



«МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПЭТ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Докладчик, ст.: Гольдберг В.А.

Руководитель: Новокшенов А.Д.

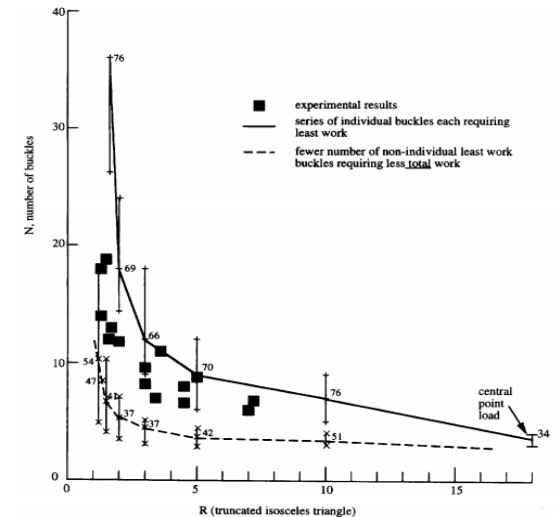
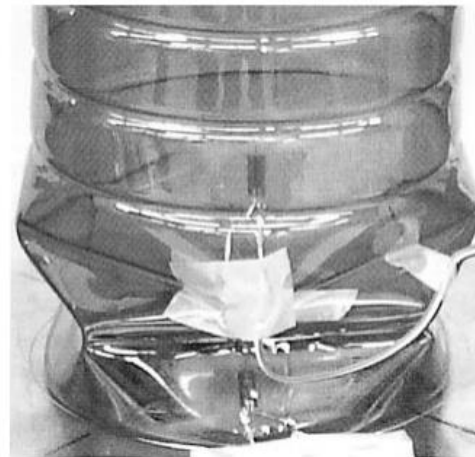
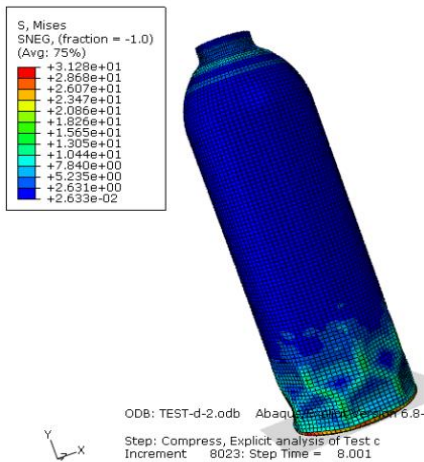
Соруководитель: асп. Керестень И.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
29 июня 2018

Обзор литературы, введение

ПЭТ (или ПЭТФ, полиэтилентерефталат) – это термопластичный полимер, являющийся самым распространенным среди полиэфиров.

Цель работы – рационализация формы пустой бутылки для повышения жесткости.

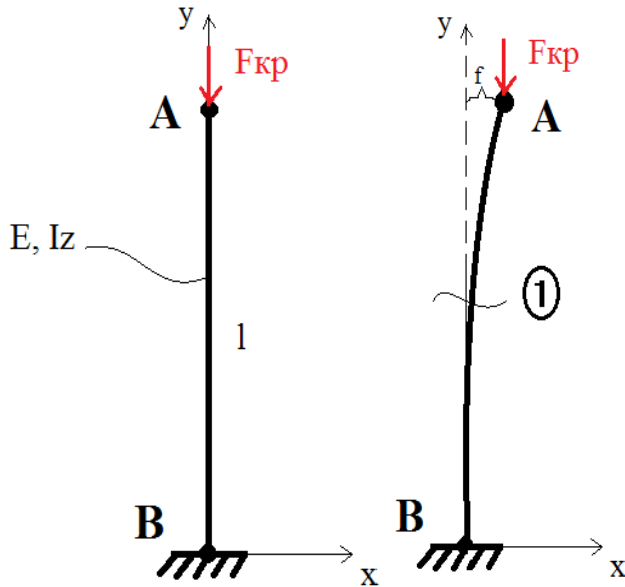


«Structural Optimization and Lightweight Design of PET Bottle Based on ABAQUS» Hu Qingchun, Sha Wenjian, Li Yanhui, Wang Yongsheng

«Numerical and experimental investigation of the deformational behaviour of plastic containers» D. Karalekas, D. Rapti, G. Papakaliatakis, E. Tsartolia

«The plastic bending of clamped polygonal plates with an application to radial buckling in milk bottle tops» A.G. Atkins, W. Johnson

Аналитическое и численное решение модельной задачи по потере устойчивости



Рассматривается идеально прямой стержень.

$$y'' + \alpha^2 * y = \alpha^2 * f;$$

Решение: $y = \alpha * C_1 * \sin \alpha y + \alpha * C_2 * \cos \alpha y + f;$

Подставляем граничные условия:

