Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина»

Кафедра теоретической и прикладной механики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Исследование механических напряжений в корпусе прибора для диагностики двигателей

Выполнил: студент гр. 4-33 Осокин А.Н.

Руководитель: д.т.н., доц. Смирнов С.Ф.

Иваново 2022

Описание объекта

Компрессометр — прибор измерения компрессии в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания (рис. 1-2)

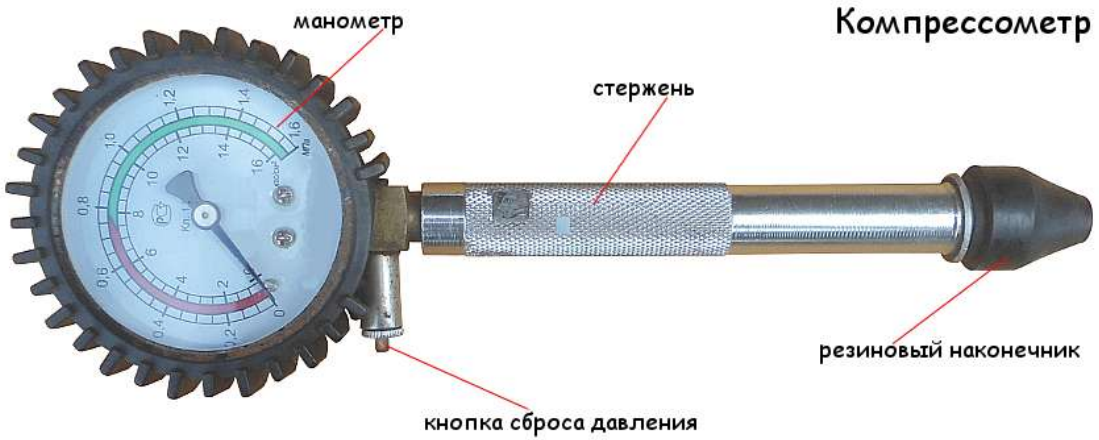

Рис. 1. Внешний вид компрессометра

Рис. 2. Прибор для диагностики двигателей, содержащий компрессометр

Цель и задачи работы

Цель работы: определение толщины стенки корпуса компрессометра из пластика PETG, обеспечивающий его прочность при максимальном давлении 40 атмосфер.

Задачи:

1) экспериментальное определение модуля упругости материала PETG;

2) экспериментальное определение допускаемого напряжения;

3) аналитический расчет напряжений в корпусе при максимальном давлении 40 атмосфер и расчетной толщины стенки;

4) разработка модели корпуса компрессометра в программном комплексе Ansys Workbench;

5) расчет напряжений, перемещений в корпусе по разработанной модели.

Экспериментальное определение модуля упругости (E) материала PETG

На кафедре технического сервиса и механики Ивановской ГСХА было получено 4 опытных образца из материала PETG (рис. 3). Испытания на растяжение проводились по ГОСТ 9550-81.

