

*Хайбуллина Л.В.,  
старший преподаватель,  
старший преподаватель кафедры  
«Технологические машины и оборудование»  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
Россия, г. Уфа  
Габдулбаров А.А.,  
студент-магистрант,  
2 курс, факультет « Институт нефтегазового инжиниринга и  
цифровых технологий»  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
Россия, г. Уфа*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА С ДЕФЕКТАМИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

*Аннотация:* Статья посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния трубопровода с дефектами поперечного сечения (вмятина, овальность, гофр), Рассматривается применяемый программный комплекс (Компас-3D), методы численного анализа, особое внимание уделено полученному результату нагрузок в зоне дефекта. Даны рекомендации по дальнейшей эксплуатации и предотвращению аварийных ситуаций. Данное исследование подчёркивает важность применения программных комплексов для расчёта НДС, для обеспечения надёжности оборудования на всех этапах жизненного цикла.

**Ключевые слова:** моделирование, напряженно-деформированное состояние, дефекты поперечного сечения, технологические трубопроводы, метод конечных элементов, программные комплексы.

**Abstract:** This article examines the stress-strain state of a pipeline with cross-sectional defects (dents, ovality, and corrugations). The software systems used (Komпас-3D) and numerical analysis methods are discussed. Particular attention is paid to the obtained load results in the defect zone. Recommendations for further operation and emergency prevention are provided. This study emphasizes the importance of using software systems for calculating the stress-strain state to ensure equipment reliability at all stages of the life cycle.

**Keywords:** modeling, stress-strain state, cross-sectional defects, process pipelines, finite element method, software packages.

Обнаружение дефектов в элементах технологического оборудования требует особого внимания и анализа их влияния на напряженно-деформированное состояние конструкции, чтобы предотвратить отказ оборудования при его длительной эксплуатации в условиях рабочих нагрузок [1].

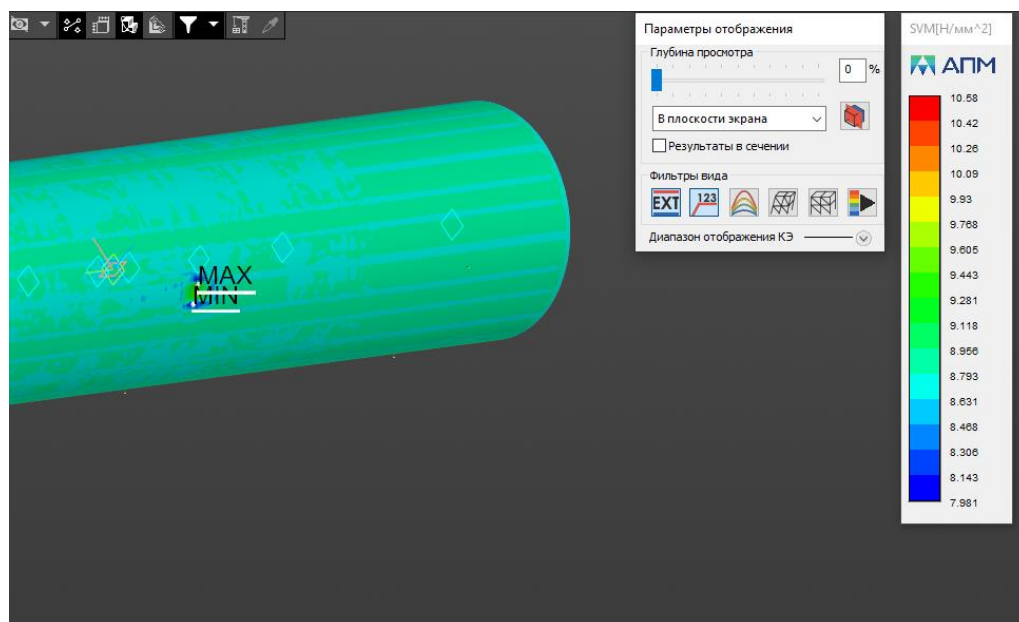
В работе исследуется взаимосвязь максимальных нагрузок на фрагмент технологического трубопровода, при возникновении различных дефектов поперечного сечения (вмятина, гофра). Для расчётов использован программный комплекс «Компас-3D».