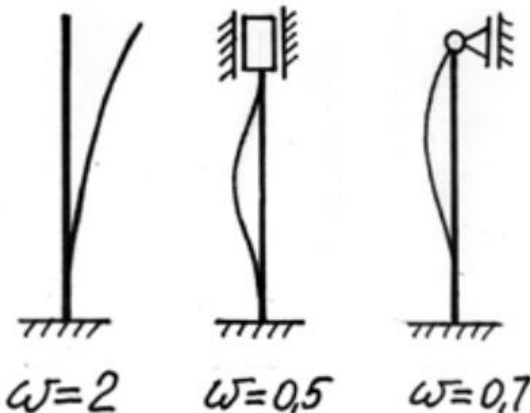
$$\begin{cases} y = 0, x = 0: C_1 * 0 + C_2 * 1 + f = 0 \\ y = l, x' = 0: \alpha * C_1 * 1 - C_2 * 0 = 0 \\ y = l, x = f: C_1 * \sin \alpha l + C_2 * \cos \alpha l + f = l \end{cases} .$$

Чтобы получить нетривиальные решения:

$$\det = 0 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha l & \cos \alpha l & 0 \end{vmatrix}$$

В итоге получаем формулу Эйлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 * E * J_{min}}{(\mu * l)^2}$$

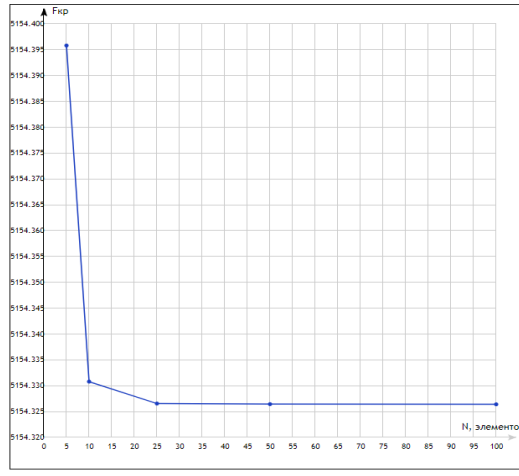
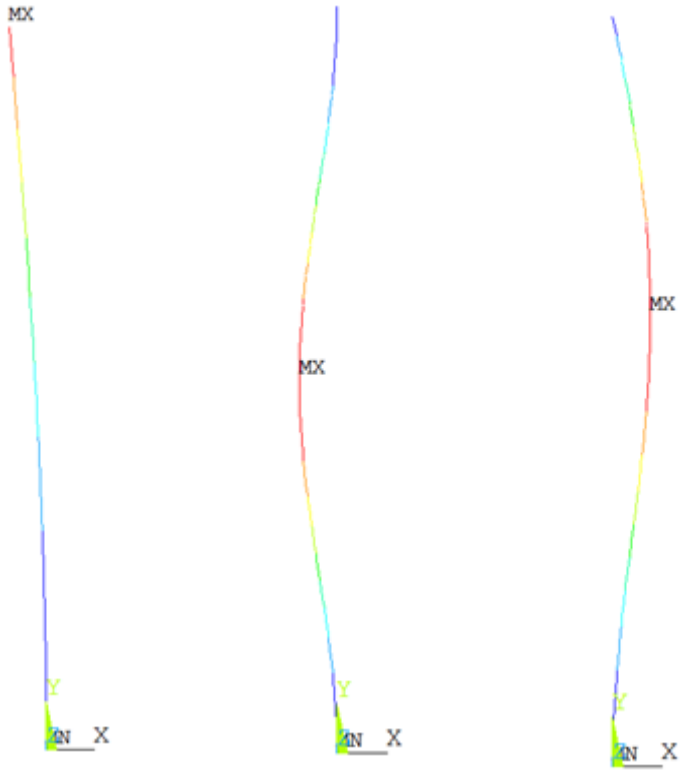


Аналитическое и численное решение модельных задач потери устойчивости

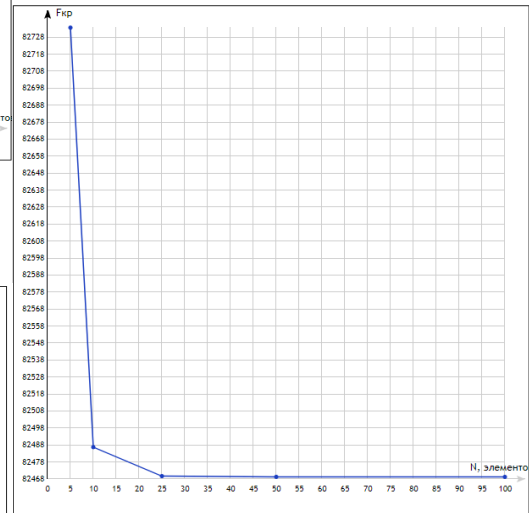
1 случай (жесткая заделка и свободный край: $F_y=-1, F_x=0, M_z=0$)

2 случай (жесткая заделка и скользящая заделка: $F_y=-1, F_x=0, Rot_z=0$)

