

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОПРОВОДА “СРЕДНЯЯ АЗИЯ-ЦЕНТР” С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ДЕФЕКТАМИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Климов П.В.

АО «Интергаз Центральная Азия», г. Астана

Бердин Н.К.

ИПСМ РАН, г. Уфа

Худяков М.А. , Гареев А.Г.

УГНТУ, г. Уфа

На ряде участков магистрального газопровода Средняя Азия-Центр, проложенного в грунтах с высокой коррозионной активностью, развиваются поверхностные дефекты эллиптического типа. В отличие от классической язвенной коррозии [1] эти дефекты имеют плоское дно и малые радиусы перехода от него к стенке дефекта.

В настоящее время для оценки несущей способности трубы с дефектами используются методы такие как, например, ANSI/ASME B31G, которые предполагают, что язва в сечении имеет параболическую форму, и использовать их для расчета дефектов эллиптического типа не представляется возможным.

Поэтому задача расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода с подобными дефектами является актуальной. В данной работе она решалась с использованием конечно-элементного моделирования в среде программного комплекса ANSYS 10.0 в трехмерной постановке [2].

Ее цель - выполнить оценочные расчеты влияния глубины дефекта трубы, при его неизменной форме, на распределение интенсивности напряжений и деформаций в дефектной области трубы.

В качестве объекта исследований был выбран участок трубы с дефектом эллиптического типа, обнаруженный на Индеровском участке газопровода Средняя Азия-Центр.

При решении задачи рассматривались следующие варианты :

- 1) Расчет участка трубы без дефектов;
- 2) расчет участка трубы с дефектом.

Материал трубы - сталь 17Г1С. Свойства материала трубы были следующими: модуль упругости $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu=0,3$. Геометрические размеры трубы: внешний диаметр трубы $D=1220$ мм; толщина стенки 12,0 мм. В задаче рассматривался участок трубы длиной 2000 мм.

Форма дефекта трубы принималась близкой к эллипсу. Максимальный размер дефекта трубы – продольный, совпадал с направлением оси трубы и был равен 300 мм. Поперечный размер был равен 200 мм. Размеры дефекта представлены в таблице 1 и рис.1.

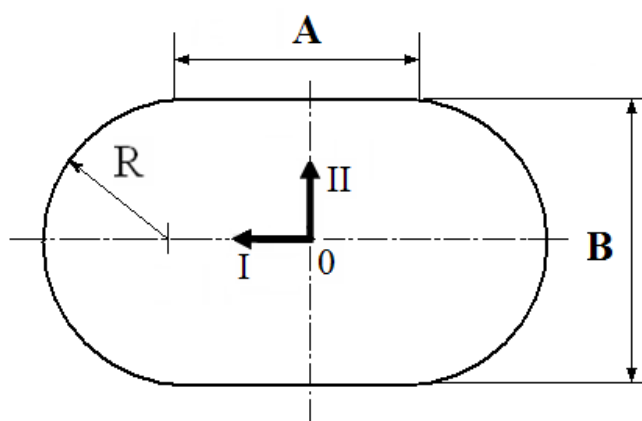


Рисунок 1. Форма дефекта: I - продольное направление; II - поперечное направление

Таблица 1
Геометрические размеры дефектов, рассмотренных в работе

	R, мм	A, мм	B, мм	H, мм
Труба без дефектов	100,0	50,0	200,0	0,0
Труба с дефектом	100,0	50,0	200,0	9,0
	100,0	50,0	200,0	6,0
	100,0	50,0	200,0	3,0
	100,0	50,0	200,0	1,5

Предполагалось, что труба находится под действием внутреннего давления $P = 5,0$ МПа. В расчетах применяли схему нагружения при которой величину прикладываемого внутреннего давления изменяли во времени по линейному закону от 0 до 5,0 МПа в течении 10,0 секунд. Предварительное значение максимального напряжения в стенке было определено аналитическим методом.

