

УДК 681.2

Исследование упругого элемента датчика и выбор его оптимальных размеров в рамках поставленной задачи

Коваленко А.О., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информационные Системы и Телекоммуникации»*

Научный руководитель: Буцев А.А., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра "Элементы приборных устройств"*

bauman@bmstu.ru

Начальные условия.

В качестве упругого элемента выберем мембрану с жестким центром, заделанную по краям и нагруженную давлением.

Для упрощения расчетов анализ мембраны будет проводится при постоянном заданном давлении вдвое меньшим чем максимально допустимое.

Начальные условия приведены в таблице 1.

Таблица 1

Начальные условия

Минимальное давление P , Па.	Максимально допустимое давление P_{max} , Па.	Материал.
$1 \cdot 10^6$	$100 \cdot 10^6$	Сталь 36НХТЮ

Материалом упругого элемента послужит сталь 36НХТЮ. Это прецизионный сплав с заданными свойствами упругости. Применяется для упругих чувствительных элементов приборов, работающих при температуре до 250 С°. В таблице 2 приведены некоторые характеристики сплава при температуре 20°С.

Таблица 2

Свойства 36НХТЮ при температуре 20°С

Сортамент	$\sigma_{пред}$	E
Лента, ГОСТ 14117-85	950 – 1350 МПа.	130 ГПа.

Где $\sigma_{пред}$ - предел кратковременной прочности, а E - модуль упругости первого рода.

Исследование.

1. Зависимости.

Для начала приведем несколько зависимостей, отталкиваясь от которых, будут построены 3D-модели мембран для исследования в SolidWorks.

$$P_{max} = 1,5 \cdot \sigma_{пред} \cdot \frac{h^2}{R_0^2} \quad (1).$$

Данное уравнение выражает максимально допустимое давление, которым можно нагрузить мембрану, в зависимости от ее характеристик.

Так как P_{max} и $\sigma_{пред}$ есть в начальных условиях, есть смысл выразить толщину мембраны от ее радиуса из выражения (1), что поможет в дальнейшем выборе размеров упругого элемента для построения моделей SolidWorks.

$$h = \sqrt{\frac{P_{max}}{1,5 \cdot \sigma_{пред}}} \cdot R_0 \quad (2).$$

При $P_{max}=100$ МПа и $\sigma_{пред}=950$ МПа график данной зависимости отображен на рис.

1:

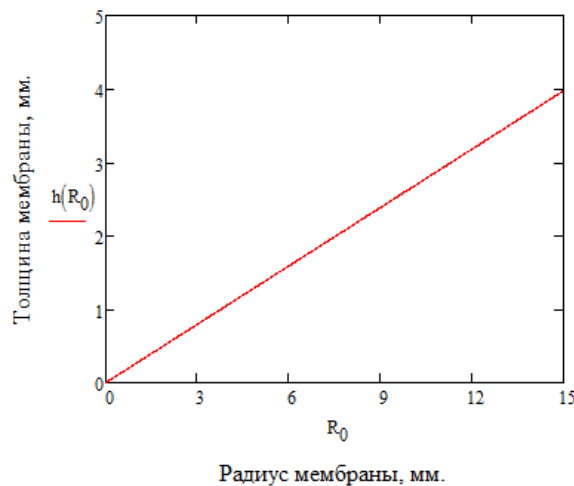


Рис. 1. График зависимости при $P_{max}=100$ МПа и $\sigma_{пред}=950$ МПа

Вывод для данного графика очень прост: чем больший радиус мы возьмем, тем большую толщину должна иметь мембрана, чтобы выдержать заданное P_{max} .

Зависимость приведенная ниже выражает перемещение жесткого центра мембраны.

$$\varepsilon = A_p \cdot \frac{P \cdot R_0^4}{E \cdot h^3} \quad (3)$$

, где $A_p = \frac{3 \cdot [1 - \mu^2] \cdot [c^4 - 1 - 4 \cdot c^2 \cdot \ln(c)]}{16 \cdot c^4}$ коэффициент, зависящий от отношения радиуса мембраны к радиусу ее жесткого центра $c = \frac{R_0}{r}$, μ – коэффициент Пуассона.