Для постановки задачи был выбран участок трубопровода  $D_N=530$  мм и толщиной стенки 12 мм. Протяжённость фрагмента составила 2200 мм. В качестве материала изготовления трубопровода рассматривалась сталь марки 09ГСФ, обладающая необходимыми прочностными характеристиками для эксплуатации в сложных условиях [2].

С учётом перечисленных исходных данных была создана модель выбранного участка трубопровода, в которую закладывались различные

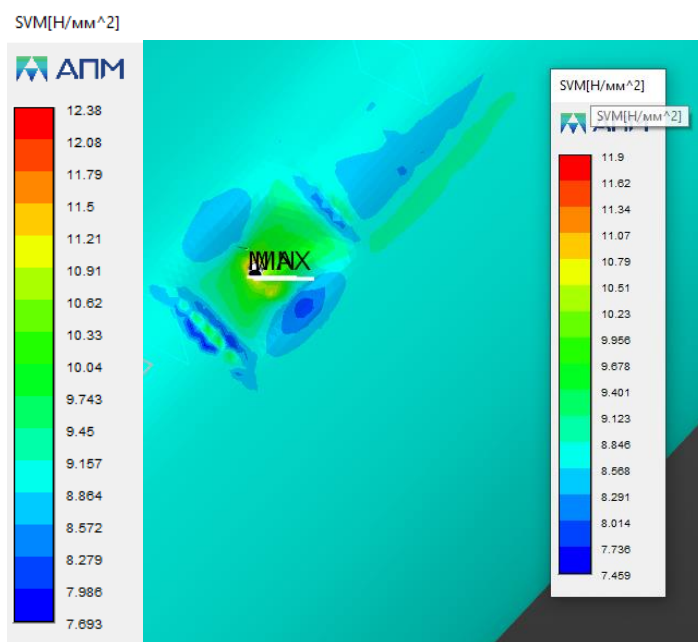
параметры возможных дефектов. На каждом этапе моделирования подробно анализировалось, как изменение размеров и характеристик дефектов влияет на напряженно-деформированное состояние.

В результате получены расчёты НДС, так же установлена зависимость изменений значений НДС, от изменения параметра дефекта (рис. 1)



***Рисунок 1. Напряженно-деформированное состояние фрагмента трубопровода с наличием дефекта вмятины***

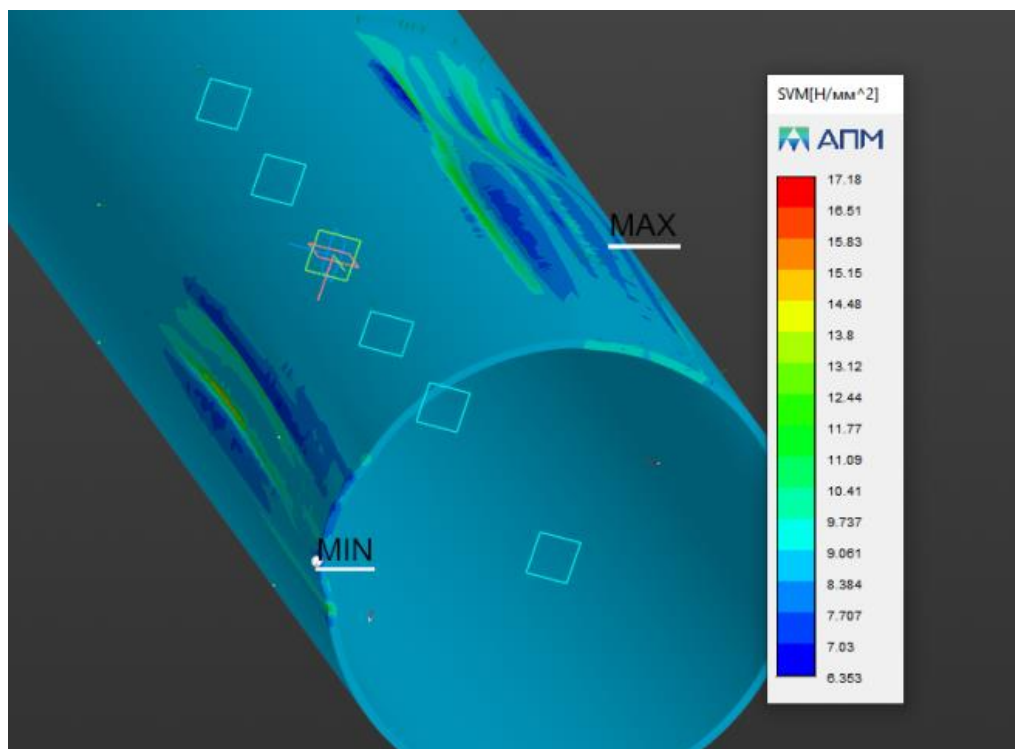
Аналогичным образом были построены модели фрагментов трубопроводов с увеличенной глубиной дефекта (рис. 2)