В связи с тем, что исследуемый объект - труба имеет две плоскости симметрии: продольную и поперечную, в дальнейшем рассматривалась только ¼ часть трубы. Задача решалась в упругой постановке. Использовался 8-узловой трехмерный элемент SOLID185. Общее количество элементов в задаче - 31460. Общее количество узловых точек - 40377.

Основные результаты вычислений

Первоначально был выполнен аналитический и конечно-элементный расчет трубы без дефекта. Результаты расчетов сравнивали между собой. Этот сравнительный анализ был необходим для определения начальной точки отсчета и для тестирования созданной конечно-элементной модели вычисления. Аналитический расчет выполняли исходя из следующих предпосылок. В связи с тем, что в детали при нагружении внутренним давлением формируется плоское деформированное состояние, предполагается, что наибольшие напряжения будут возникать в стенке цилиндрической части трубы.

Если цилиндрический фрагмент находится под внутренним давлением P , то в его стенке возникают напряжения, которые можно найти по формуле [3]:

$$\sigma = \frac{PR^*}{t} \dots (1),$$

где: P - внутреннее давление в трубе; $R^* = (D-t)/2$ радиус средней линии трубы; t - толщина стенки трубы; D - внешний диаметр трубы. Подставляя, численные значения в расчетную формулу (1) получаем максимальные напряжения в стенке трубы которые возникают под действием приложенного внутреннего давления:

$$[\sigma] = \frac{P(D-t)}{2t} = \frac{5,0 \cdot 604,0}{12,0} = 251,67 \text{ МПа} \dots (2)$$

В формуле (2) $[\sigma]$ – предельные напряжения в трубе из стали 17Г1С, находящейся под внутренним давлением 5,0 МПа при температуре 20°C.

Результаты конечно-элементного анализа представлены на рис.2 и рис.3. Характерной особенностью полученных результатов является неравномерное распределение напряжений по толщине стенки трубы. Их величина колеблется от $\sigma_{\min} = 247,075$ МПа на внутренней поверхности до $\sigma_{\max} = 256,275$ МПа на внешней поверхности трубы. Учитывая это значение напряжений в среднем сечении трубы

можно определить, как $(\sigma_{\min} + \sigma_{\max})/2 = 251,68$ МПа. Как видим значение напряжений, найденных в результате аналитического и конечно-элементного моделирования практически совпадают.

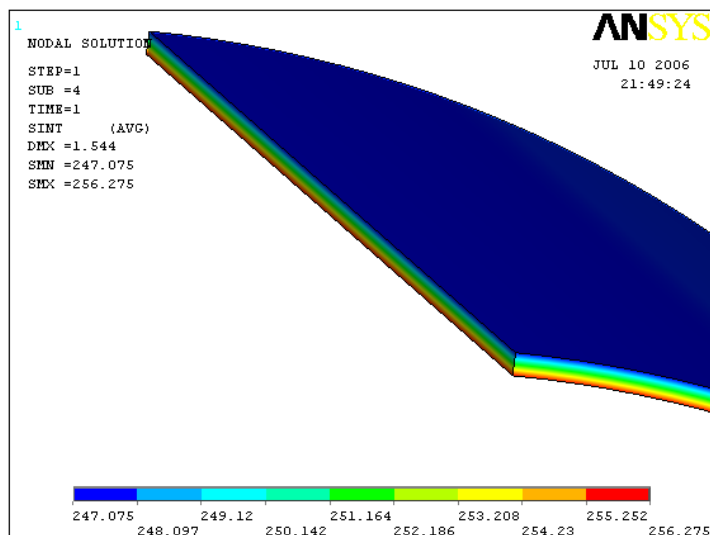


Рисунок 2. Эпюра распределения интенсивности напряжений

На рис.3. представлено распределение интенсивности напряжений в поперечном направлении.