Рис. 3. Опытный образец

Рис. 4. Разрывная машина УТС-111.2-5-22

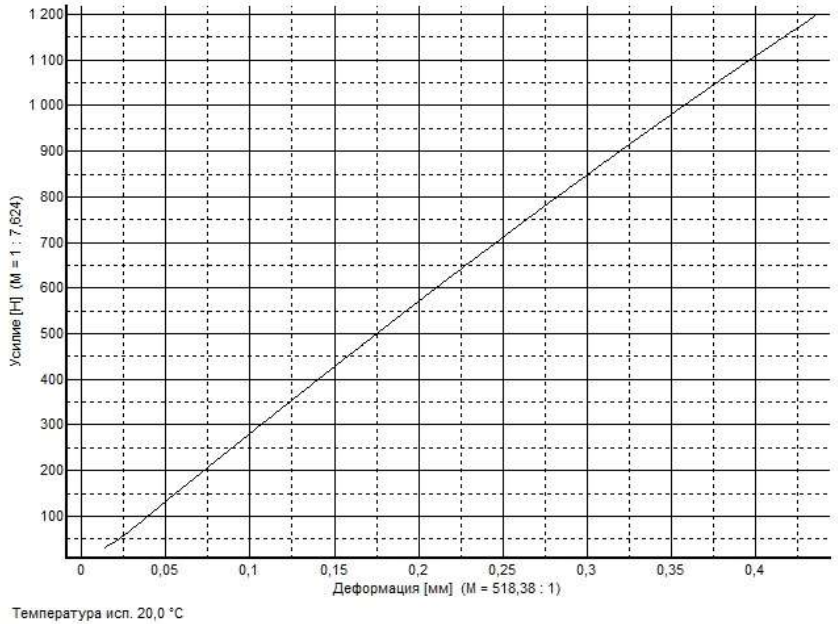

Рис. 5 1-ый образец

Полученные диаграммы напряжения – деформации четырех образцов

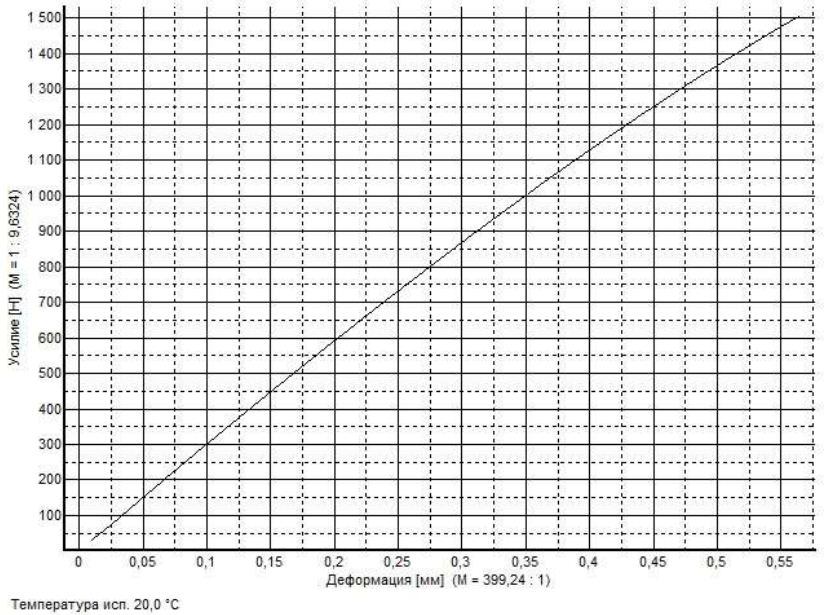

Рис. 6 2-ой образец

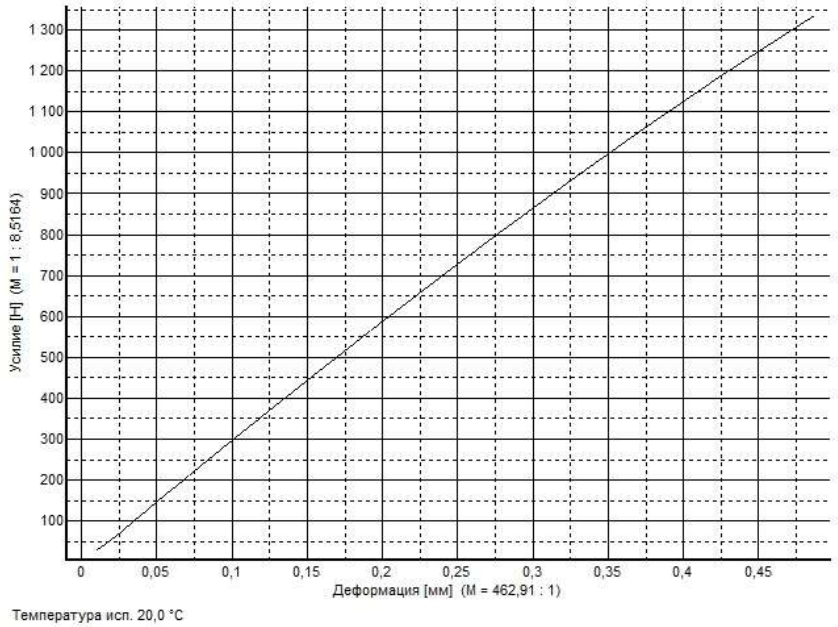

Рис. 7 3-й образец

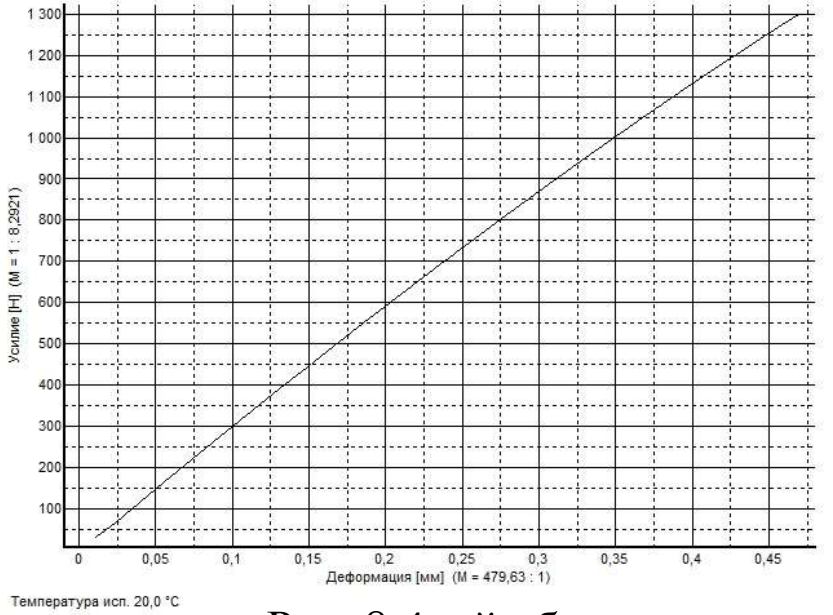

Рис. 8 4-ый образец

Модуль Юнга для пластика определялся по формуле:

$$E_i = tg\alpha = \frac{F_2 - F_1}{d_2 - d_1}$$

Получившиеся значения модуля упругости (E) для 4-х образцов:

$$E1 = 3000\text{МПа}$$
$$E2 = 3000\text{МПа}$$
$$E3 = 3000\text{МПа}$$
$$E4 = 3000\text{МПа}$$

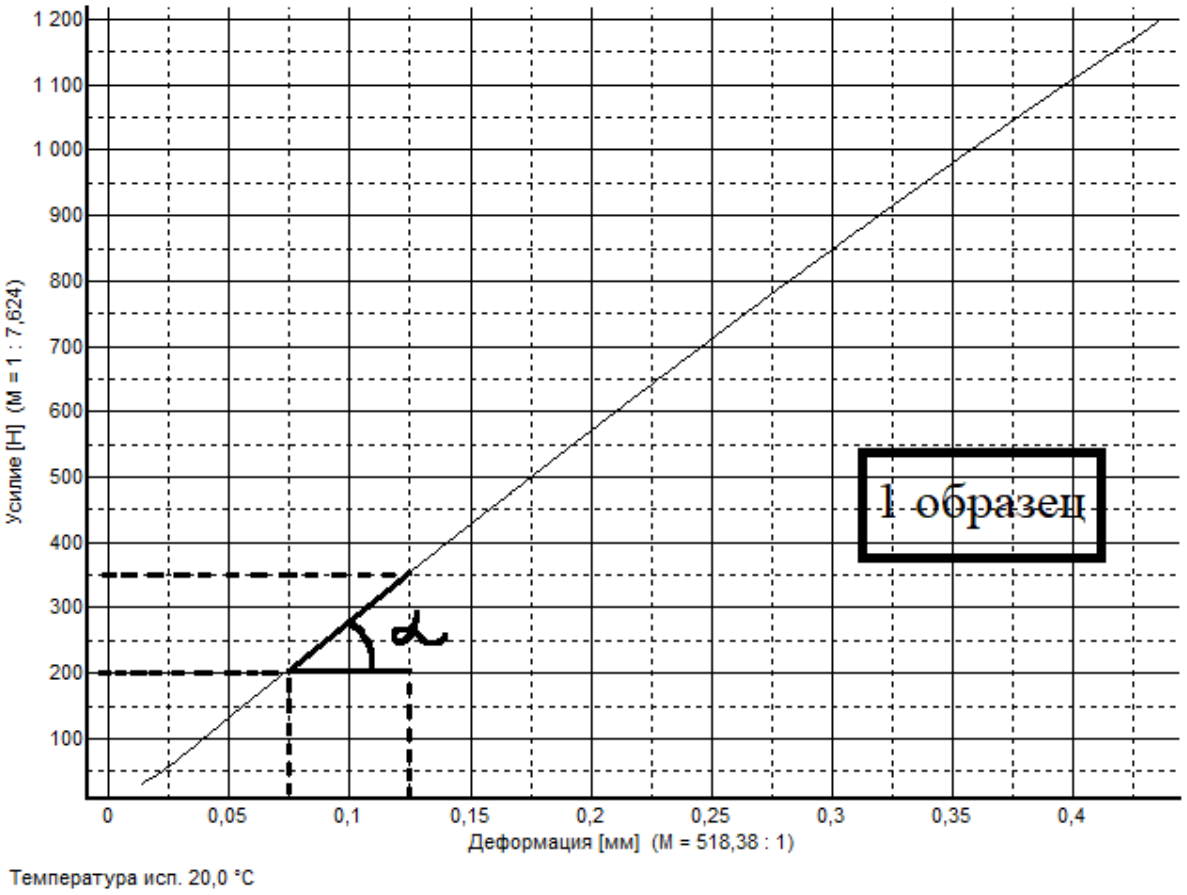

Рис. 9. Пример определения тангенса угла наклона диаграммы 1-го образца к оси абсцисс