***Рисунок 2. Напряженно-деформированное состояние фрагмента трубопровода с увеличенной глубиной дефекта***

Из результатов расчётов, видно что для эллипсообразной вмятины длиной  $l_1 = 220$  мм и шириной  $b = 240$  мм, при глубине дефекта  $h_1 = 6$  мм;  $h_2 = 10$  мм,  $h_3 = 15$  мм, по мере увеличения глубины дефекта происходит рост эквивалентных напряжений в 1,1 раза, а при глубине  $h_3 = 15$  мм – снижение величины напряжений. Однако концентрация напряжений становится более точечной, что увеличивает риск усталостного разрушения.

Так же, в ходе исследования, была построена модель фрагмента трубопровода с дефектом гофры. Изменяемым параметром для данного типа дефекта была выбрана амплитуда. После проведения расчётов была построена карта результатов, на которых чётко видны места концентрации напряжений на фрагменте трубопровода, а также численный результат местных напряжений (рис. 3)



***Рисунок 3. Напряженно-деформированное состояние фрагмента трубопровода с наличием дефекта гофры, с амплитудой волны 68x13мм***

Анализируя полученные расчётные данные, можно отметить, что на участке трубопровода с дефектом в виде гофры, параметром которой является амплитуда 68x13, 80x16 и 92x19, наблюдается увеличение эквивалентных напряжений по мере роста длины и глубины повреждения. При амплитуде дефекта 68x13 и 80x16 значение напряжений возрастает примерно в 1,3 раза. Для наиболее крупного дефекта с амплитудой 92x19 величина эквивалентных напряжений увеличивается уже в 1,8 раза. При этом зоны концентрации напряжений смещаются вглубь дефектного участка.

Согласно [3] дефекты вмятины и гофры являются недопустимыми дефектами и эксплуатация технологических трубопроводов с такими дефектами не возможна. Однако, как показывает опыт проведения экспертизы промышленной безопасности трубопроводов с вмятинами и гофрами запрещение эксплуатации не всегда является обоснованной. Эксплуатация трубопроводов с вмятинами и гофрами без проведения ремонтных работ

возможна с последующей разработкой мероприятий, позволяющих повысить уровень безопасности, например эксплуатация на сниженные параметры с ежегодным проведением неразрушающего контроля условия развития зоны дефекта.

#### **Список использованных источников:**

1 Кузеев, И. Р. Трещинообразование в элементах реакторного оборудования / И. Р. Кузеев, А. А. Миннихметова, В. А. Гафарова // Нефтегазовое дело. — 2015. — Т. 13, № 3. — С. 140–145.

2 ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. Дата введения 2015.01.01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием "Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им.И.П.Бардина" (ФГУП "ЦНИИчермет им.И.П.Бардина") — С. 13.

3 ФНП №444 21.12.2021. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасной эксплуатации технологических трубопроводов" — С. 44.