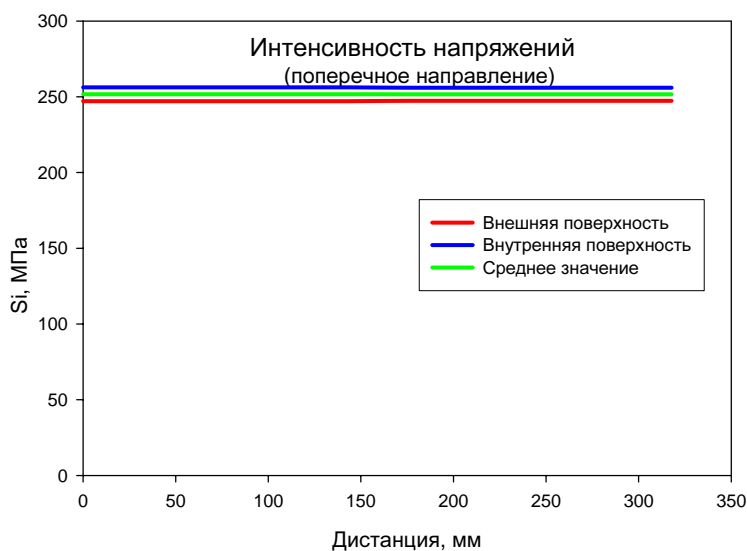
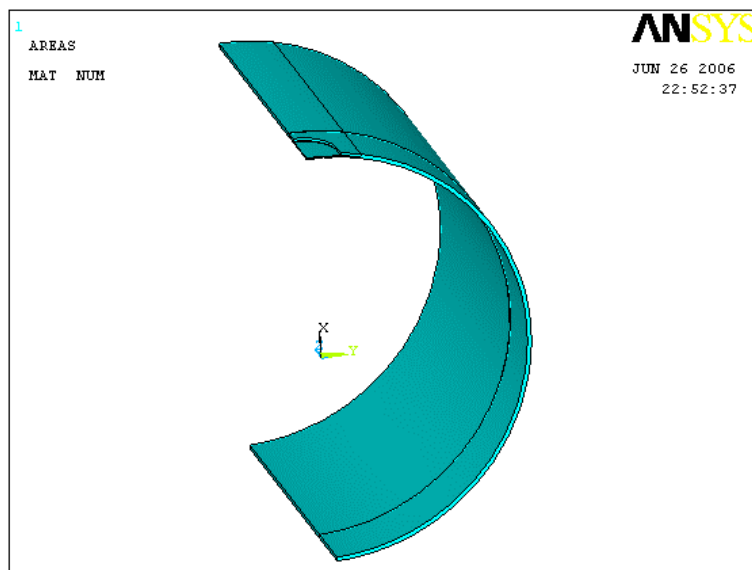


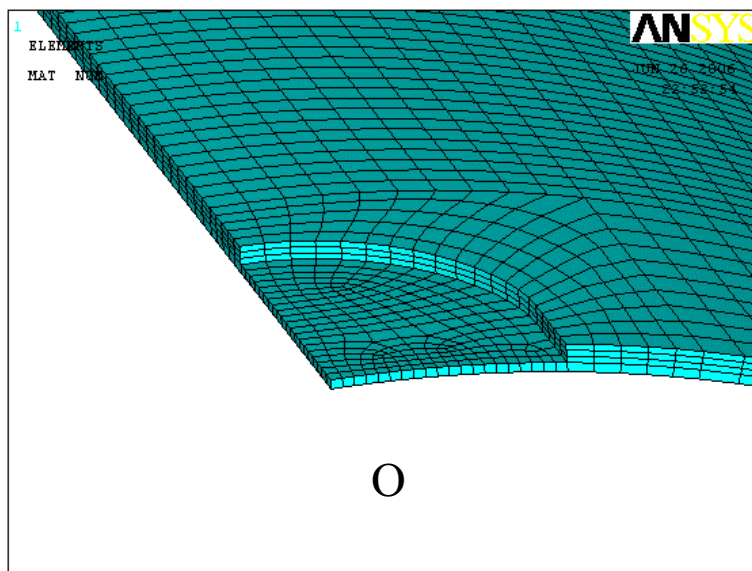
Рисунок 3. Распределение интенсивности напряжений в поперечном направлении II

Очевидно, что распределение напряжений в продольном “Г” и поперечном “П” направлениях трубы в которой нет дефектов равномерно.

