

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ОТСЕЧНЫХ УСТРОЙСТВ**

Н.Новгород  
2006 г.

## РЕФЕРАТ

В отчете 16 листов, 8 рисунков, 4 использованных источника.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стационарное отсечное устройство (СОУ), метод конечных элементов (МКЭ), напряженно-деформированное состояние (НДС), внутреннее давление, эквивалентные напряжения, критерий прочности.

В настоящем отчете изложены результаты численного (конечно-элементного) исследования напряженно-деформированного состояния стационарных отсечных устройств диаметром 700 и 1000 мм. с прилегающими участками трубопроводов при рабочем давлении 6,3 МПа. Расчеты проведены для двух случаев – открытого и закрытого состояния СОУ.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ _____	Стр. 4
1. Постановка задачи и методика расчета _____	5
2. Расчет напряженно-деформированного состояния СОУ - 700_	7
3. Расчет напряженно-деформированного состояния СОУ-1000_	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ _____	15
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ _____	16

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ риска эксплуатации элементов трубопроводных конструкций и оценка влияния последствий от возможных аварий последних в заметной мере затруднены из-за несовершенства методологической базы и отсутствия специальных программных средств и математического обеспечения для выявления наиболее нагруженных зон элементов трубопроводных конструкций. Последнее в определенной мере препятствует широкому использованию инженерных методов для однозначного определения допустимого уровня нагрузки и допустимого периода эксплуатации конкретных элементов трубопроводных конструкций или для установления оптимальных сроков проведения диагностических обследований, инспекционных испытаний и профилактических ремонтов.

В связи с этим, наряду с использованием методов инструментального контроля для обоснования прочности и ресурса работы трубопроводных конструкций, необходимо применение методов математического моделирования для расчета напряженно-деформированного состояния этих элементов. Эта задача усложняется тем, что исследуемые элементы могут иметь достаточно сложную трехмерную геометрию и работать в условиях сложного комбинированного нагружения.

В настоящем отчете изложены результаты исследования напряженно-деформированного состояния стационарных отсечных устройств двух типоразмеров в закрытом и открытом состоянии с прилегающими участками трубопроводов, подверженных действию внутреннего рабочего давления.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Стационарное отсечное устройство представляет собой достаточно сложную пространственную конструкцию. Расчет напряженно-деформированного состояния такого устройства с требуемой точностью возможен только с применением численных методов. Наиболее приемлемым в данной ситуации является метод конечных элементов [1-3], позволяющий учесть практически любые конструктивные особенности рассчитываемого элемента конструкции.

Расчет НДС стационарных отсечных устройств с прилегающими участками трубопроводов выполнен при следующих исходных данных.

Конструкция изготовлена из стали с характеристиками: модуль Юнга –  $E=2 \cdot 10^5$  МПа; коэффициент Пуассона -  $\nu = 0,3$ . Нагружение моделировалось давлением  $P=6,3$  МПа, приложенным по внутренним поверхностям СОУ, включая заслонку в закрытом состоянии.

В соответствии со СНиП 2.05.06-85\* [4] максимально допустимые напряжения по условиям прочности и деформативности составных частей СОУ в зависимости от марки стали определяются по формулам:

$$R_1 = \frac{R_1'' m}{k_1 k_n} \quad R_2 = \frac{R_2'' m}{0,9 k_n} \quad , \quad (1)$$

где  $R_1''$ ,  $R_2''$  - нормативные пределы прочности и пластичности,  $m$  - коэффициент условий работы,  $k_1$  - коэффициент надежности по материалу,  $k_n$  - коэффициент надежности по назначению трубопровода.

Для оценки работоспособности СОУ расчетные напряжения сравниваются с максимально допустимыми.

Из изложенного следует, что разрабатываемая методика как составная часть прочностной поддержки эксплуатации элементов конструкций трубопроводов опирается на современную методологическую базу и вряд ли может быть получена путем доработки и уточнения существующих методических положений и рекомендаций.

## 2. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОУ – 700х63

Внешний вид конструкции и используемая в расчетах конечно-элементная модель СОУ-700х63 с прилегающими участками трубопровода представлены на рис. 1. Длина прилегающих участков трубопровода бралась вдвое больше длины СОУ-700х63, что обеспечивало отсутствие влияния граничных условий на напряженно-деформированное состояние СОУ-700х63. Для наглядности на рис. 2 внешний вид конструкции СОУ-700х63 и его конечно-элементная модель представлены отдельно. Рассматриваемая конструкция рассчитывалась на действие внутреннего давления 6,3 МПа, как в открытом (рис. 3), так и закрытом состоянии (рис. 4). На рис.3 и рис.4 представлено распределение эквивалентных по Мизесу напряжений по объему конструкции.

