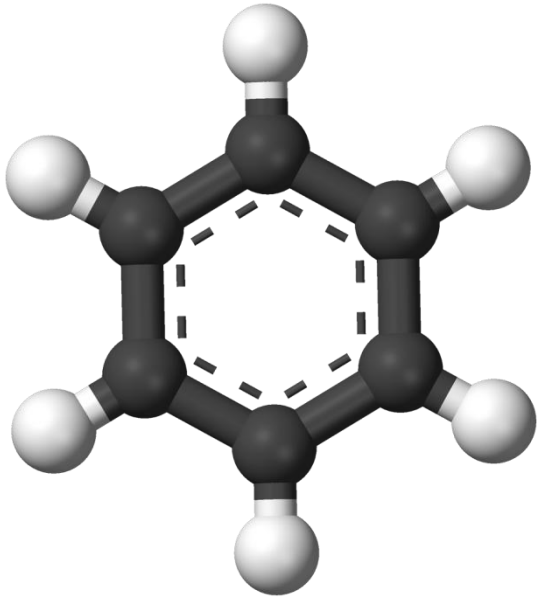
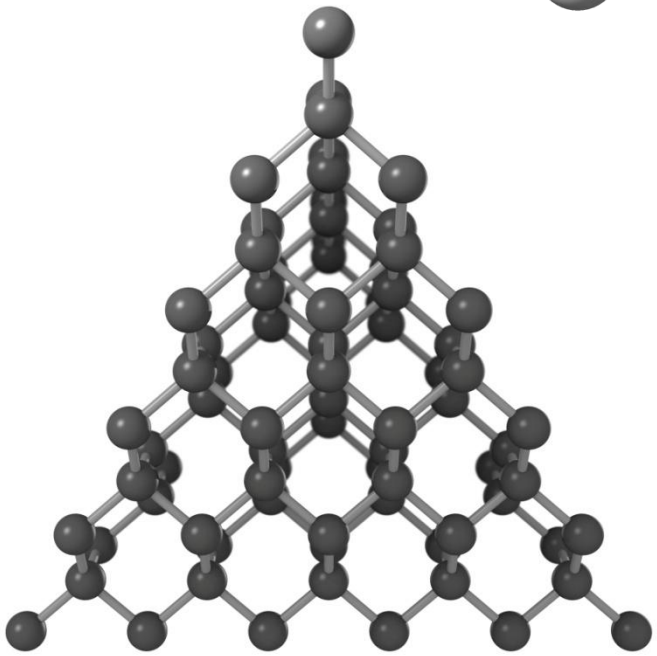
Расчет и измерение упругих свойств соединительных элементов для моделирования дискретных сред и разработки деталей конструкций

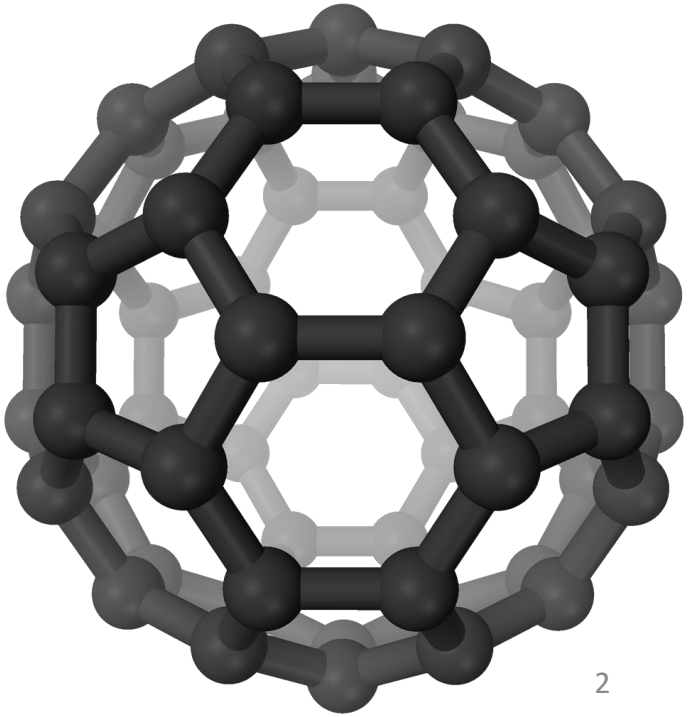
Д. Дзенушко (СПбПУ, 6 курс, каф. ТМ)