Подставим выражение (2) в выражение (3) получим зависимость деформации центра мембраны от ее радиуса:

$$\varepsilon = \frac{3 \cdot [1 - \mu^2] \cdot [c^4 - 1 - 4 \cdot c^2 \cdot \ln(c)]}{16 \cdot c^4} \cdot \frac{P \cdot R_0}{\sqrt{\frac{3}{2} \frac{P_{max}}{1,5 \cdot \sigma_{пред}}} \cdot E} \quad (4).$$

Для упрощения, мы вместо диапазона давлений берем постоянное номинальное давление $P = 50$ МПа (при $P_{max} = 100$ МПа, $\sigma_{пред} = 950$ МПа и $E = 130$ ГПа), коэффициент Пуассона $\mu = 0.3$ (для стали), а $r = 0,4 \cdot R_0$ мм. Подставив данные значения в выражение (4), получим график, изображенный на рисунке 2.

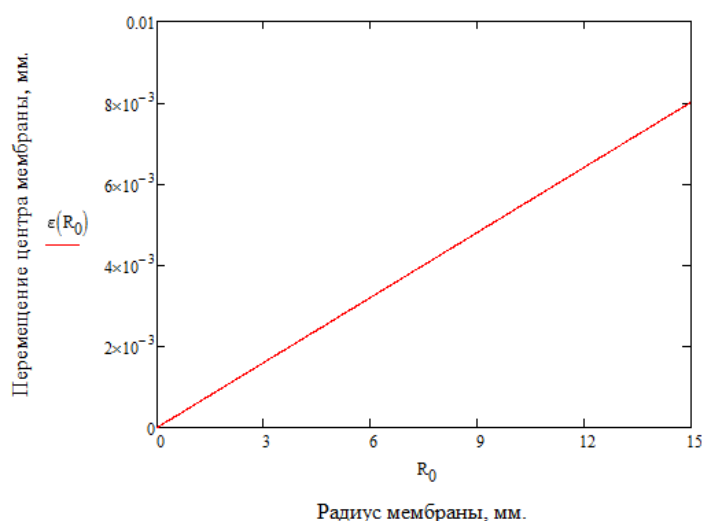


Рис. 2.

Данный график показывает максимальное перемещение центра мембраны, соответствующее конкретному значению радиуса мембраны при давлении $P = 50$ МПа.

Вывод из этого графика можно сделать следующий: чем больше радиус мембраны, тем больше ее чувствительность.

Под чувствительностью понимают отношение перемещения ε , в направлении действующей нагрузки P , к самой нагрузке.

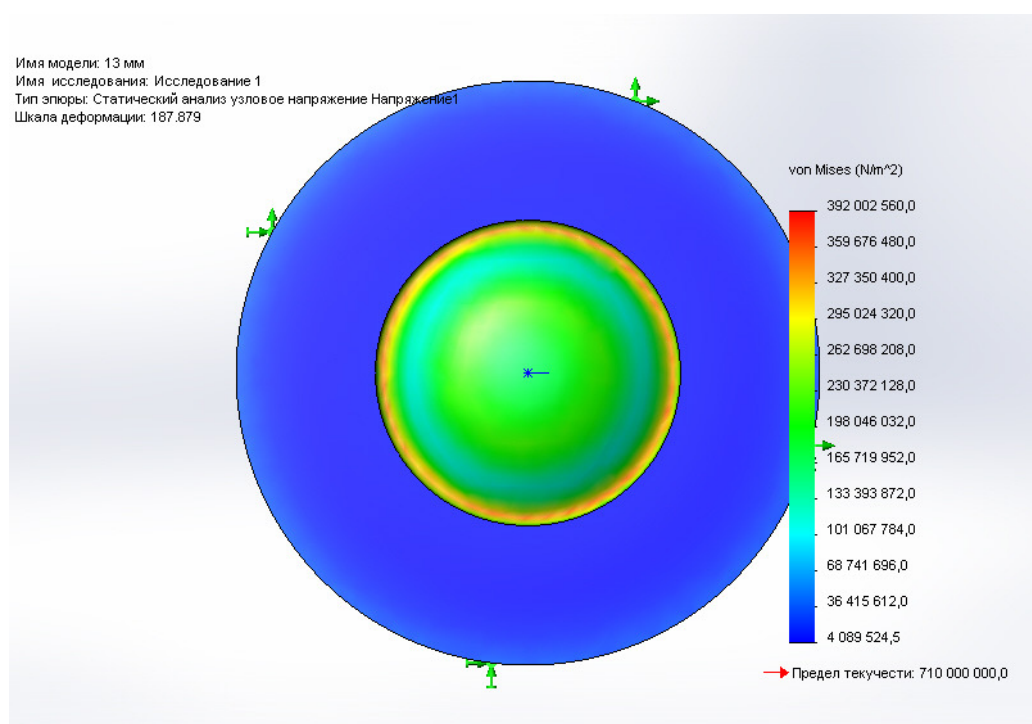
Выбор размеров и результаты SolidWorks.