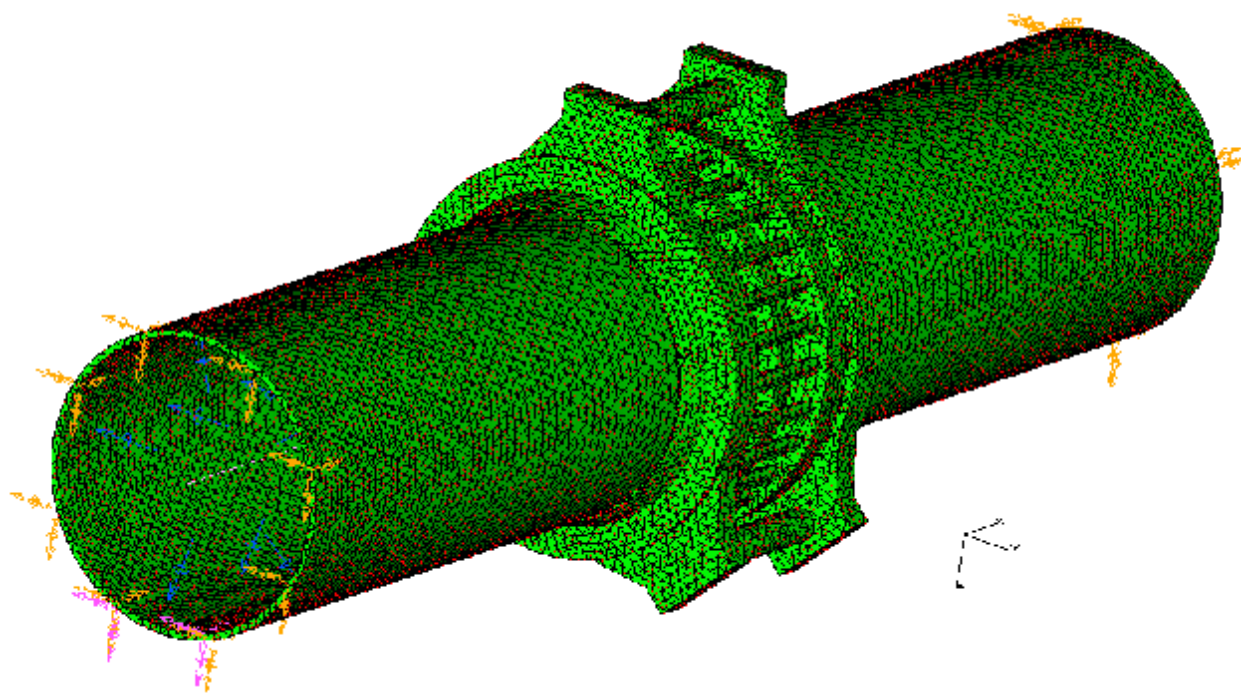


Рис. 1

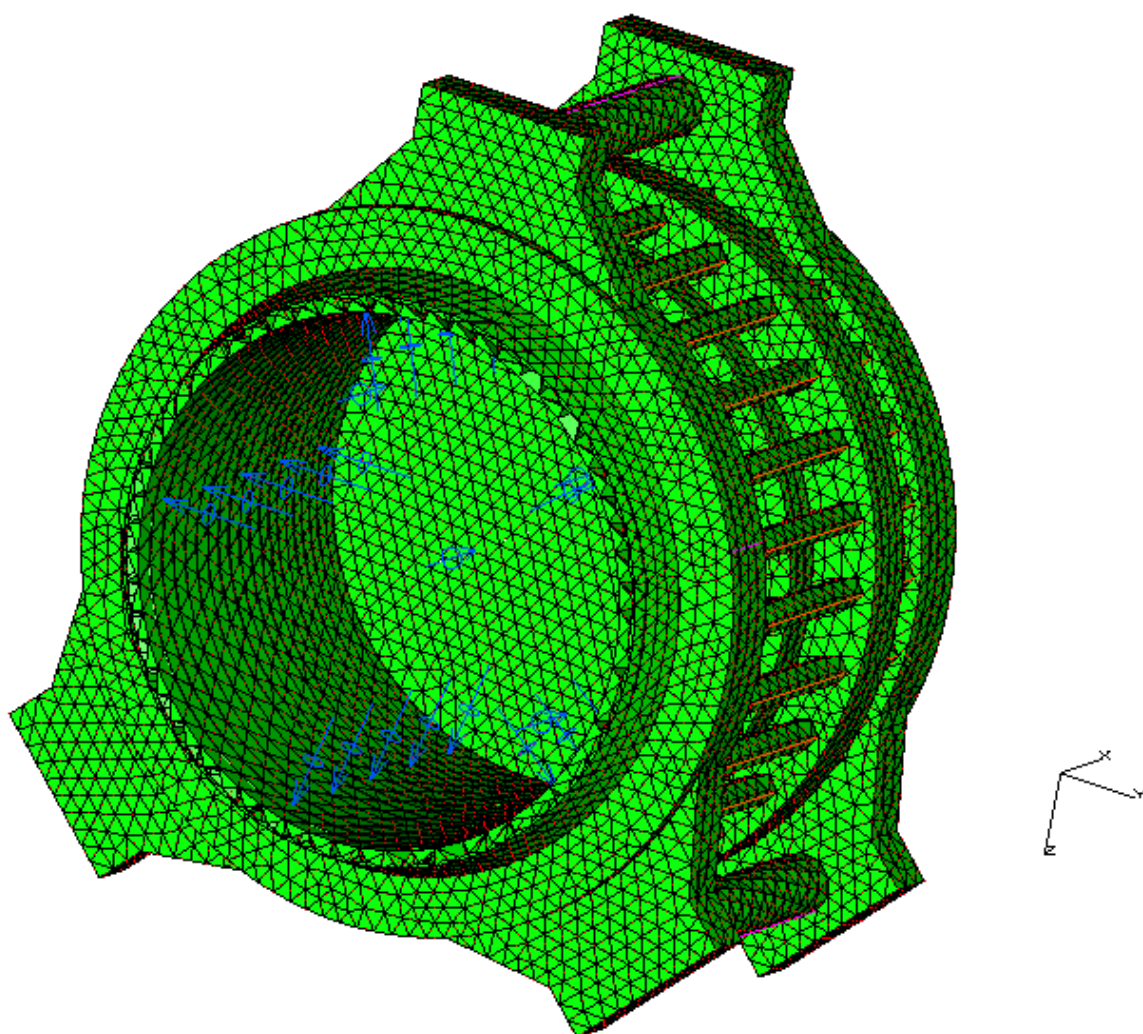


Рис. 2



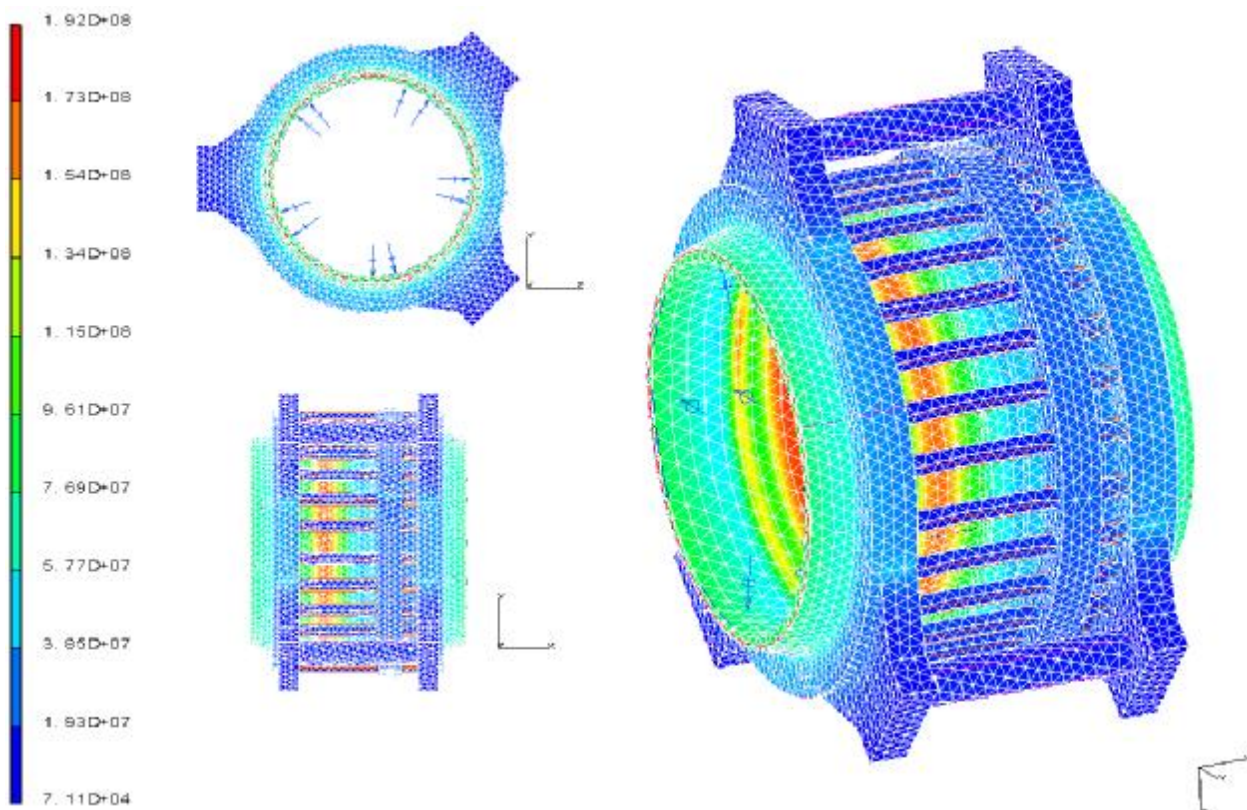


Рис. 3

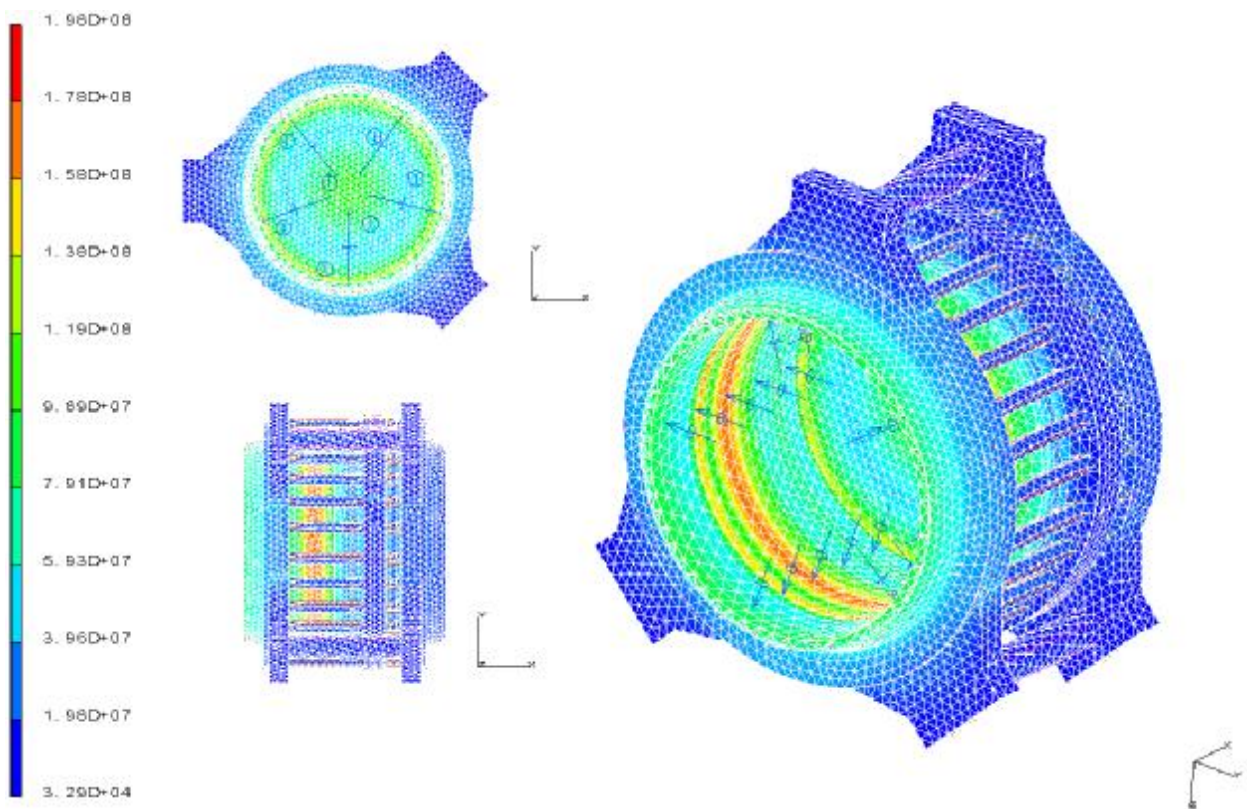


Рис. 4

Из полученных результатов следует, что наиболее нагруженной является часть трубы между фланцами толщиной 11 мм. и изготовленной из стали 09Г2С. В этой области эквивалентные напряжения максимальны и составляют 192 МПа в открытом состоянии отсечного устройства и 198 МПа – в закрытом. Напряжения во фланцах, шпильках и болтовых соединениях значительно меньше. Дополнительная продольная нагрузка, возникающая при работе СОУ в закрытом состоянии, приводит к незначительному увеличению напряжений в шпильках и болтах. Максимальные эквивалентные напряжения в заслонке почти в 2 раза меньше, чем в трубе.