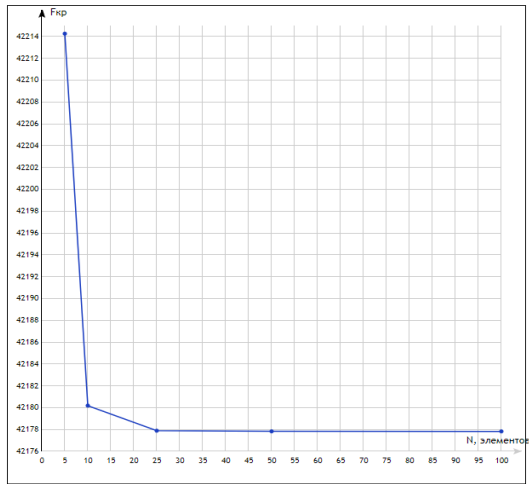
3 случай (жесткая заделка и неподвижная шарнирная опора: $F_y=-1, F_x=0, U_x=0$)



1 случай

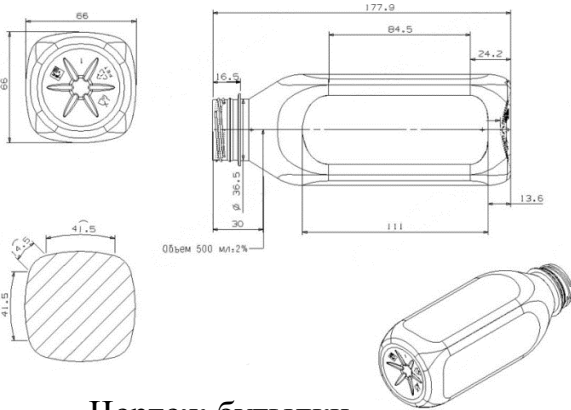


2 случай

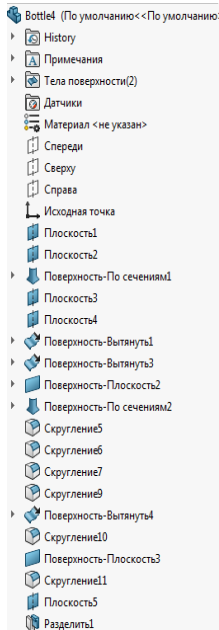


3 случай

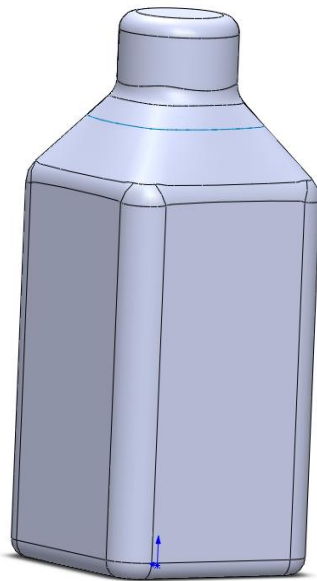
Численное моделирование потери устойчивости исходного дизайна пластиковой бутылки.



Чертеж бутылки



Древо



Модель бутылки

Дно жестко закреплено, сверху прикладывается перемещение.

Материал ПЭТ с модулем Юнга $E=2.5 \cdot 10^9$ Па, коэффициентом Пуассона $\nu=0.4$. Толщина стенок горлышка $H=0.001$ м, толщина бутылки $h=0.0003$ м, внешний радиус $r=0.035$ м, длина $l=0.155$ м, площадь поперечного сечения $S=3.29 \cdot 10^{-5}$ м².



Схема постановки задачи

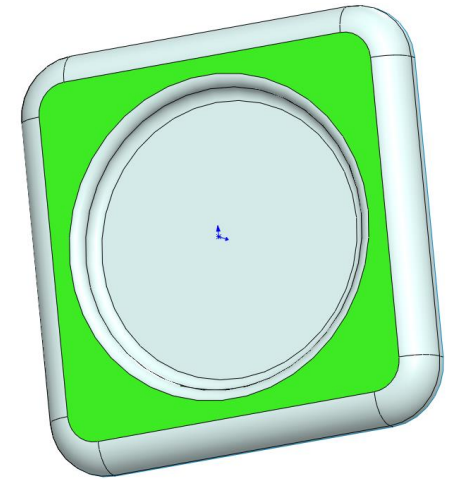
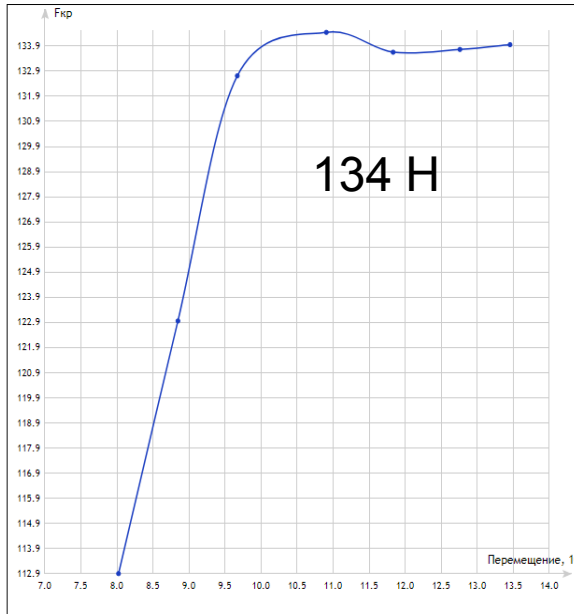
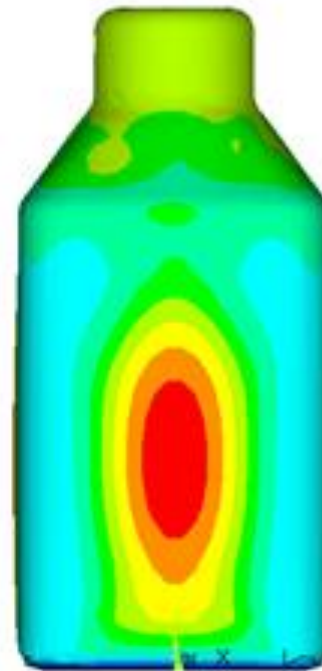