Расчет допускаемого напряжения материала PETG

Предел прочности рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{вi} = \frac{F_{max\,i}}{A}$$

По результатам испытаний были получены следующие значения :

$F_{max\,1} = 2100H; F_{max\,2} = 2130H;$
$F_{max\,3} = 2150H; F_{max\,4} = 2180H.$

Пределы прочности 4-х образцов равны:

$\sigma_{в1} = 52{,}5МПа$
$\sigma_{в2} = 53{,}25МПа$
$\sigma_{в3} = 53{,}75МПа$
$\sigma_{в4} = 54{,}5МПа$

Среднее значение $\bar{\sigma}_в$:

$$\bar{\sigma}_в = \frac{\sigma_{в1} + \sigma_{в2} + \sigma_{в3} + \sigma_{в4}}{4} = 53{,}5МПа$$

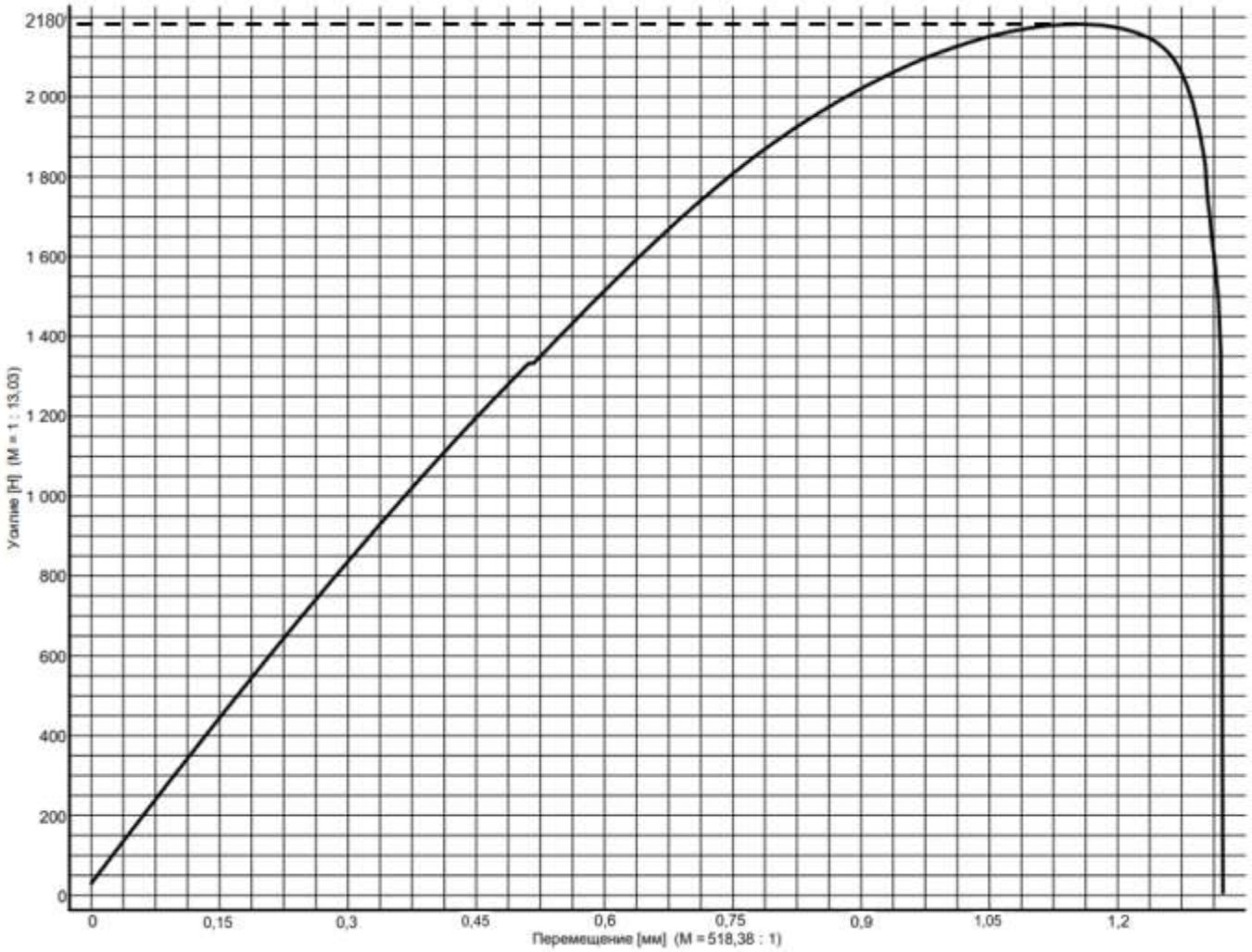

Рис. 10 Пример максимального усилия на диаграмме 4-го образца

Расчет допускаемого напряжения

Полагая, что распределение предела прочности описывается распределением Гаусса, для доверительной вероятности 0,95 рассчитывается из выражения:

$$\sigma_{adm} = \bar{\sigma}_{\text{в}}(1 - 1{,}64 \cdot C_V{}^*),$$

где $\bar{\sigma}_{\text{в}}$- среднее значение предела прочности; C_V^*- коэффициент вариации.

Для распределения Гаусса несмещенной оценкой коэффициента вариации при малой выборке размером n, является величина:

$$C_V^* = \left(1 + \frac{1}{4n}\right) C_V,$$

$$C_V = \frac{S(\sigma_{\text{в}})}{\bar{\sigma}_{\text{в}}},$$

где $S(\sigma_{\text{в}})$ – стандартное отклонение, рассчитываемое по формуле:

$$S(\sigma_{\text{в}}) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(\sigma_{\text{в}i} - \bar{\sigma}_{\text{в}})^2}.$$

По результатам испытаний получено: $S(\sigma_{\text{в}})$ = 0,73 МПа, C_V^* = 0,014, σ_{adm}= 52,23 МПа.