В соответствии с формулами (1) максимально допустимые напряжения по условию прочности для рассматриваемого трубопровода категории «В», изготовленного из стали 09Г2С, составляют 210 МПа, а по условию деформативности – 216 МПа. Из сравнения максимальных расчетных и допустимых напряжений следует, что рассматриваемая конструкция СОУ-700х63 обеспечивает надежность и безопасность эксплуатации трубопроводов.

### 3. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОУ – 1000x63

Аналогичные численные исследования напряженно-деформированного состояния были проведены для СОУ-1000x63. Конечно-элементная модель конструкции и её напряженное состояние в открытом и закрытом состоянии изображены на рис. 5-8.

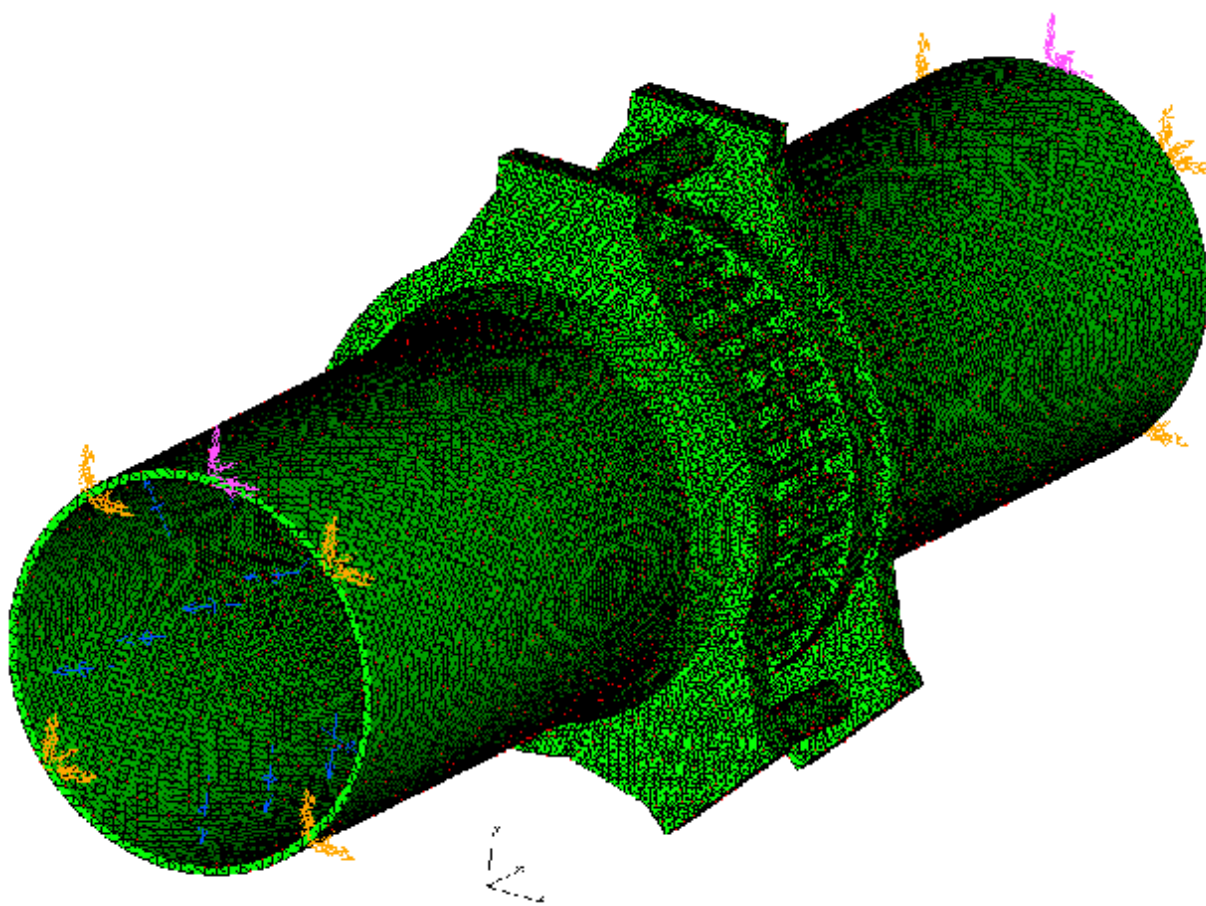


Рис. 5