Схема заделки
донышка

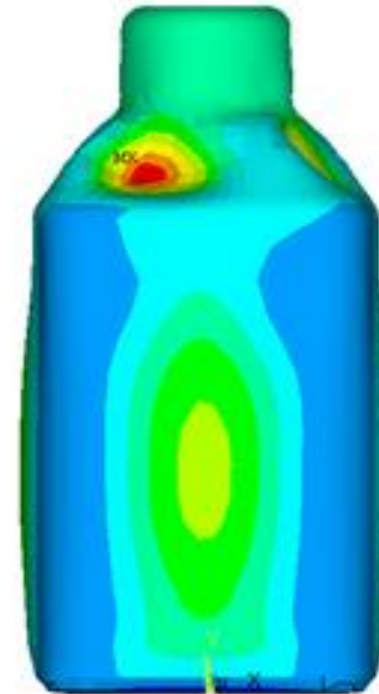
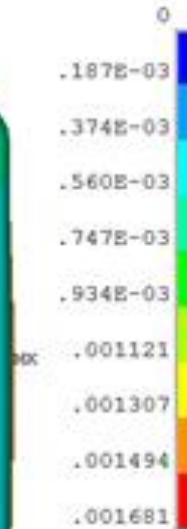
Численное моделирование потери устойчивости исходного дизайна пластиковой бутылки. Вариант без линзы.



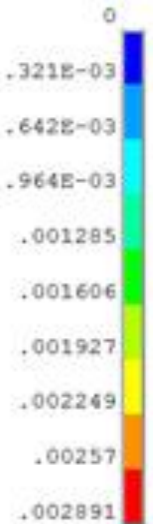
Зависимость критической силы от приложенного перемещения



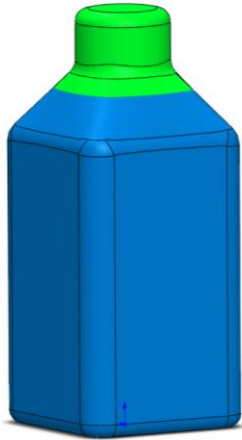
Распределение полных перемещений до потери устойчивости



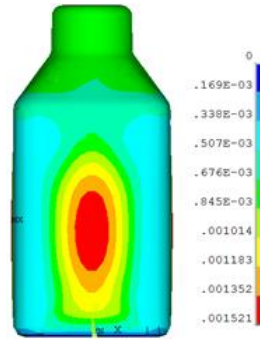
Распределение полных перемещений после потери устойчивости



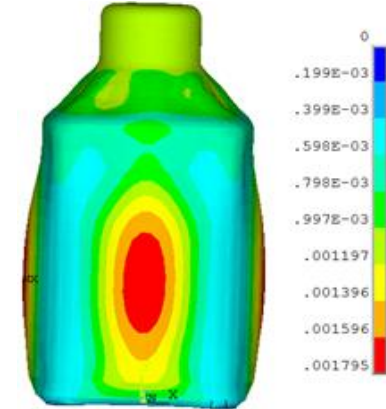
Численное моделирование потери устойчивости исходного дизайна пластиковой бутылки. Вариант с линзой.