Аналитический расчет корпуса компрессометра

Силы N_x и N_y, приходящиеся на метр длины, исходя из равномерности удлинения корпуса прибора от внутреннего давления, определим из условий равновесия, рассматривая два взаимно нормальных сечения (рис.11) по формулам:

$$N_x = \frac{qbc}{2(b+c)} \qquad N_y = \frac{qac}{2(a+c)}$$

Напряжения σ_x и σ_y, которые складываются из нормальных напряжений от продольных сил и изгибающих моментов M_x, M_y:

$$\sigma_x = \frac{N_x}{h} + \frac{6M_x}{h^2} \qquad \sigma_y = \frac{N_y}{h} + \frac{6M_y}{h^2}$$

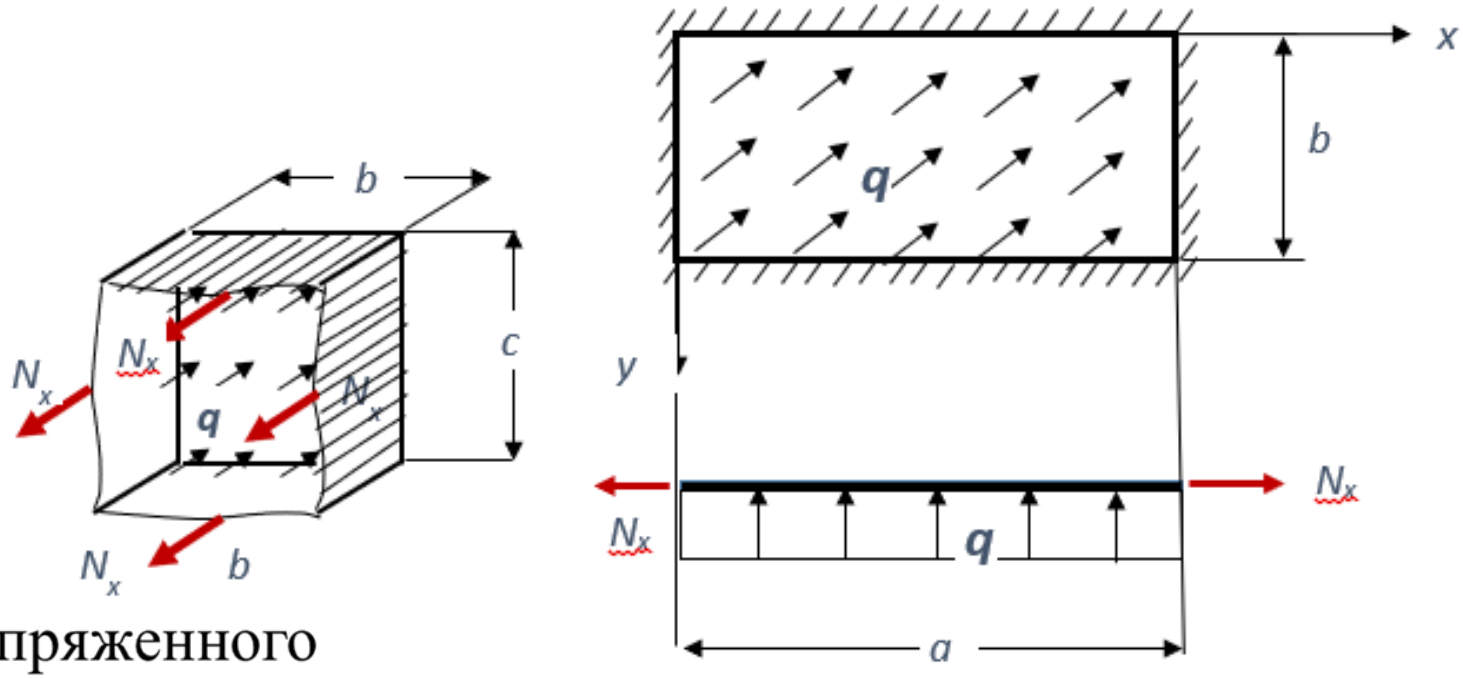

Рис. 11. Расчетная модель корпуса компрессометра

Условие прочности для плоского напряженного состояния по 4 теории прочности имеет вид:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_1{}^2 + \sigma_2{}^2 - \sigma_1\sigma_2} \le \sigma_{adm}$$

где $\sigma_1 = \sigma_x;\ \sigma_2 = \sigma_y.$

Аналитический расчет корпуса компрессометра

Таблица 1 - Прогибы и изгибающие моменты

$\frac{a}{b}$	(w) $x=0,$ $y=0$	(M_y) $y=\pm\frac{b}{2},$ $x=0$	(M_x) $y=0,$ $x=\pm\frac{a}{2}$	(M_y) $x=0,$ $y=0$	(M_x) $x=0,$ $y=0$
2,0	$0{,}00254qb^4/D$	$-0{,}0829qb^2$	$-0{,}0571qb^2$	$0{,}0412qb^2$	$0{,}0158qb^2$
∞	$0{,}00260qb^4/D$	$-0{,}0833qb^2$	$-0{,}0571qb^2$	$0{,}0417qb^2$	$0{,}0125qb^2$