Научный руководитель: А. М. Кривцов (д.ф.-м.н., проф., зав. каф. ТМ СПбПУ)

Углеродные нано-структуры

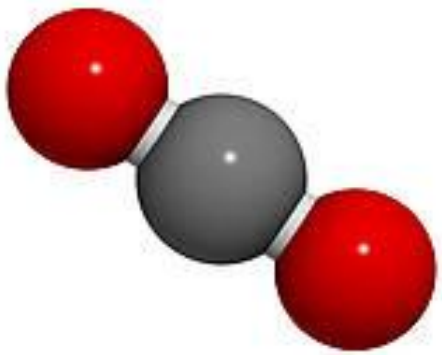


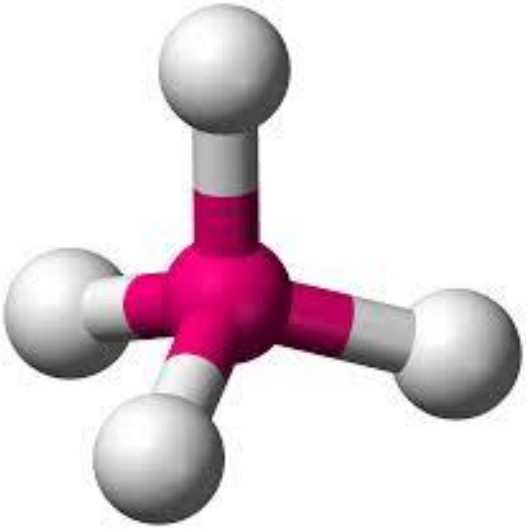




Межатомная связь

- Требуется разработать соединительный элемент, обеспечивающий соотношение 1:2 для сдвиговой и продольной жесткостей [2, 3].





2. И.Е. Беринский *“Моделирование межатомных взаимодействий в графене с применением линейной теории стержней”, Мезо-, нано-, биомеханика и механика природных процессов Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011, № 4 (2), с. 388–390*

3. I.E. Berinskii, A.M. Krivtsov *“A hyperboloid structure as a mechanical model of the carbon bond”*

Стержневые модели связи

1. Модель Бернулли-Эйлера [4]

$$C_1 = \frac{E\pi d^2}{4l} \qquad C_2 = \frac{3}{16}\frac{E\pi d^4}{l^3} \qquad d = \sqrt{\frac{2}{3}}l$$

2. Модель Тимошенко [4]

$$C_1 = \frac{E\pi d^2}{4l}, \qquad C_2 = \frac{3}{16}\frac{E\pi^3 d^4}{16\pi^2 l^3 + 18d^2(1-\nu)l} \qquad \nu \leq -0.18$$

3. Модель толстого стержня [4]

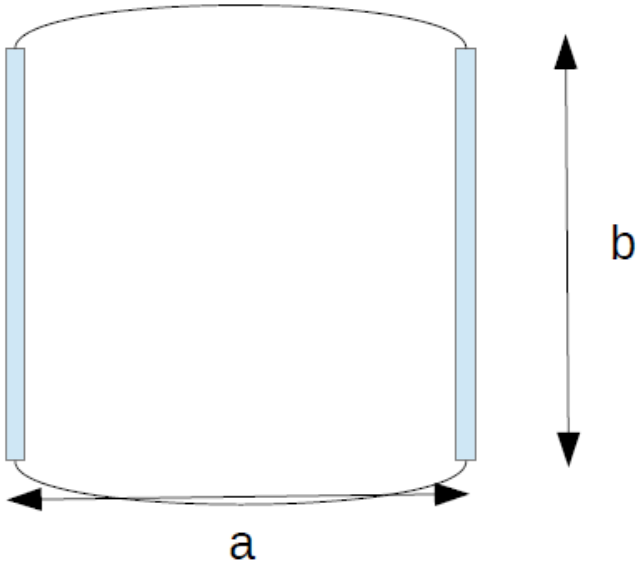
$$C_1 = \frac{E\pi d^2}{4l}\frac{1-\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \qquad C_2 = \frac{E\pi d^2}{8l(1+\nu)} \qquad \nu = 0$$