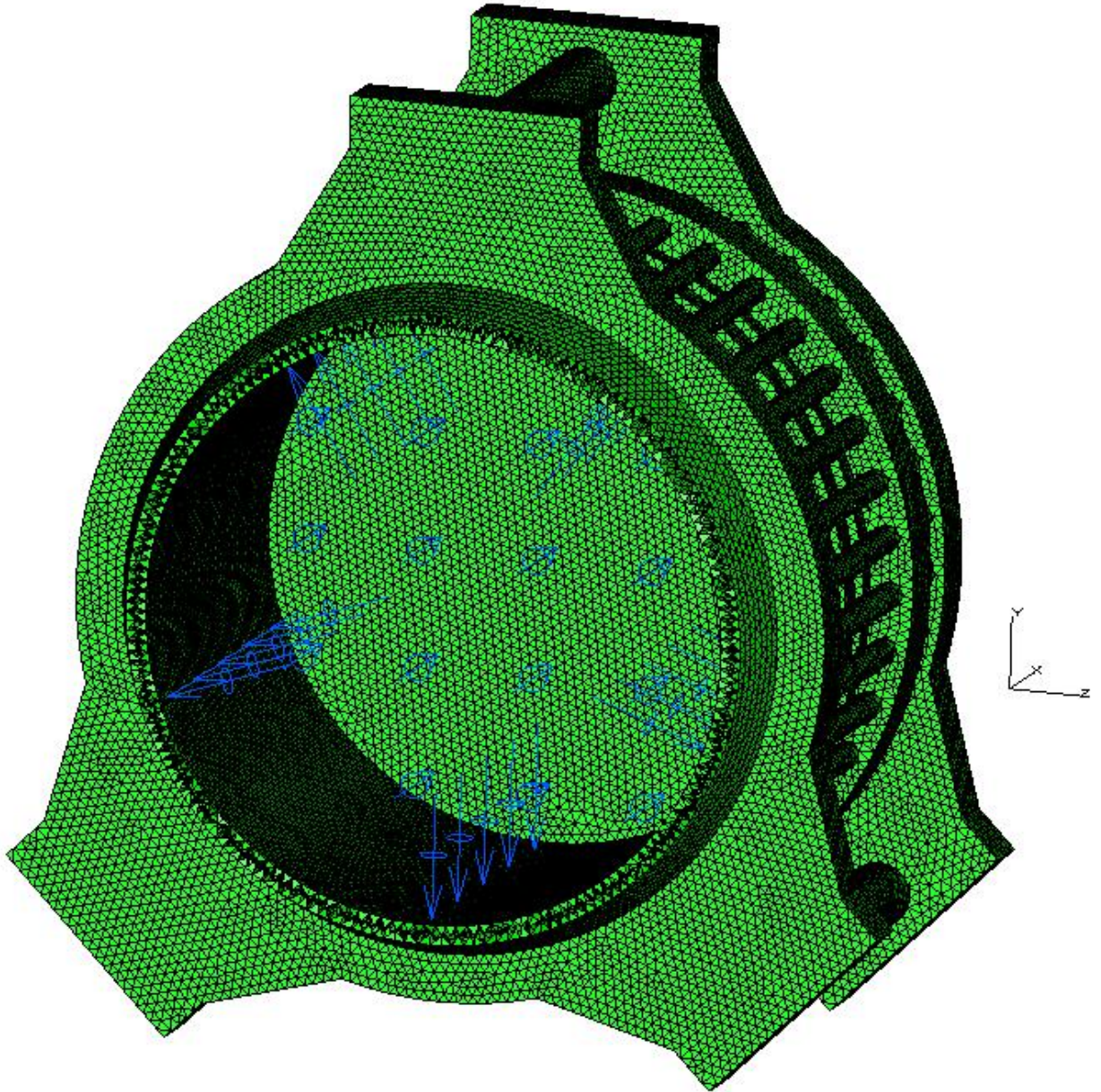


Рис. 6

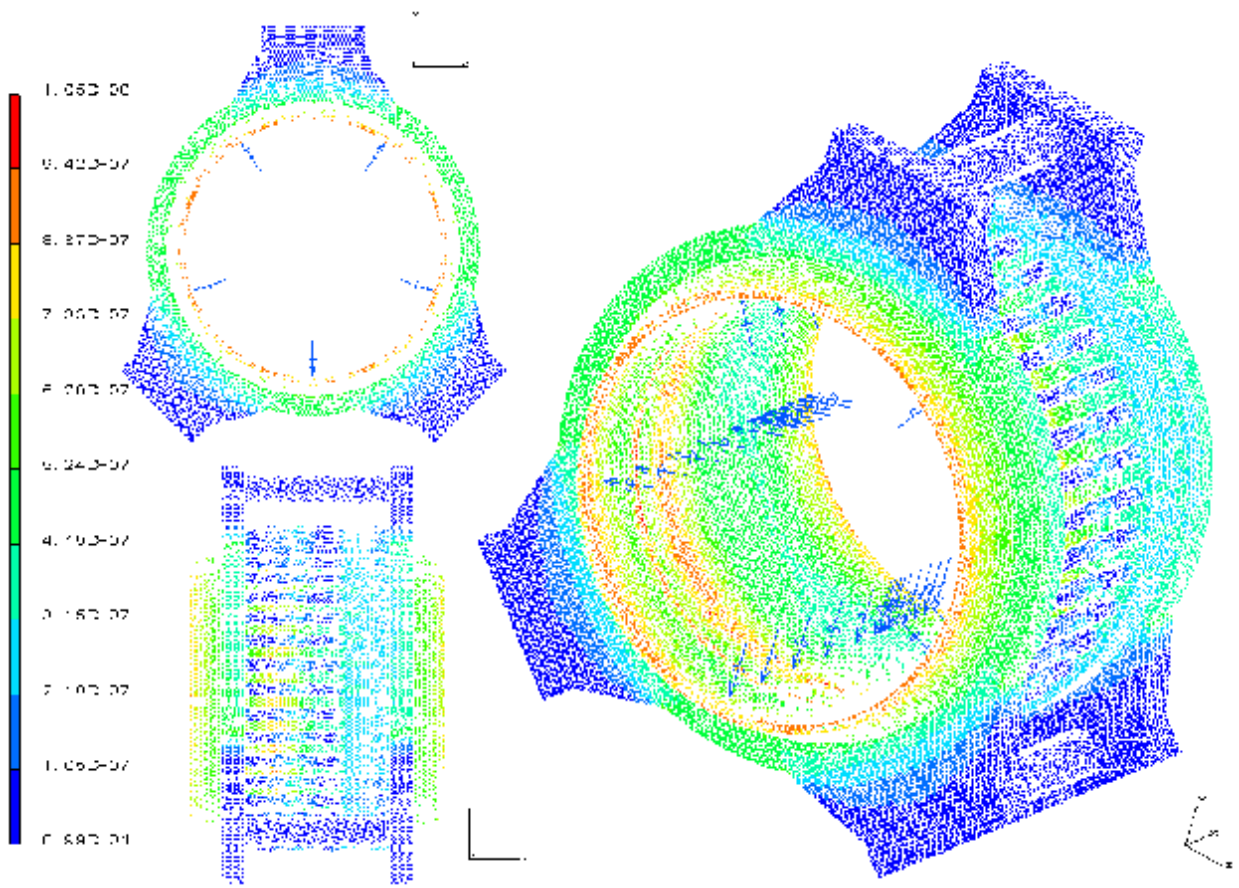


Рис. 7

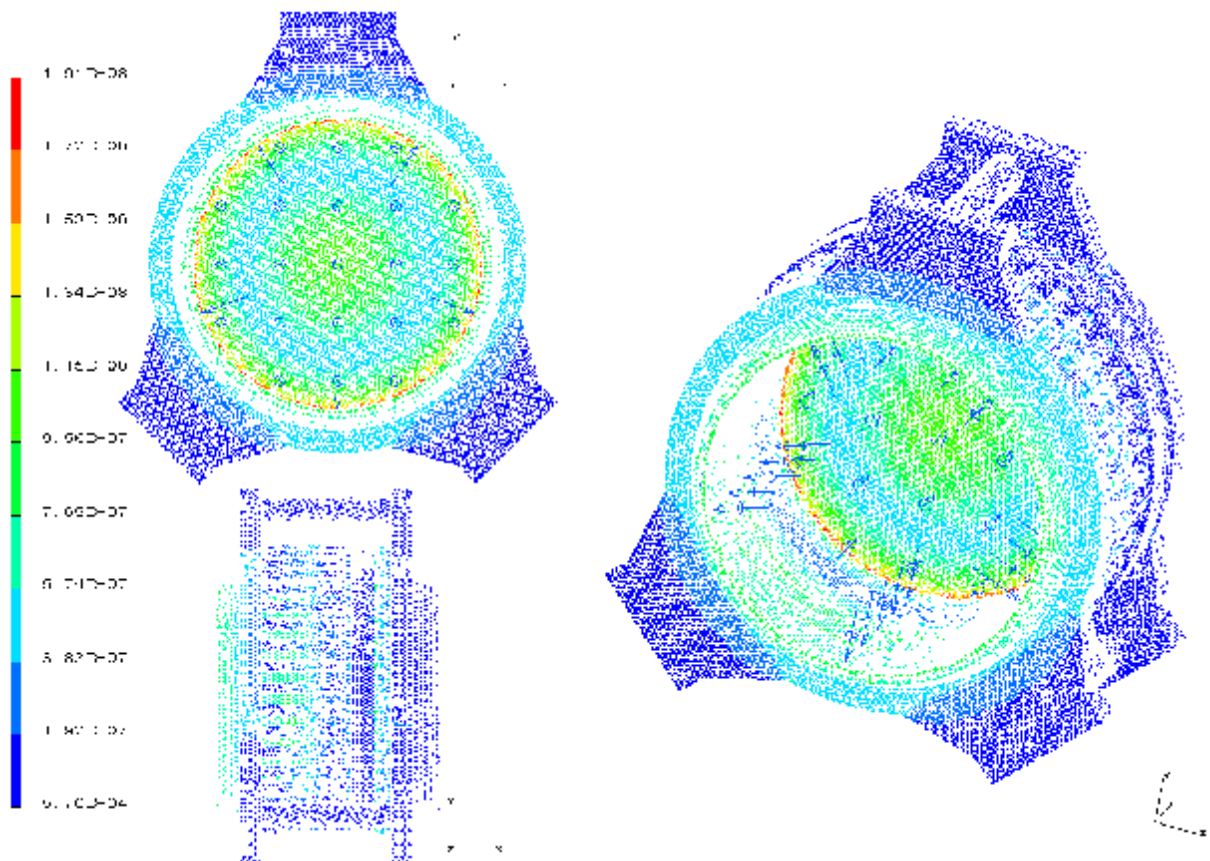


Рис. 8

Из полученных результатов следует, что при работе СОУ в закрытом состоянии наиболее нагруженной является заслонка. Максимальные эквивалентные напряжения в заслонке составляют 191 МПа.

В открытом состоянии отсечного устройства наиболее нагруженной является часть трубы между фланцами. Максимальные эквивалентные напряжения в этой области составляют 105 МПа.

Напряжения во фланцах, шпильках и болтовых соединениях значительно меньше. Дополнительная продольная нагрузка, возникающая при работе СОУ в закрытом состоянии, приводит к незначительному увеличению напряжений в шпильках и болтах.