Формирование НДС в трубе с дефектным участком, имеющим различную глубину (см. табл. 1) типично. В этой связи рассмотрим подробно, как распределяется интенсивность напряжений и деформаций в дефектной области трубы с дефектом в виде эллипса и глубиной 9,0 мм.



а)



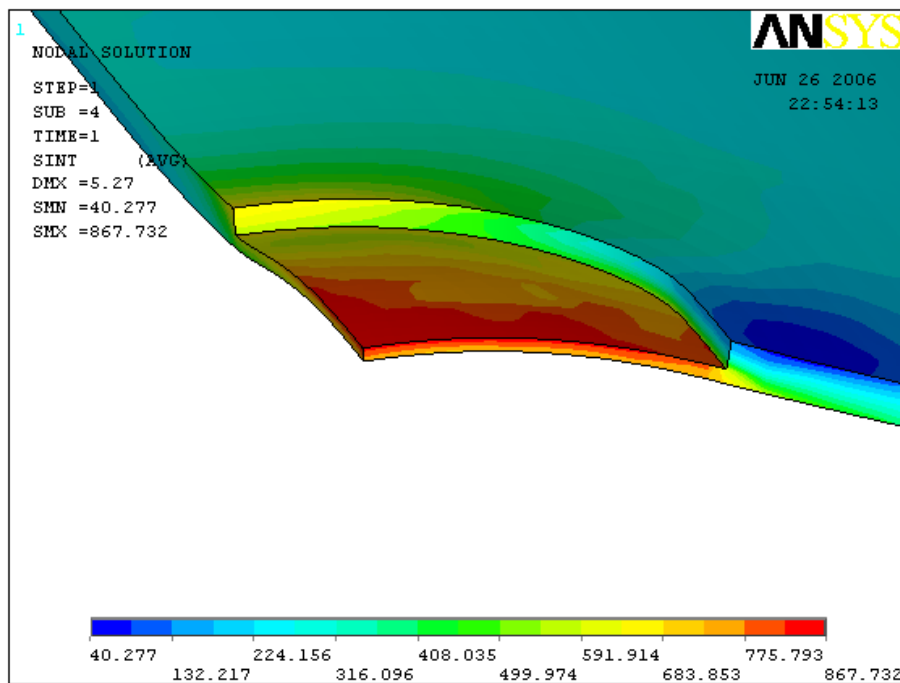
О

б)

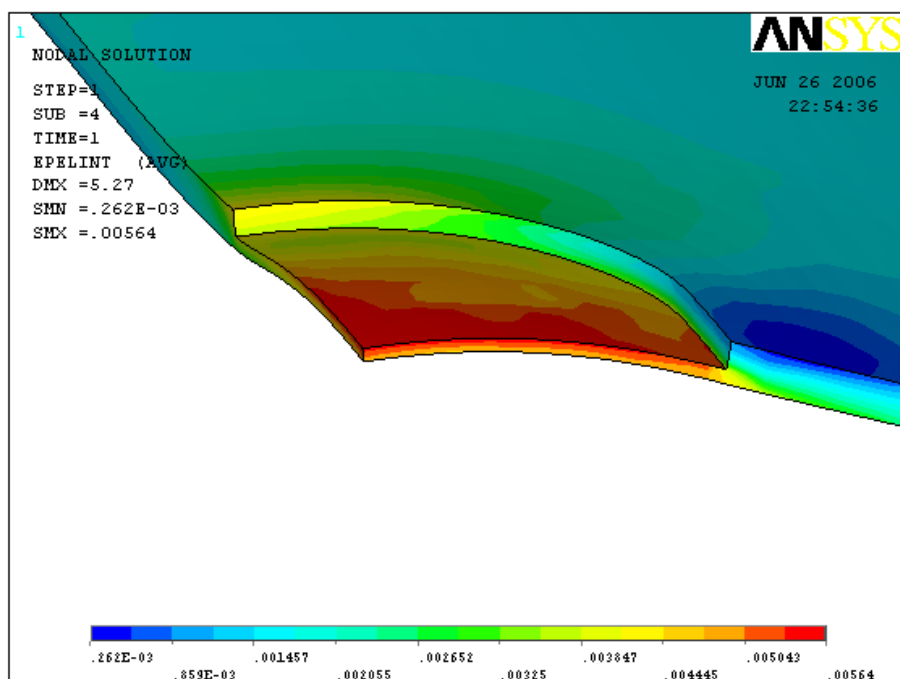
Рисунок 4. Исходное состояние:
а - твердотельная модель;
б - фрагмент конечно-элементной модели.
“О” - центр дефектной зоны.