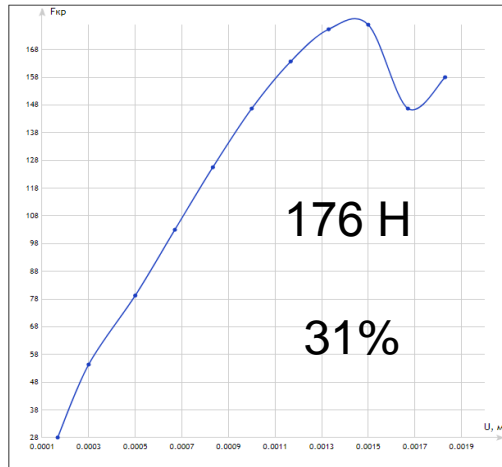
Распределение толщин



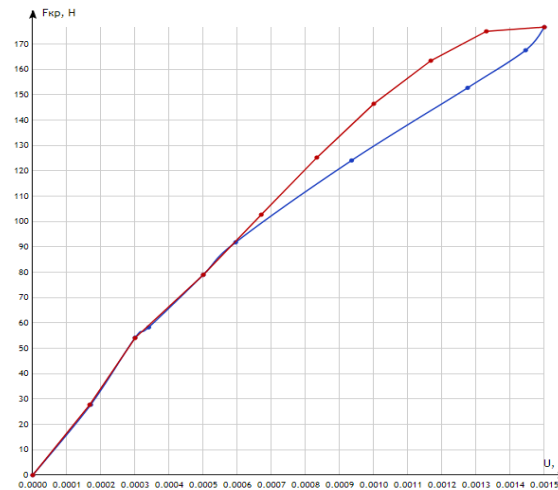
Распределение полных перемещений до потери устойчивости



Распределение полных перемещений после потери устойчивости



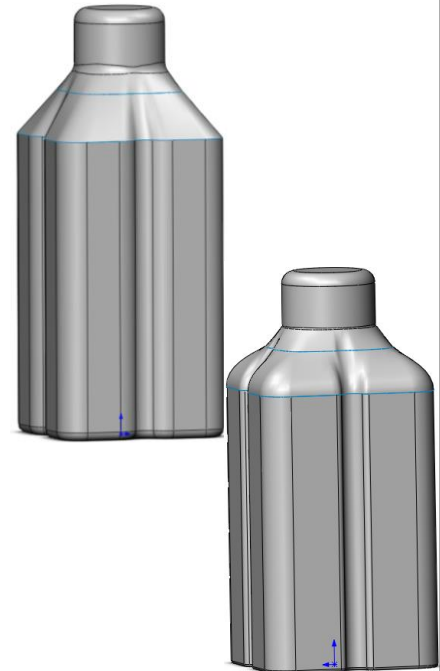
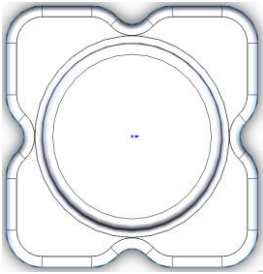
Зависимость критической силы от приложенного перемещения



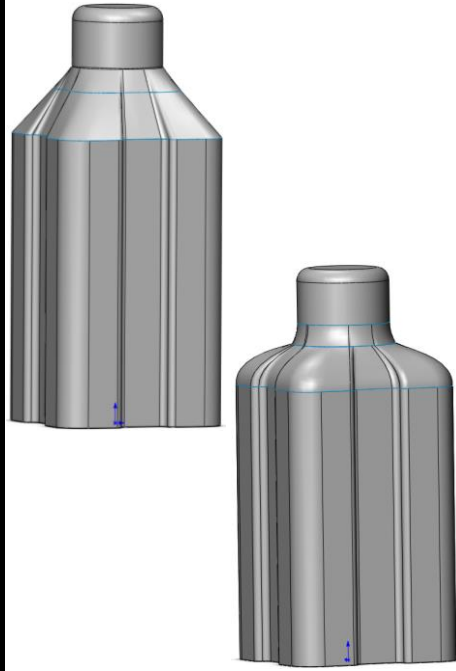
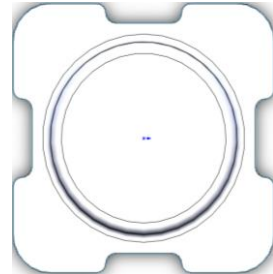
Петля Гистерезиса

Численная рационализация формы бутылки для повышения критической силы потери устойчивости / жесткости.

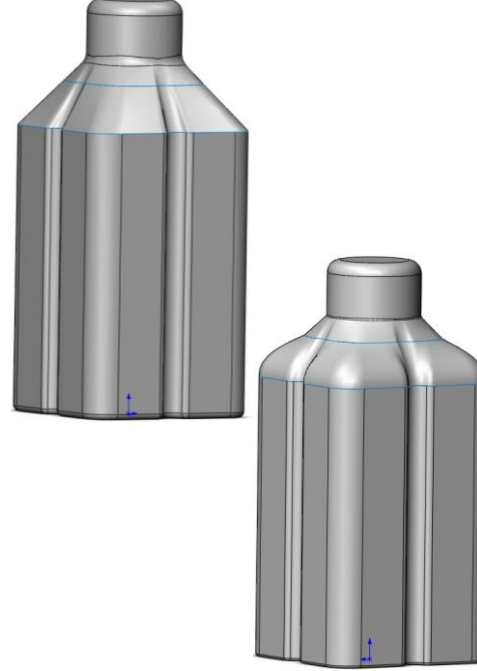
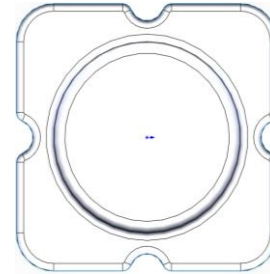
1 случай. $D=5$ мм, $K=10$ мм.