В соответствии с формулами (1) максимально допустимые напряжения по условию прочности для рассматриваемого трубопровода категории «В», изготовленного из стали 09Г2С, составляют 210 МПа, а по условию деформативности – 216 МПа. Из сравнения максимальных расчетных и допустимых напряжений следует, что рассматриваемая конструкция СОУ-1000х63 обеспечивает надежность и безопасность эксплуатации трубопроводов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика расчетного прогнозирования работоспособности стационарных отсечных устройств. Эта методика основывается на моделировании методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния стационарных отсечных устройств и анализе локальных предельных состояний металла в наиболее нагруженных зонах конструкции.

С помощью разработанной методики исследована несущая способность стационарных отсечных устройств двух типоразмеров: СОУ – 700х63 и СОУ – 1000х63 в закрытом и открытом состоянии при действии внутреннего давления 6,3 МПа.

Проведенные исследования показали, что рассмотренные конструкции СОУ-700х63 и СОУ-1000х63 обеспечивают надежность и безопасность эксплуатации трубопроводов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М., Мир, 1975, 341 С.
2. Постнов В.А., Тарануха Н.А. Метод модуль-элементов в расчетах судовых конструкций. Л., Судостроение, 1990.
3. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. – М., «Наука», 1980.
4. СНиП 2.05.06-85\* . Магистральные трубопроводы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 52 С.