На рис. 4 а представлена твердотельная модель четвертой части участка трубы с дефектом, а на рис.4б – конечно-элементная модель.

Точка “О” – является центром дефекта и началом отсчета на графиках.



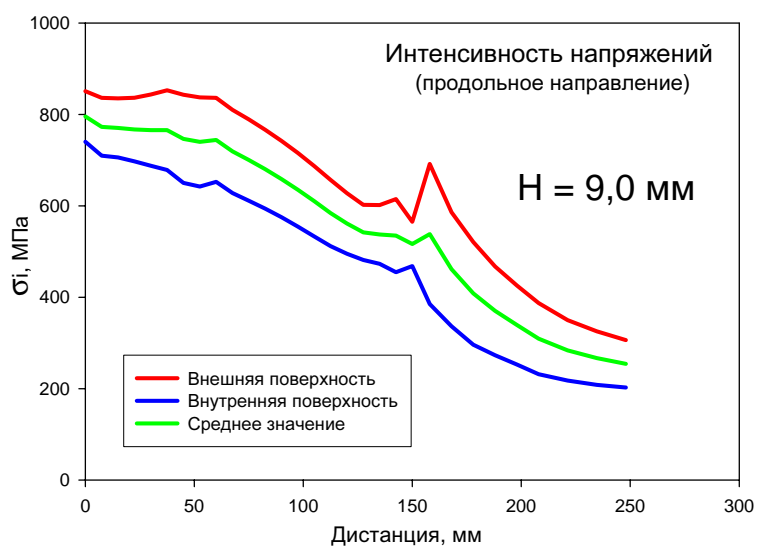
а)



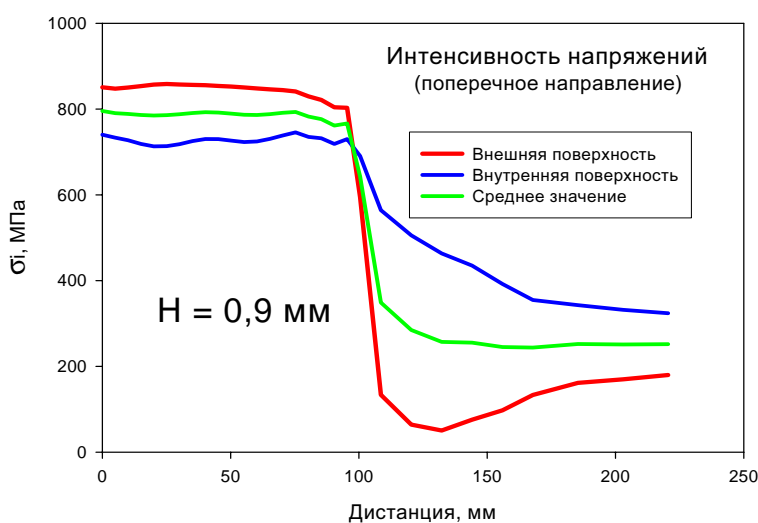
б)

Рисунок 5. Напряженное и деформированное состояние в трубе под нагрузкой:
 а- эпора распределения интенсивности напряжений;
 б- эпора распределения интенсивности упругой деформации.