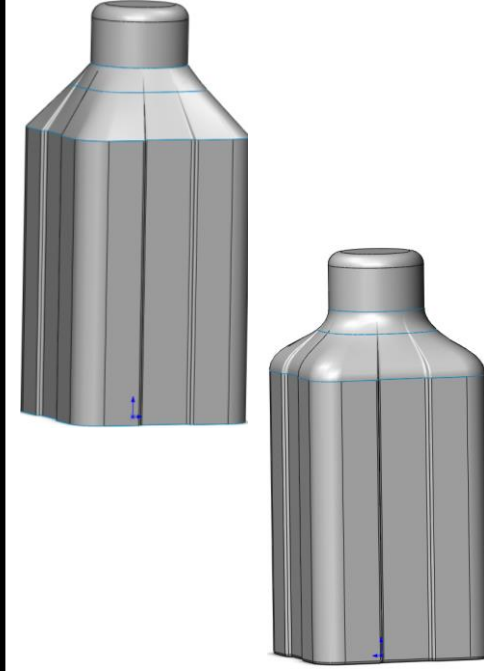
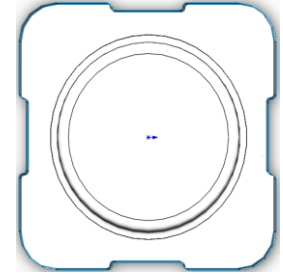
2 случай. $D=5$ мм, $K=20$ мм.



3 случай. $D=5$ мм, $K=4$ мм.

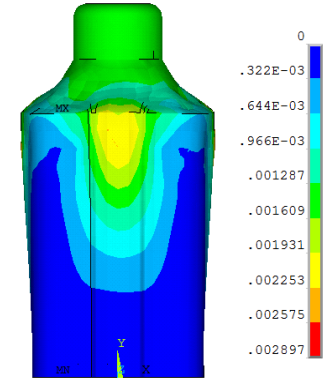
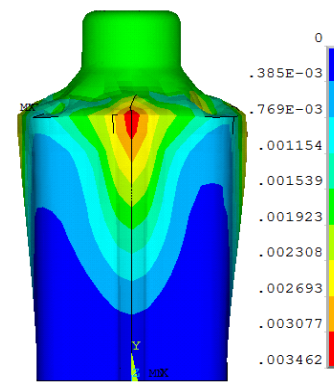
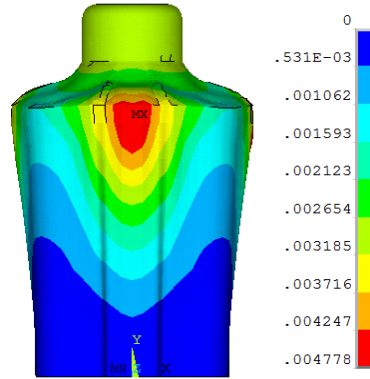
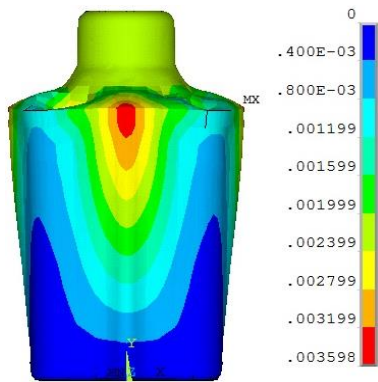


4 случай. $D=2$ мм, $K=20$ мм.

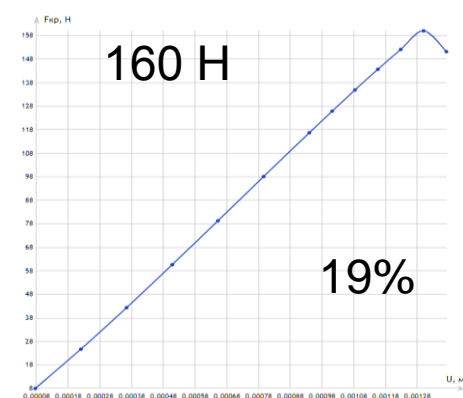
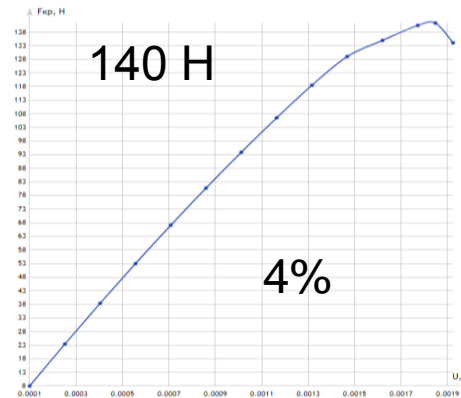
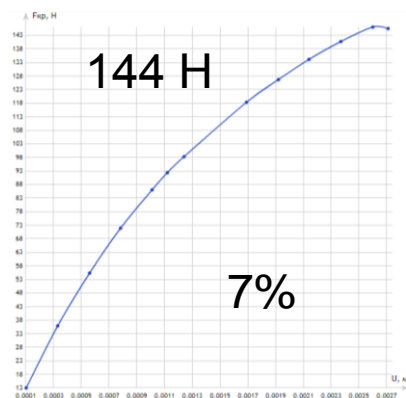
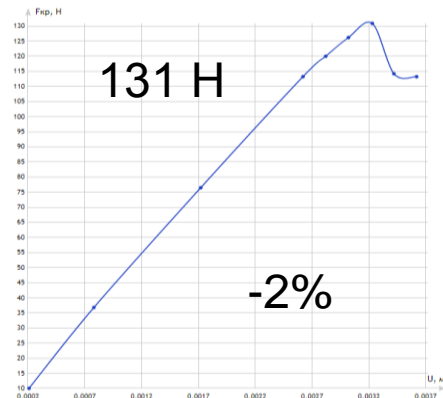