Для простоты изготовления упругого элемента выберем три значения радиуса R_0 больше 10 мм, а именно 11, 13 и 15 мм. Характеристики для каждого представлены в таблице 3.

Характеристики для разных значений радиуса

№	Радиус R_0 , мм.	Радиус жесткого центра r , мм.	Толщина h , мм.	Максимальное перемещение центра ε , мм.	Чувствительность, мм/Па.
1	11	4.5	2,9	$5,874 \cdot 10^{-3}$	$1,175 \cdot 10^{-10}$
2	13	5	3,4	$6,942 \cdot 10^{-3}$	$1,388 \cdot 10^{-10}$
3	15	6	4	$8,01 \cdot 10^{-3}$	$1,602 \cdot 10^{-10}$

Далее будут представлены результаты исследования мембраны трех размеров в SolidWorks. На рис. 3, 4 и 5 изображен вид снизу.

Рис. 3. Радиус мембраны $R_0 = 11$ мм

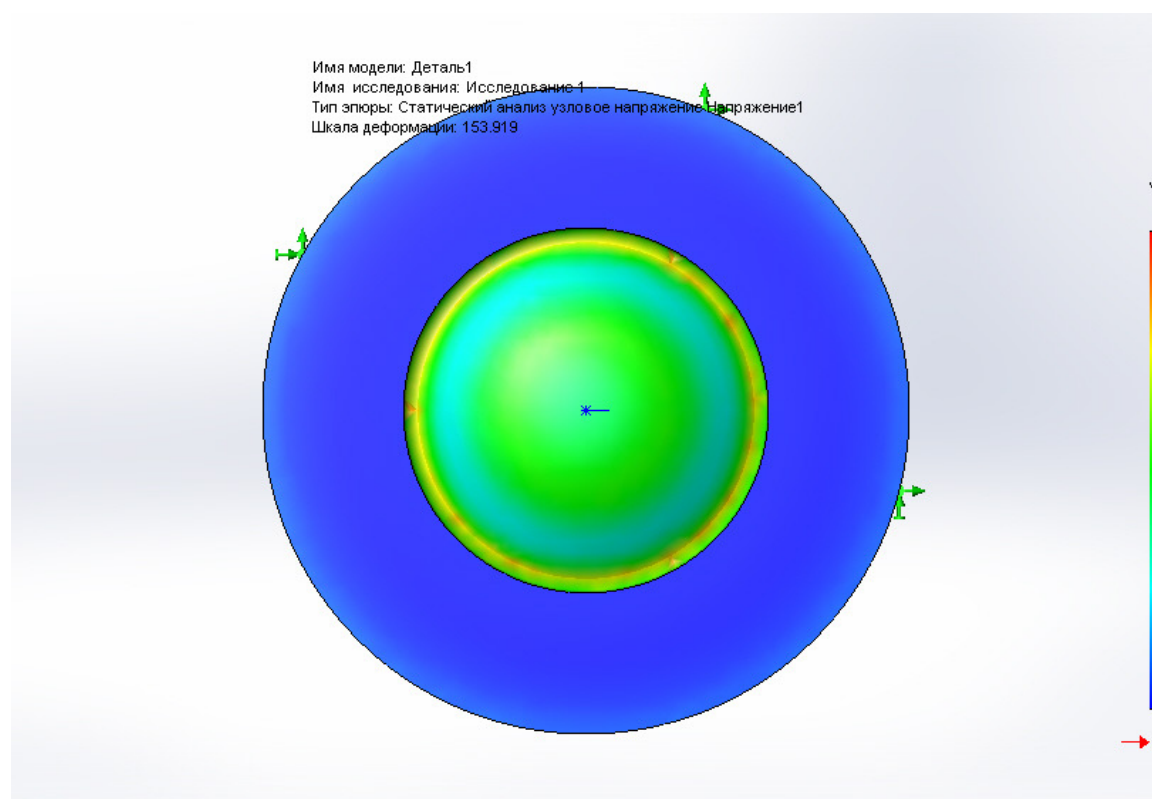


Рис. 4. Радиус мембраны $R_0 = 13\text{мм}$

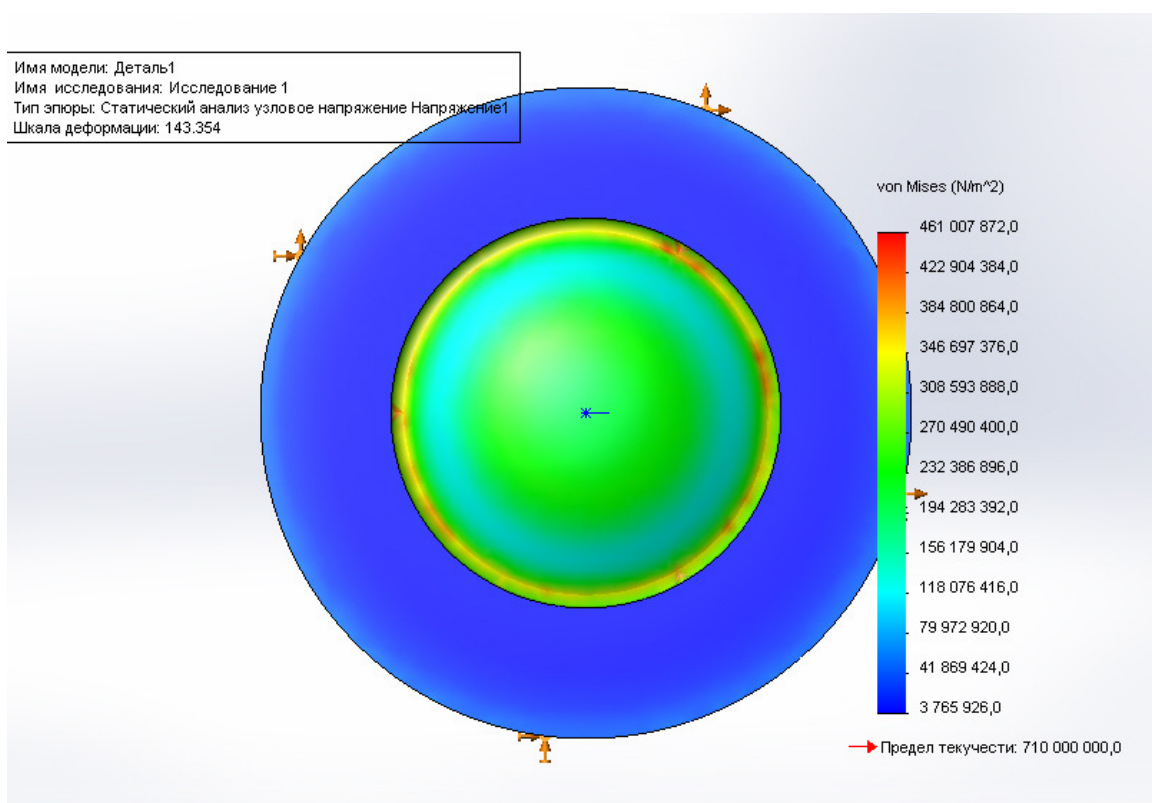


Рис. 5. Радиус мембраны $R_0 = 15\text{мм}$

Из данных результатов видно, что во всех случаях в центре мембраны образуется одинаковое поле равных напряжений, то есть принципиальных отличий нет. Но есть одна особенность, а именно различные запасы прочности, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

Коэффициенты запаса прочности

№	k
1	1,4
2	1,7
3	2

Выбор:

- Так как датчик должен выдерживать большие давления, коэффициент запаса прочности должен быть достаточно большим. Наибольший он у мембраны с радиусом 15 мм.
- Чувствительность упругого элемента также немаловажна. Наибольшая она опять же у мембраны с радиусом 15 мм.
- Чуть больший радиус увеличит точность измерений и удобство размещения тензорезистора.

Исходя из вышесказанного делаем выбор в пользу мембраны с радиусом 15 мм.

Исследование в SolidWorks корпуса датчика с оптимизированным упругим элементом.

Ниже приведено более детальное изображение исследования в SolidWorks детали корпуса датчика с использованием мембраны с радиусом 15 мм. На рис. 6 представлен изометрический вид корпуса.