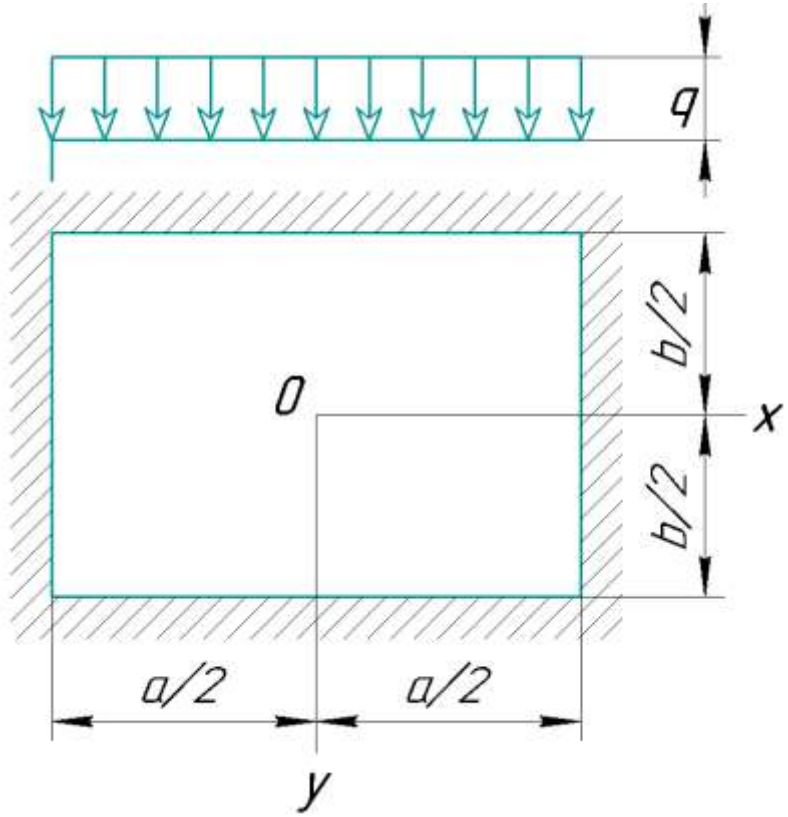

Рис. 12.Расчетная схема пластины

$$M_y = 0{,}0833qa^2 = 283{,}9\frac{Hm}{m}$$

$$N_x = 28{,}87\frac{kH}{m} \quad N_y = 40{,}5\frac{kH}{m}$$

$$\sigma_x = 4{,}81\text{МПа} \quad \sigma_y = 54{,}08\text{МПа}$$

$$\sigma_{экв} = 51{,}84\text{МПа} < \sigma_{adm} = 52{,}23\text{МПа}$$

Построение и расчет модели в программном комплексе Ansys

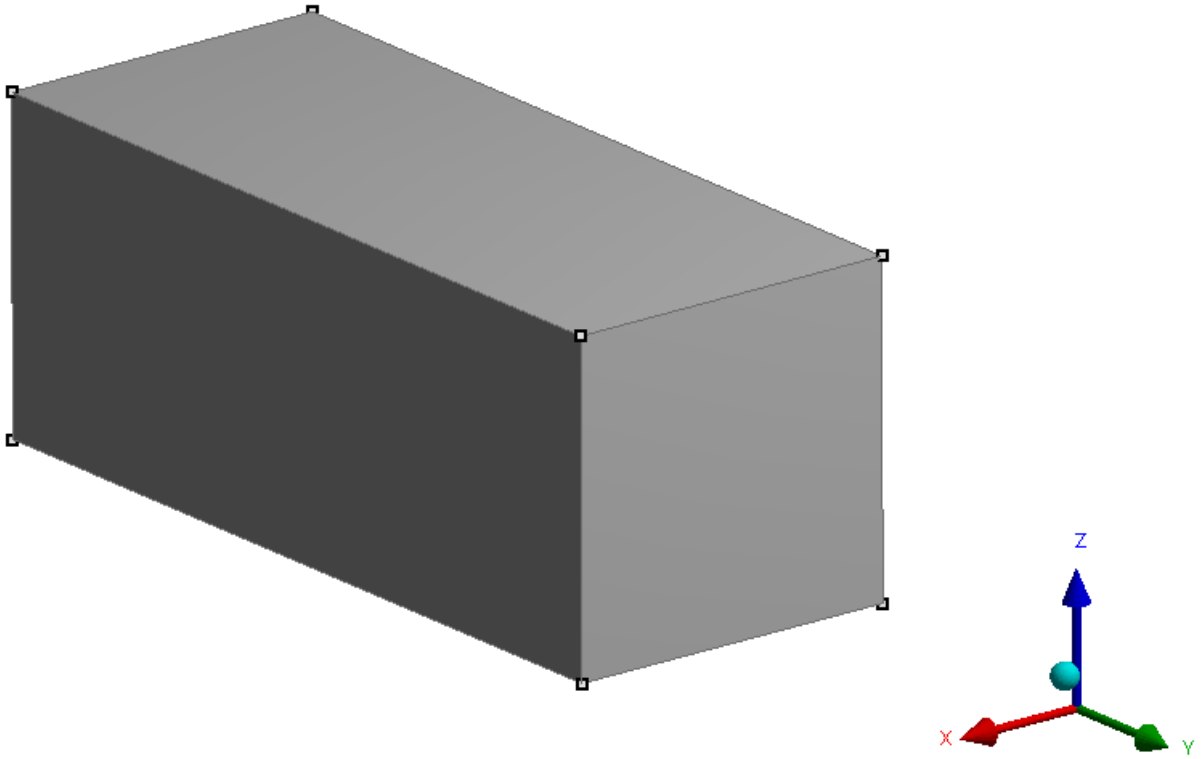

Рис. 13. Модель корпуса компрессометра в Ansys