Где D – глубина ребра, K – ширина; 1 строка – бутылка в разрезе,
2 – неудачные варианты, 3 – удачные.

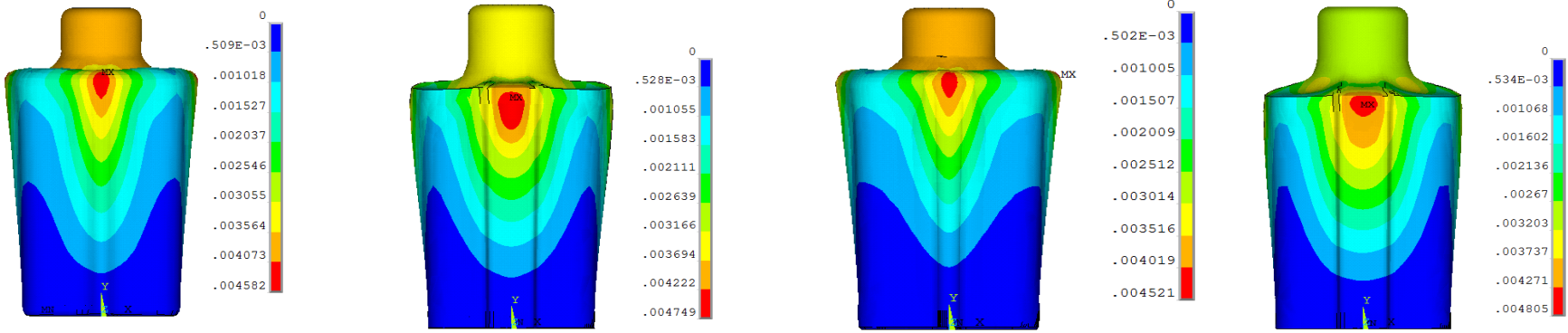
Численная рационализация формы бутылки для повышения критической силы потери устойчивости / жесткости.



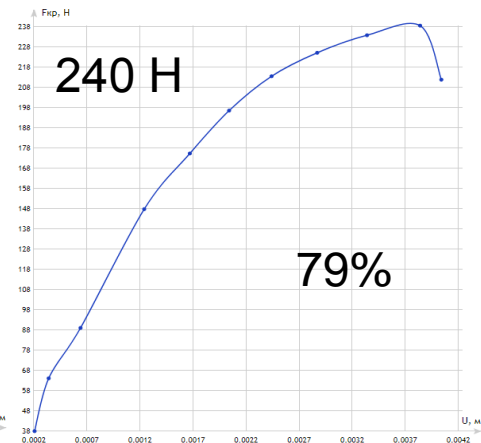
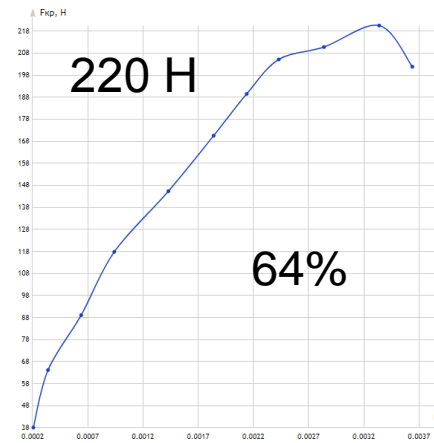
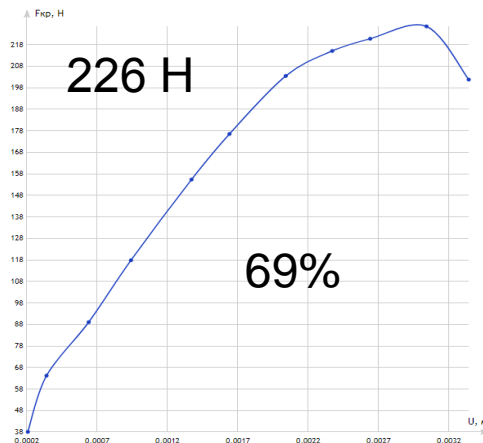
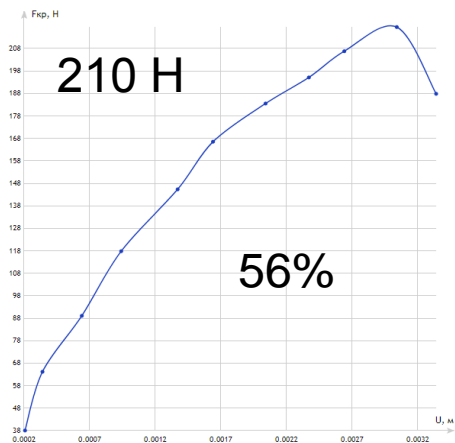
1 случай. $D=5$ мм, $K=10$ мм. 2 случай. $D=5$ мм, $K=20$ мм. 3 случай. $D=5$ мм, $K=4$ мм. 4 случай. $D=2$ мм, $K=20$ мм.