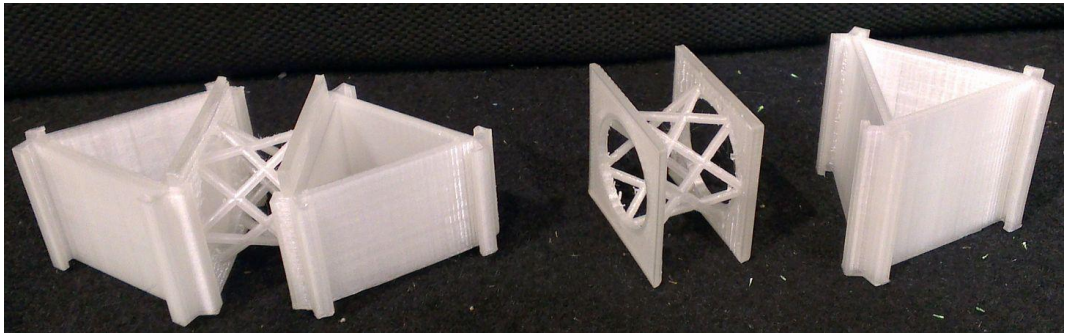
4. И.Е. Беринский, А.М. Кривцов, А.М. Кударова, В.А. Кузькин, О.С. Лобода, С.С. Хакало *"Современные проблемы механики. Механические свойства ковалентных кристаллов", Издательство Политехнического университета, Санкт-Петербург, 2014, с. 49-68*

Гиперболоидная модель

- Из [3] известно соотношение жесткостей

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{1 - cosY}{4} \frac{b^2}{a^2} = \frac{1}{2}$$