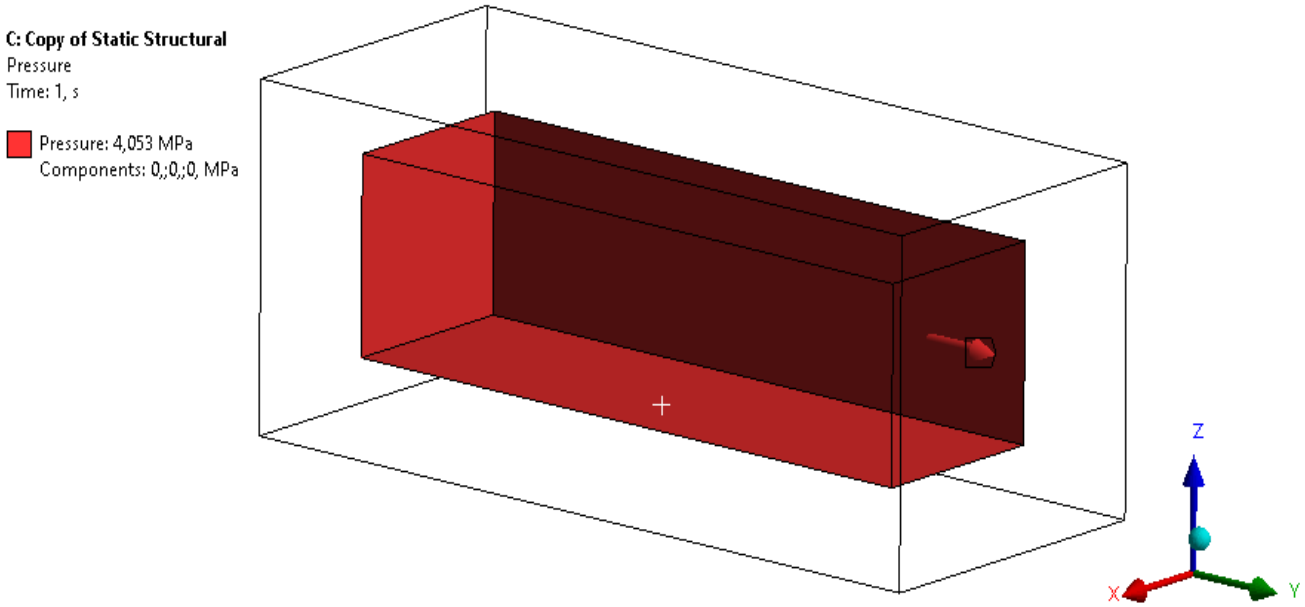

Рис. 14. Приложение давления ко всем внутренним стенкам компрессометра

Верификация сетки

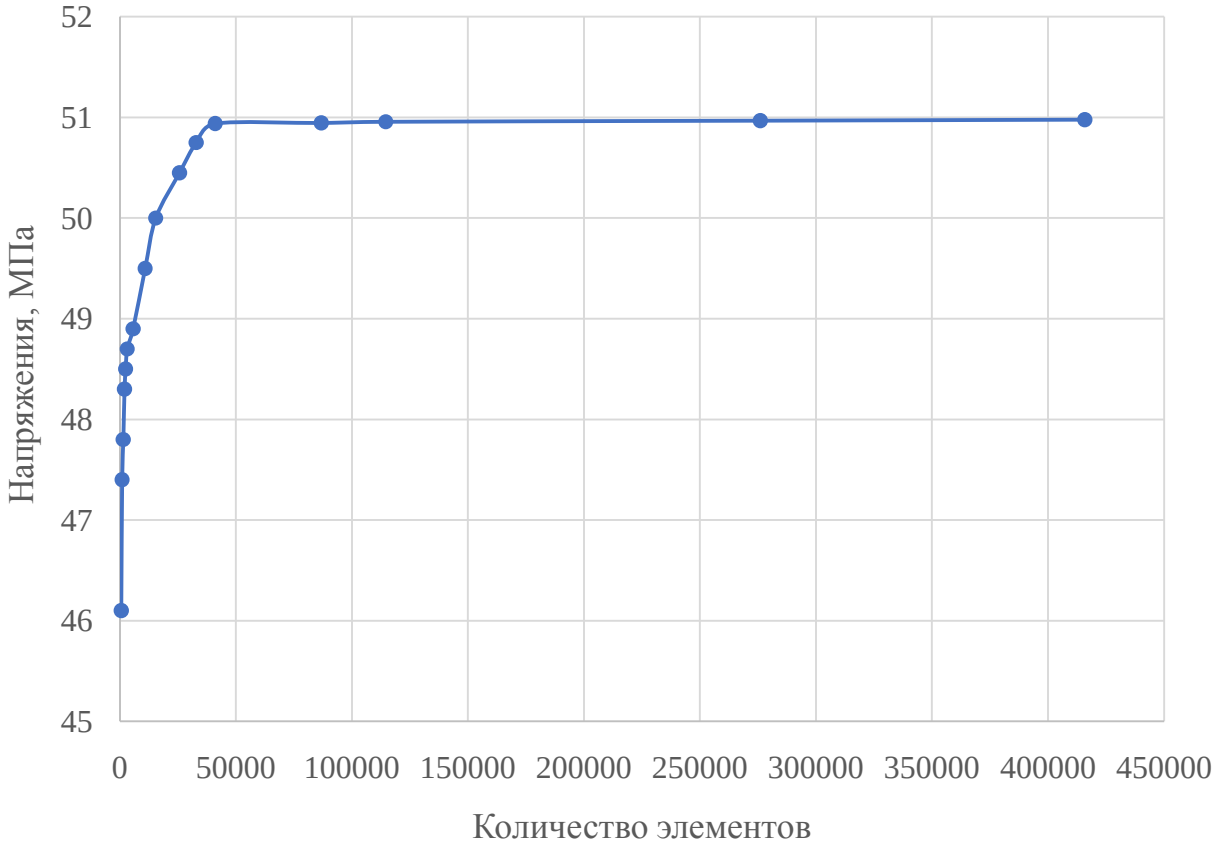

Рис. 15. График верификации

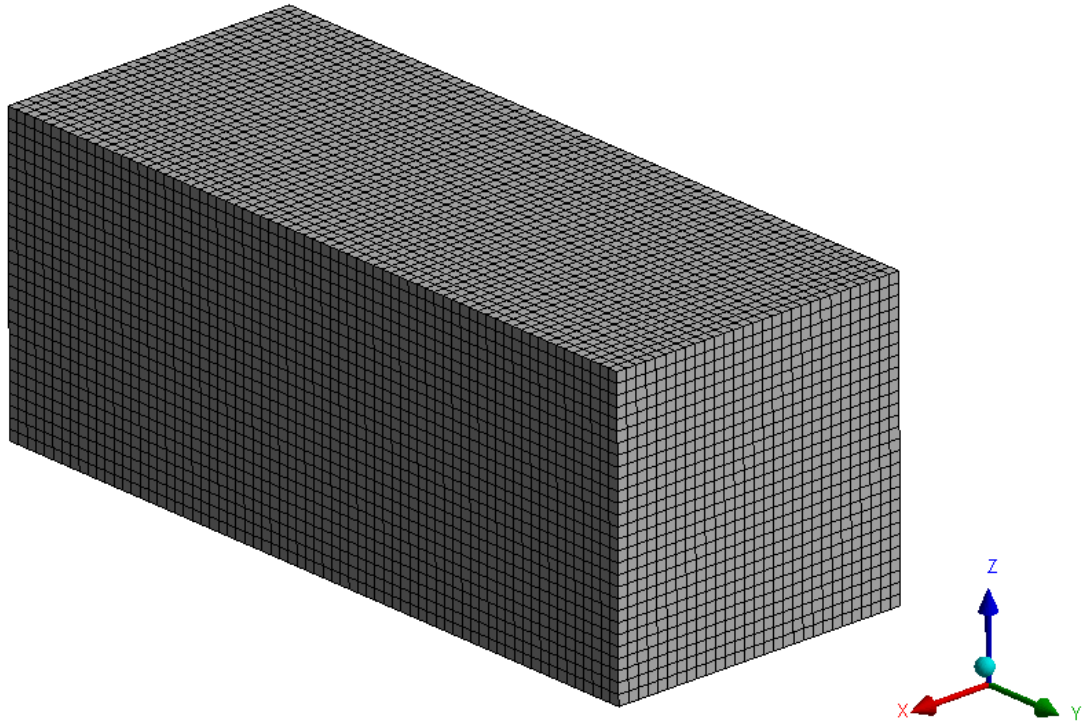

Рис. 16. Конечно-элементная сетка

Стабильные показания напряжений начинается в интервале от 41089-415876 элементов. Исходя из этих данных была выбрана сетка, которая имеет 41089 элементов, при данной сетке размер элемента равен 0,75 мм.