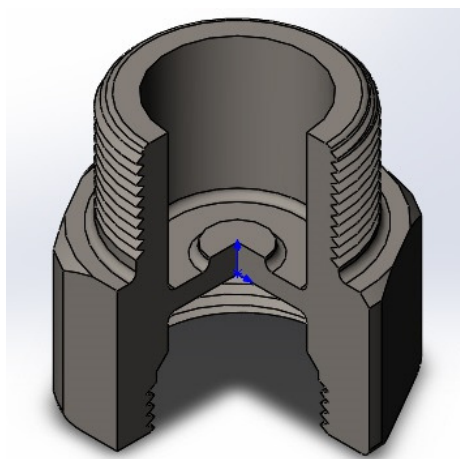


Рис. 6. Деталь корпуса датчика

Исследование проводилось при давлении $P = 50$ МПа, подаваемым в верхнюю часть детали. Результаты представлены на рис. 7, 8 и 9 (деформация преувеличена для наглядности).

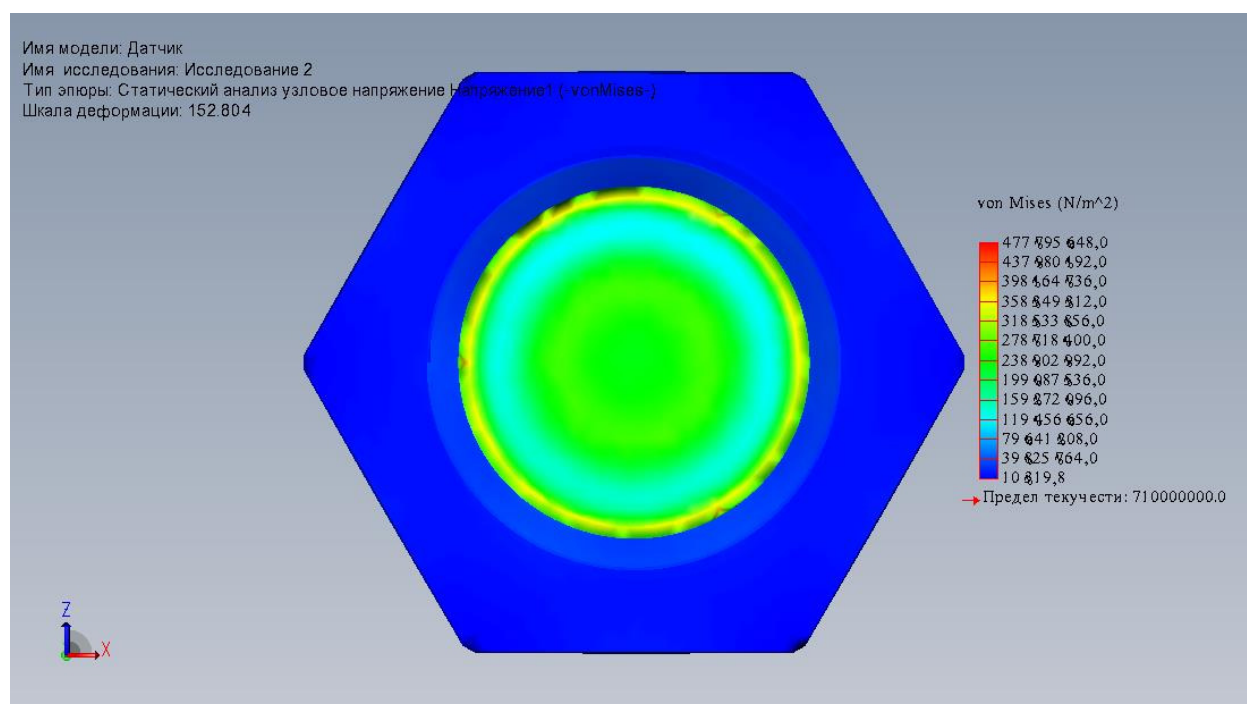


Рис. 7. Вид снизу

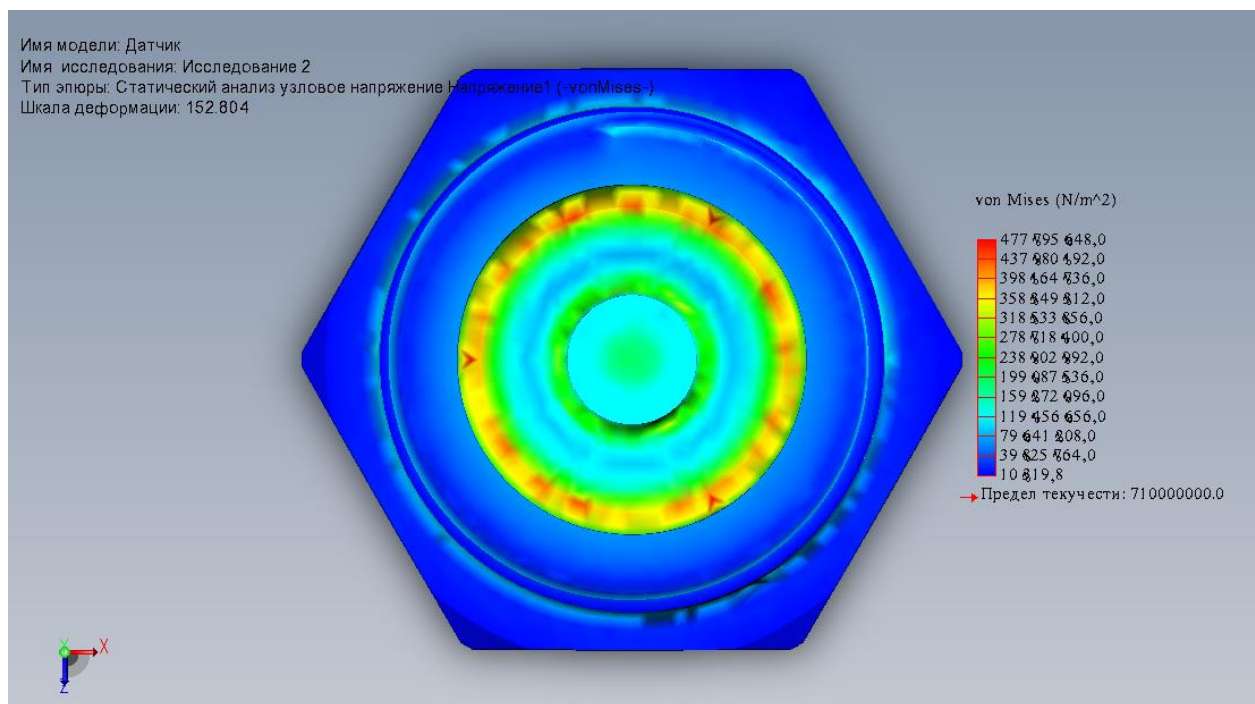


Рис. 8. Вид сверху

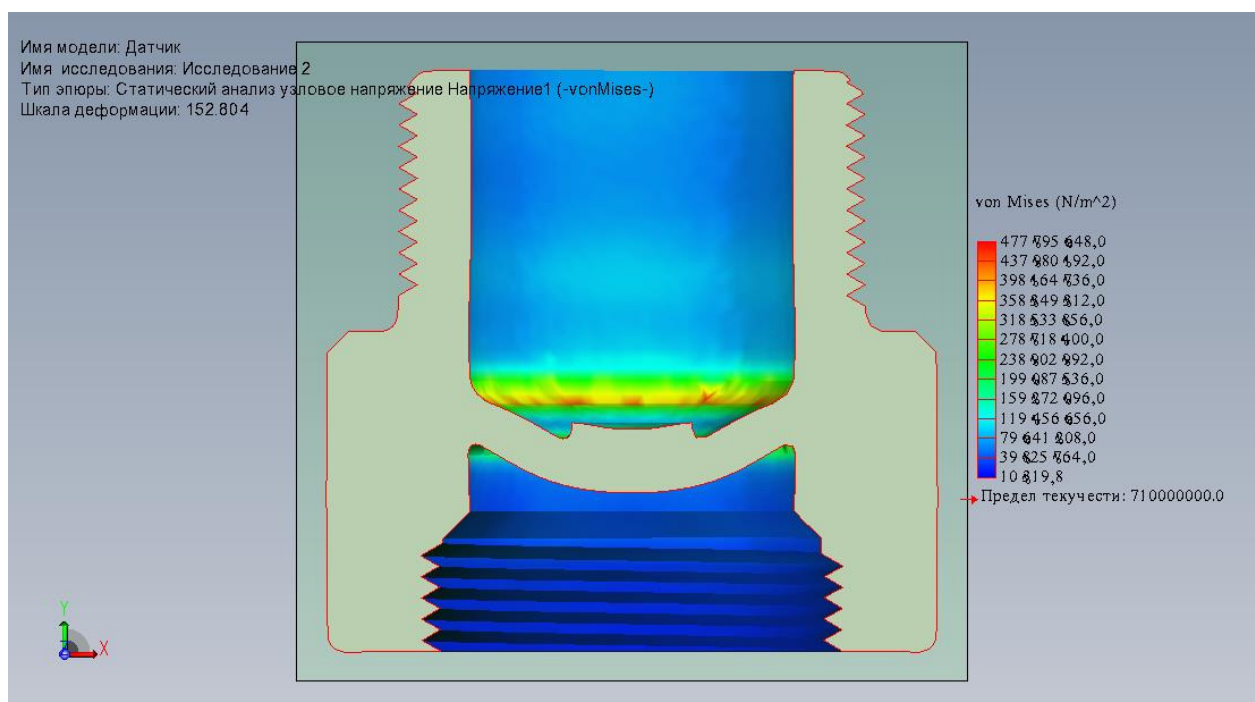


Рис. 9. Вид сбоку

Запас прочности детали с данной мембраной $k = 2,3$. Ее характеристики полностью удовлетворяют нашим требованиям.

Выходная характеристика.