Численная рационализация / оптимизация формы бутылки для повышения критической силы потери устойчивости / жесткости.



1 случай. D=5 мм, K=10 мм. 2 случай. D=5 мм, K=20 мм. 3 случай. D=5 мм, K=4 мм. 4 случай. D=2 мм, K=20 мм.



Эксперимент.

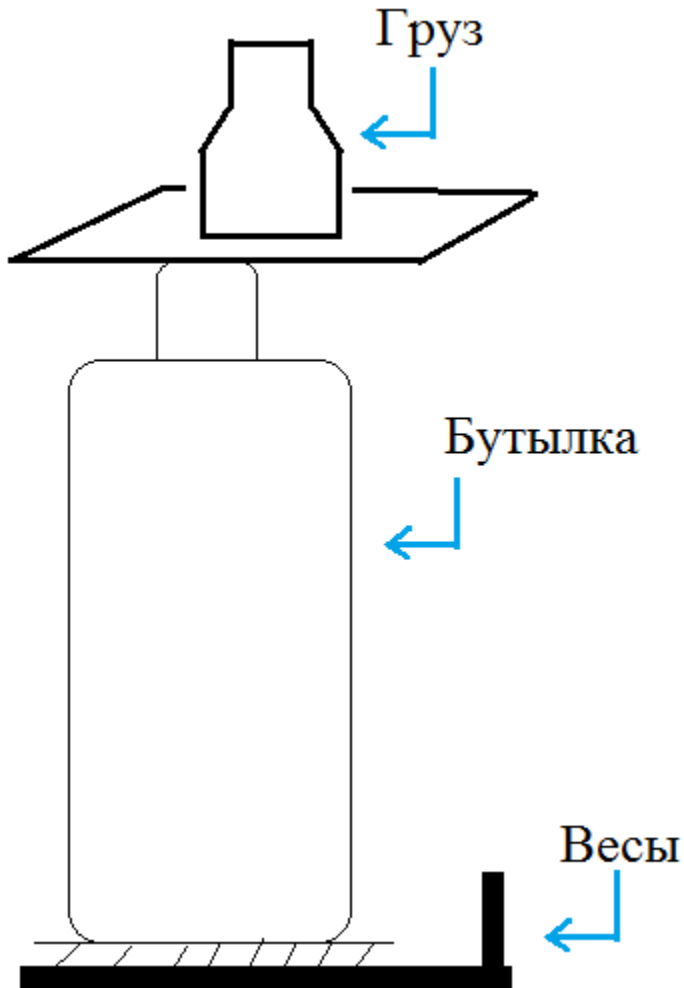


Схема установки



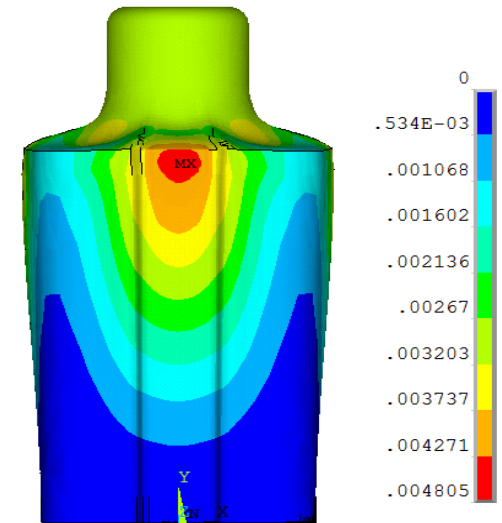
№ опыта	Результат в кг
1	14.5
2	13.9
3	14.7
4	14.3
Среднее значение	14.2

Заключение:

- Решена задача Эйлера аналитически и численно;
- Построена модель бутылки;
- Рассмотрены результаты для одной толщины и для случая с линзой;
- Рассмотрены несколько вариантов ширины и глубины ребер;
- Сделан вывод о наилучшей геометрии данного типа ребер.

Направления дальнейшего развития:

- Провести оптимизацию;
- Учесть жидкость в бутылках (в данной работе исследовались пустые);
- Рассмотреть боковое сжатие.



4 случай.

Глубина ребра $D=2$ мм,
ширина $K=20$ мм.

$F_{кр} = 240$ Н

79%



Спасибо за внимание!

Контактная информация:

ФИО Гольдберг В.А.
Тел.: 89111475502
Почта: lera.ru_96@mail.ru