Нагружение трубы внутренним давлением приводит к возникновению в трубе неравномерной упругой деформации и появлению соответствующих им значений интенсивностей напряжений (рис. 5 а,б). Из данных рисунков и рис.6 а, б видно, что характер распределения напряжений в продольном и поперечном направлениях различен. В центральной части дефектного участка напряжения имеют наибольшие значения. В поперечном и продольном направлениях от центральной точки напряжения убывают. Причем в продольном направлении напряжения убывают более интенсивно, чем в поперечном направлении.



а)



б)

Рисунок 6. Распределение интенсивности напряжений

Однако в области перехода из дефектного участка к целому участку трубы наблюдаются скачки напряжений. В поперечном направлении величина скачков имеет большую величину, чем в продольном направлении.

На рис. 7 представлены зависимости изменения интенсивности упругой деформации в продольном и поперечном направлениях.

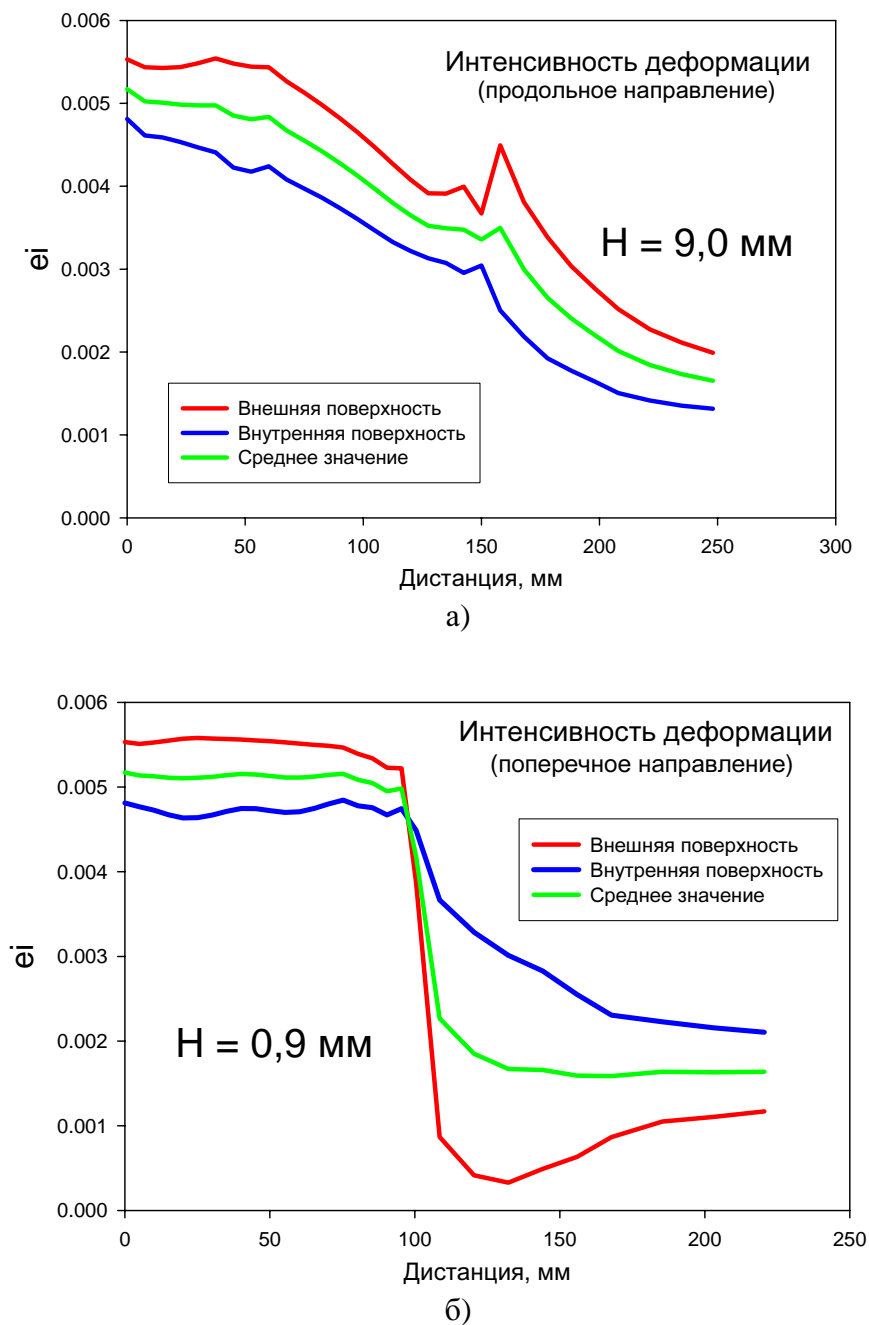
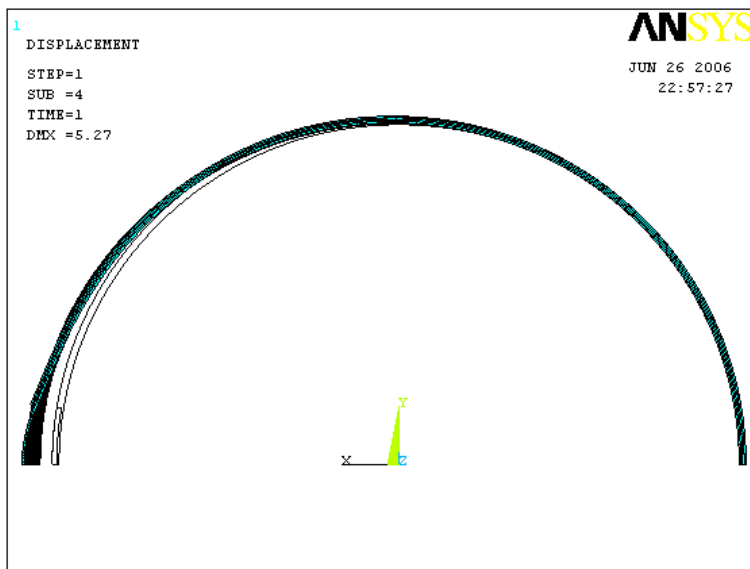
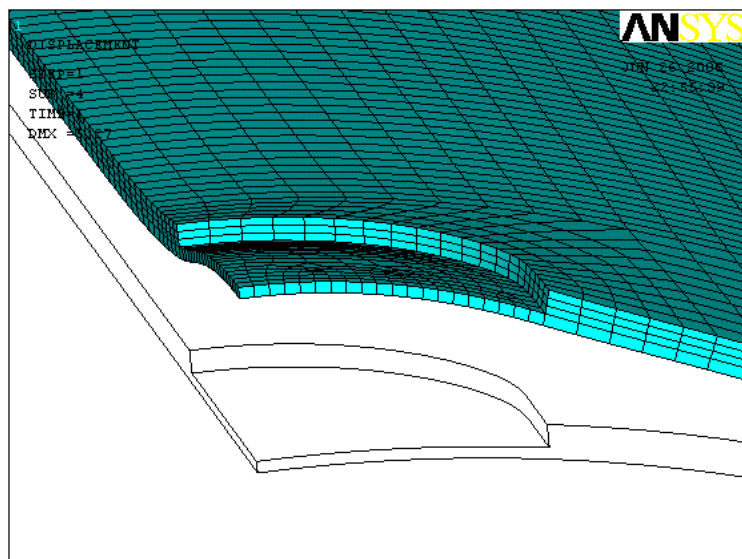


Рисунок 7. Распределение интенсивности упругой деформации: а - в продольном направлении ; б - в поперечном направлении.

Результаты вычисления показали, что характер изменения упругой деформации полностью совпадает с изменением интенсивности напряжений в продольном и поперечном направлениях относительно центральной точки дефекта. Это связано с тем, что в работе рассмотрено решение задачи в упругой постановке.



а)



б)

Рисунок 8. Деформированное состояние:
а - общий вид. б - вид в области дефекта.