Расчет перемещений и напряжений в Ansys

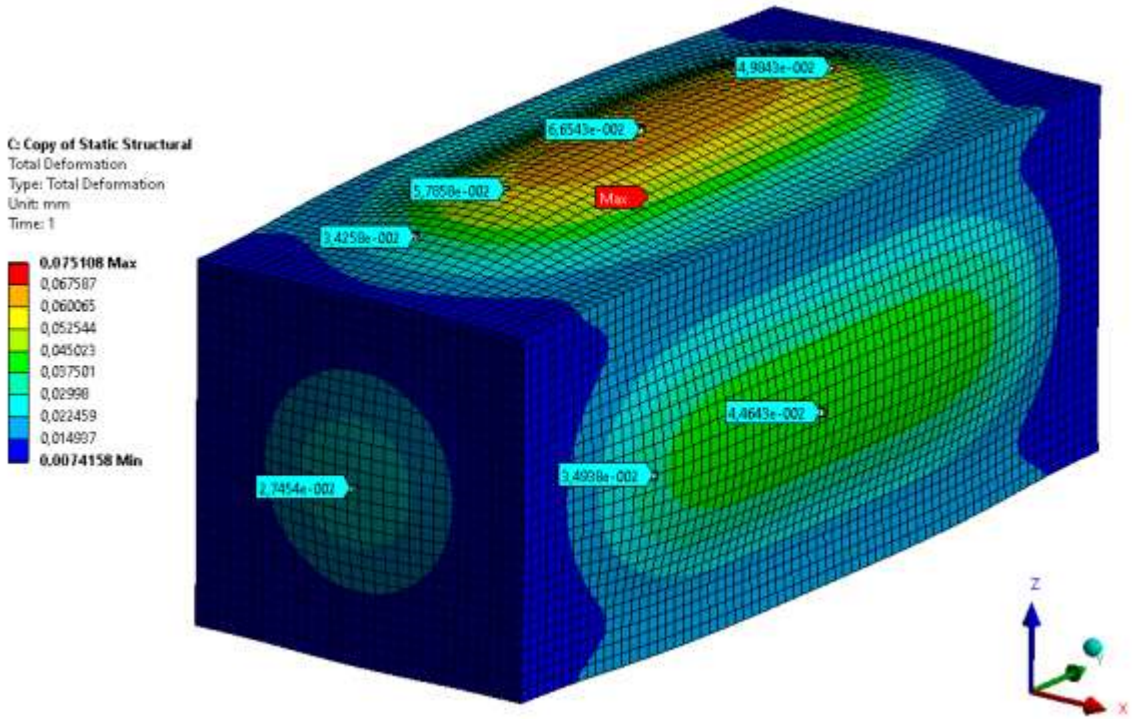

Рис. 17. Перемещения при коэффициенте Пуассона ν= 0,3

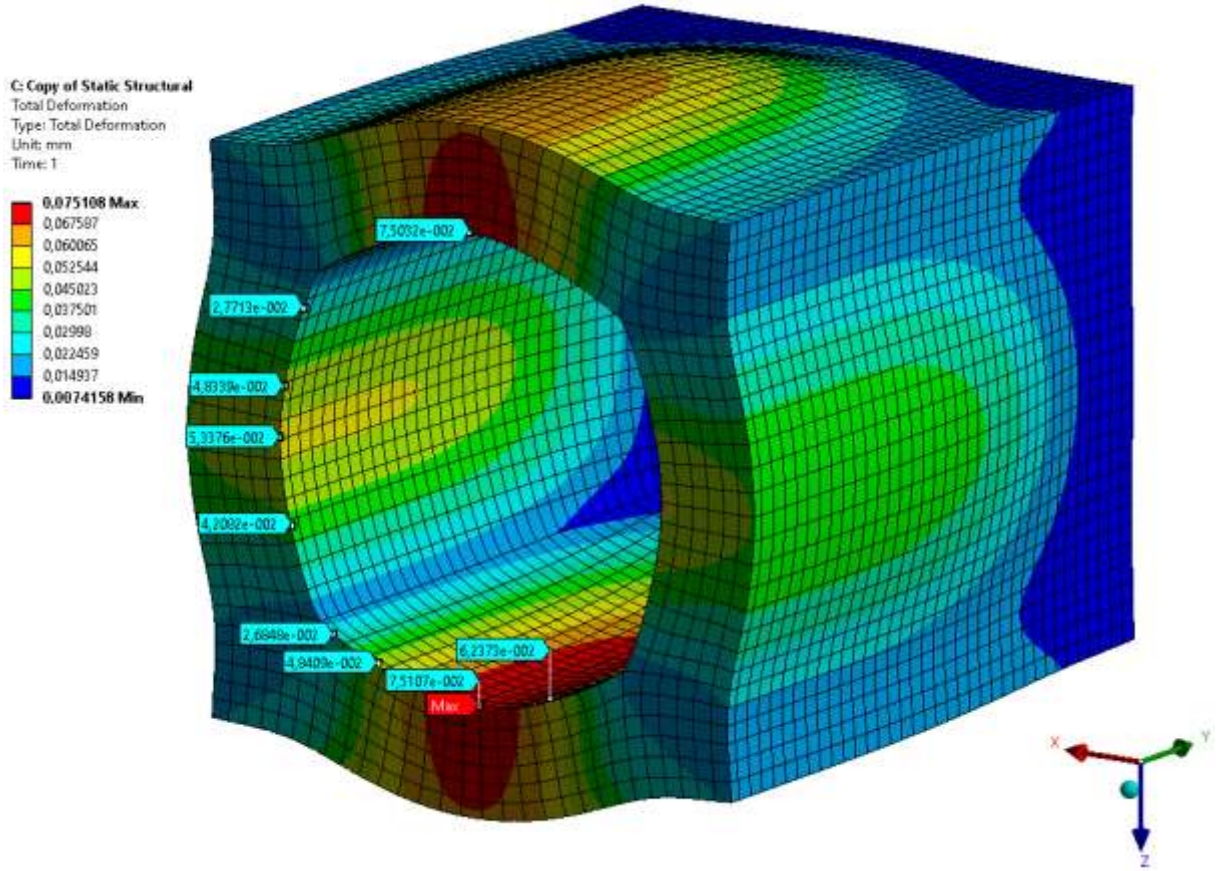

Рис. 18. Перемещения при коэффициенте Пуассона ν= 0,3 в разрезанной модели

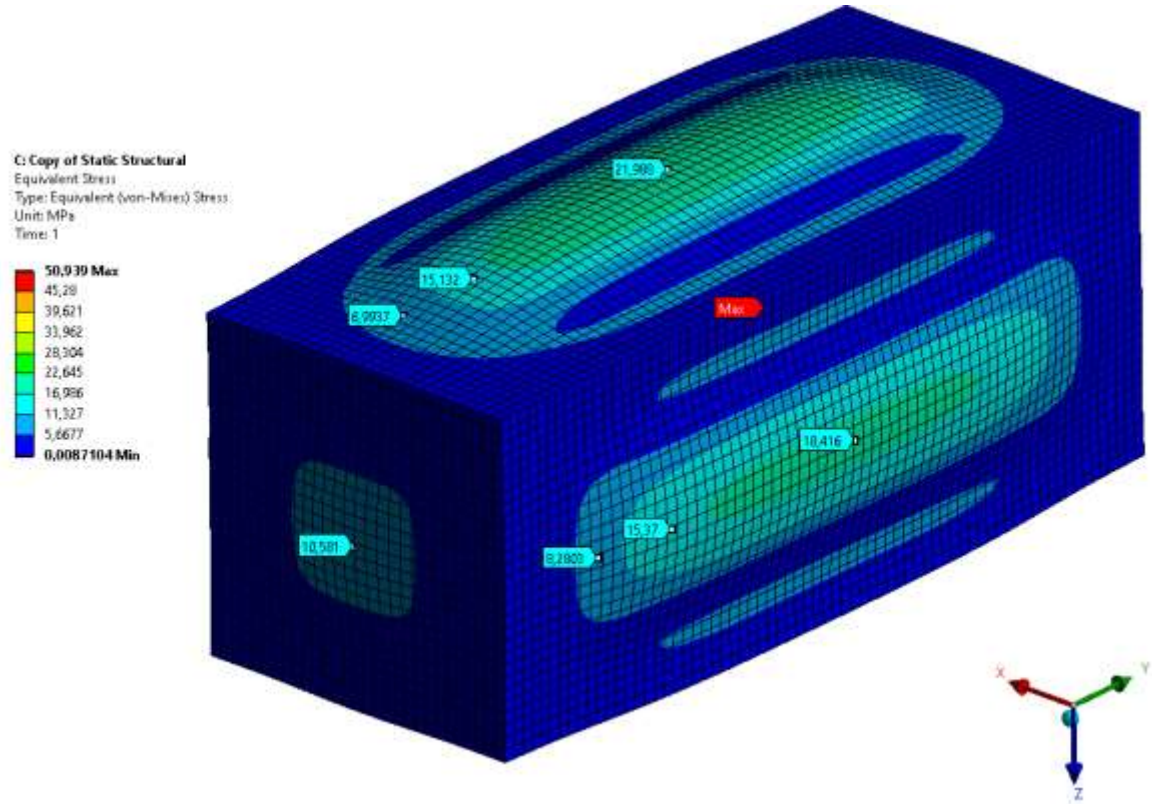

Рис. 19. Напряжения при коэффициенте Пуассона ν= 0,3

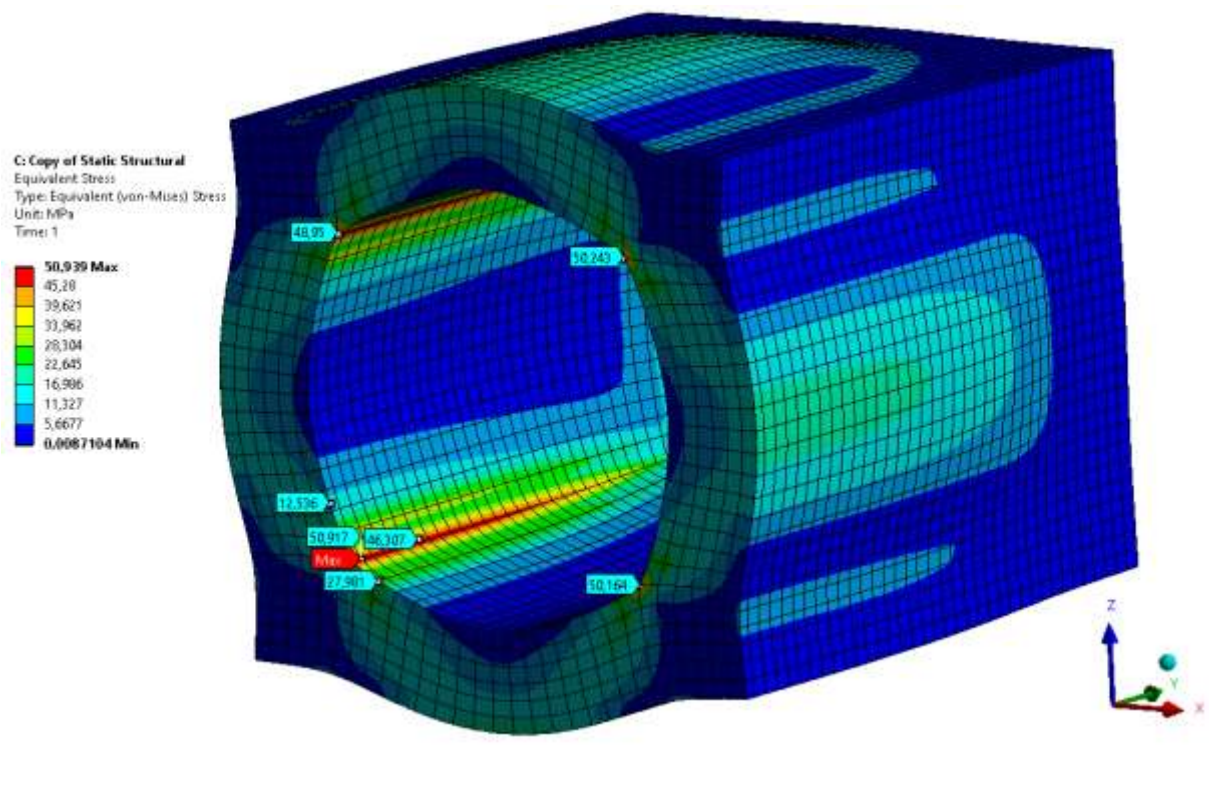

Рис. 20. Перемещения при коэффициенте Пуассона ν= 0,3 в разрезанной модели

Таблица 2 – Зависимость перемещений и напряжений от коэффициента Пуассона

Коэффициент Пуассона	Перемещения, мм	Напряжения, МПа
0,2	0,0773	54,258
0,3	0,0751	50,939
0,4	0,0717	48,445

Заключение

В ходе работы были выполнены следующие задачи:

- экспериментально определен модуль упругости пластика PETG E= 3000МПа;
- экспериментально получено допускаемое напряжение пластика PETG $\sigma_{экв}$=52,23 МПа;
- аналитическим путем получены наибольшие напряжения в корпусе компрессометра;
- получена конечно-элементная модель корпуса компрессометра в программном комплексе ANSYS Workbench и проведена ее верификация;
- определены наибольшие перемещения и напряжения в конечно-элементной модели при различных коэффициентах Пуассона при толщине стенки h=6,0мм.
- аналитически и по конечно-элементной модели определена толщина стенки h=6,0 мм корпуса компрессометра, обеспечивающая его прочность при давлении 40 атмосфер.