Измерение механических деформаций мембраны будет производится при помощи тензорезистора (мембранной розетки) с номинальным сопротивлением $R = 200$ Ом и чувствительностью $K \approx 2,1$ (рис. 10).



Рис. 10. Тензорезистор КФ5М-10-200

Возьмем уравнение преобразования относительной деформации в относительное изменение сопротивления чувствительного элемента.

$$\frac{\Delta R}{R} = e^{K \cdot \varepsilon(P)} - 1 \quad (5),$$

где ΔR – изменение сопротивления тензорезистора, а $\varepsilon(P)$ – зависимость перемещения центра мембраны от действующего давления.

Подставив характеристики мембраны с радиусом 15 мм в зависимость (4), получим $\varepsilon(P)$, откуда получаем:

$$\Delta R = 200 \times (e^{3.204 \cdot 10^{-13} \cdot P} - 1) \quad (6).$$

График данной зависимости в диапазоне от 20 МПа до 80 МПа представлен на рис. 11.

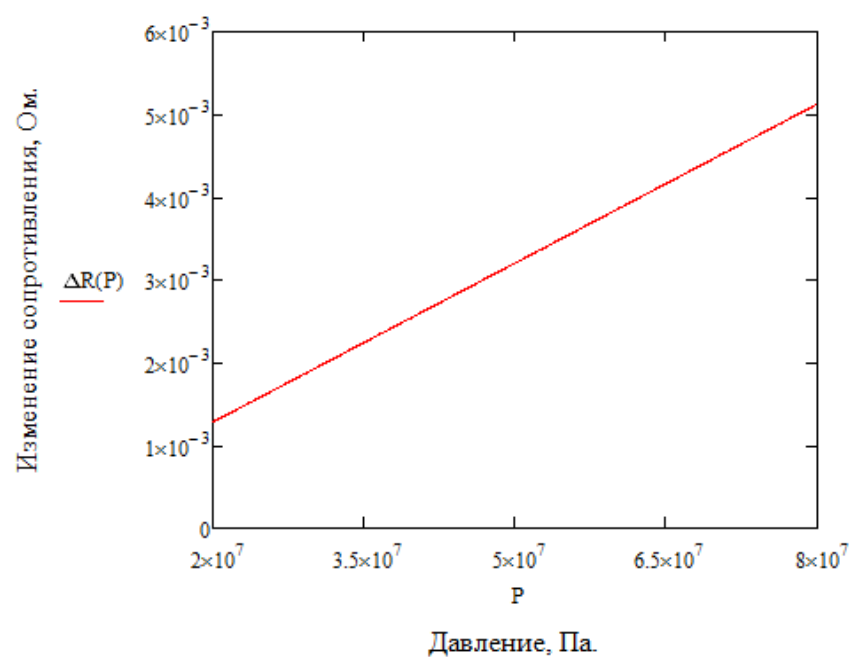


Рис. 11. Выходная характеристика

Список литературы

1. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. М.: Машиностроение, 1980. 326 с.
2. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Е.П. Осадчего. М.: Машиностроение, 1979. 480 с.
3. Клокова Н.П. Тензорезисторы: теория, методика расчета, разработки. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.