К.В. Сызранцева. - Монография – Тюмень : ТюмГНГУ, 2009 – С. 124.
5. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров: справ. пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение-1, 2004 – С. 512.
6. Syzrantsev, V.N. Using Finite Element Analyzing for calculation of stress-strain conditions of wedge gate valves bodies / V.N. Syzrantsev, K.V. Syzrantseva, A.V. Beloborodov // Engineering Mechanics 2003: book of extended abstracts of National conference with international participation. – Prague, Czech Republic, 2003. – Pp. 324-325.
7. Syzrantseva, K. Reliability estimation of machine parts with complicated geometry on a base of methods of nonparametric statistics /K. Syzrantseva, V. Syzrantsev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol.11. – Iss.2. – Pp. 204-209. DOI: 0.3923/jeasci.2016.204.209.