Результаты расчета показали, что и внешние размеры трубы изменяются неодинаковым образом (рис. 8). Наибольшее изменение диаметра трубы совпадает с направлением расположения дефекта на трубе. Чем меньше толщина стенки в дефектной зоне, тем больше разница в диаметральном направлении дефекта и перпендикулярном направлении.

Решение задачи определения напряжений в дефектной зоне от глубины дефекта было обобщено в виде зависимости, представленной на рис. 9.

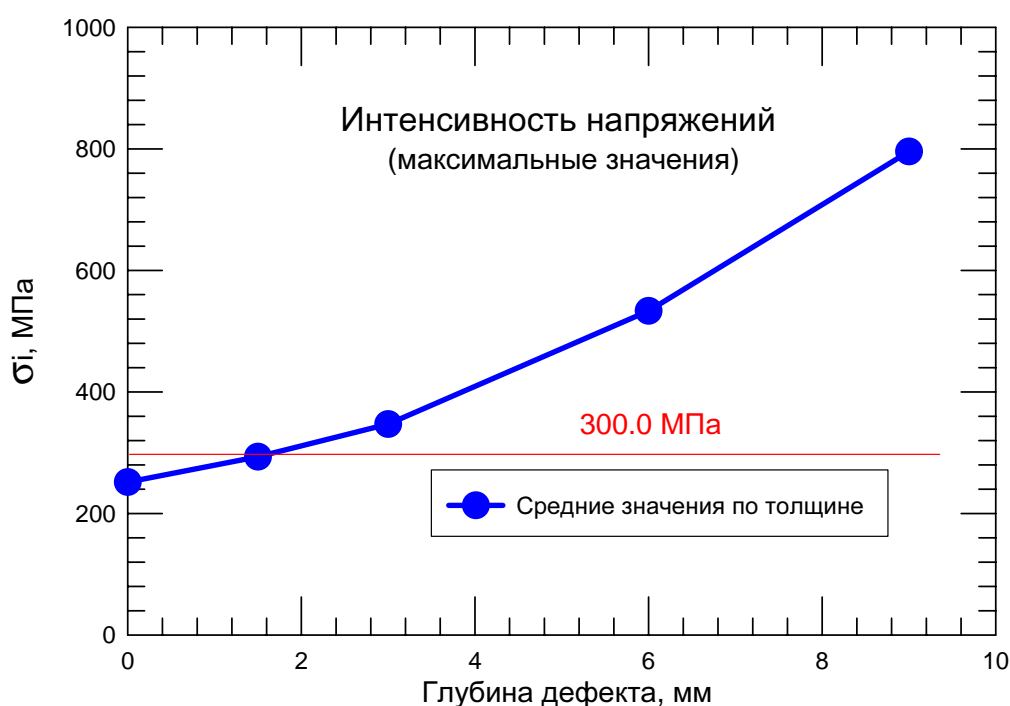


Рисунок 9. Изменение значений интенсивности напряжений в зависимости от глубины дефекта эллиптического типа

Как показали результаты вычислений зависимость максимальных значений интенсивности напряжений от глубины дефектов носит нелинейный характер. С увеличением глубины дефекта от 0,0 мм до 9,0 мм (при толщине стенки трубы $t=12,0$ мм средние по толщине стенки и максимальные расчетные значения интенсивности напряжений изменяются от 251,0 МПа до 800,0 МПа.

Из справочной литературы известно, что для стали 17Г1С предельно допустимым значением напряжений является величина 300,0 МПа. Учитывая это

для участков трубопровода выполненного из стали 17Г1С находящегося под внутренним рабочим давлением 5,0 МПа в которых имеются дефекты эллиптического типа, предельно допустимая глубина дефектов составляет величину 1,8 мм.

Литература

1. Жук.Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. - М: Металлургия. 1976. 472с.
2. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. - М.: Мир, 1986. - 318 с.
3. Кочетов В.Т. , Кочетов М.В., Павленко А.Д. Сопротивление материалов. СПб : БХВ "Петербург", 2004. 544с.