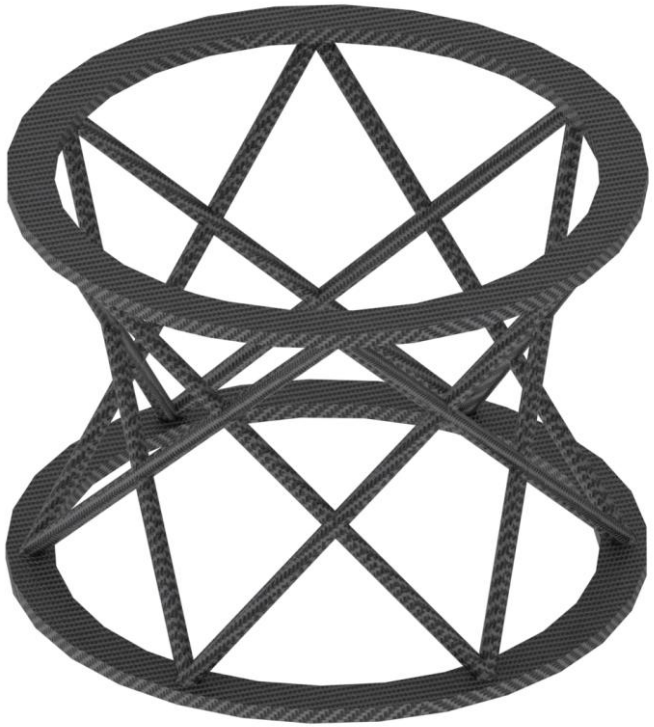


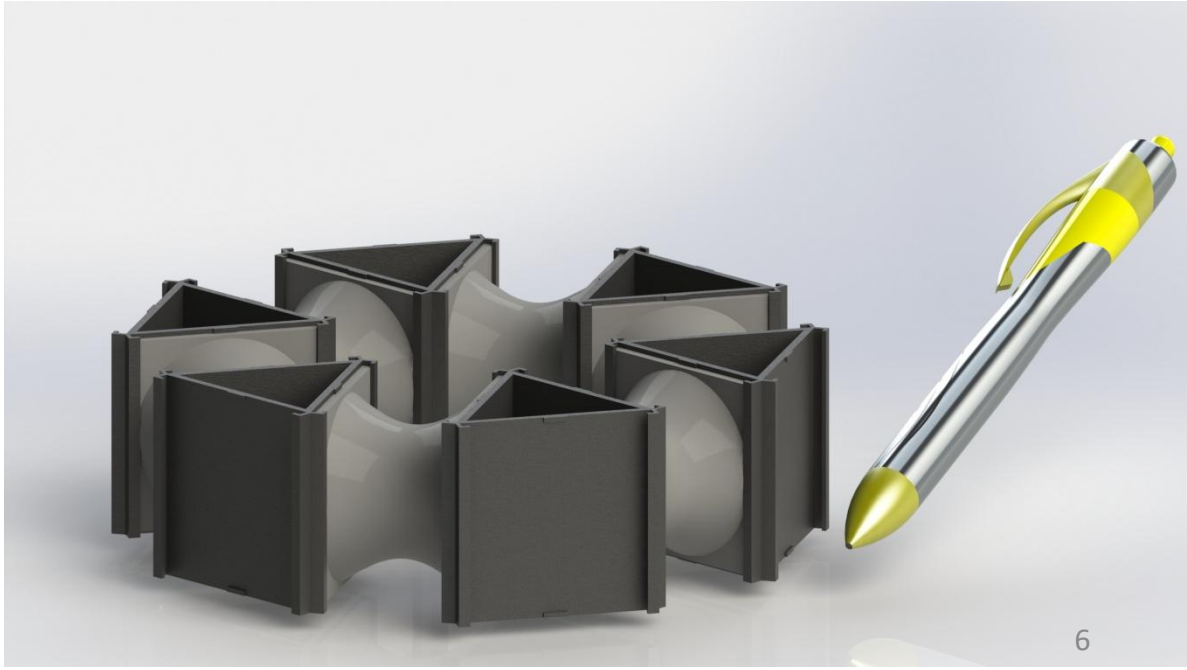


3. I.E. Berinskii, A.M. Krivtsov *"A hyperboloid structure as a mechanical model of the carbon bond"*

Создание гиперболоидной модели

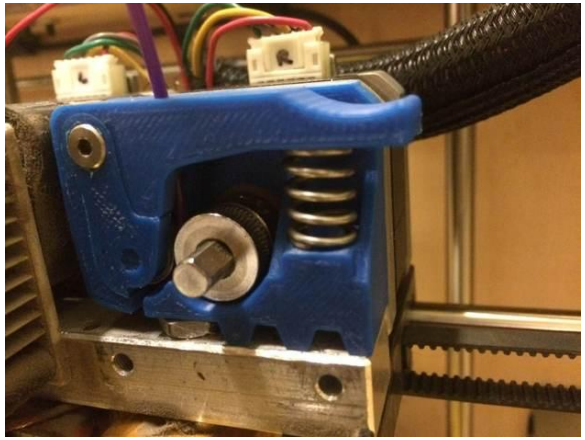
- Составлена параметрическая модель гиперболоидной связи
- Использование других материалов при изготовлении (нейлон, NinjaFlex), обладающих большей эластичностью

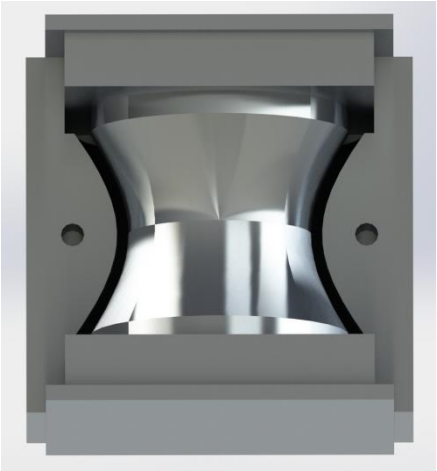




Использование эластичных материалов

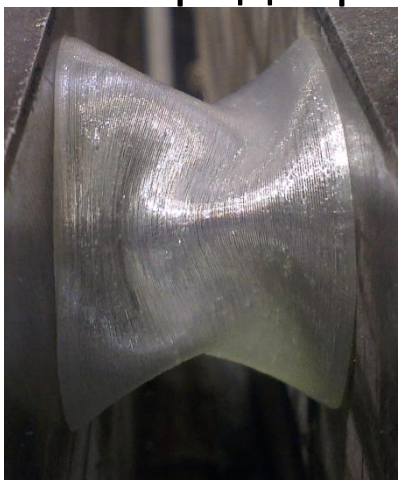
- Проведен ряд тестов по печати различными материалами
- Подобраны оптимальные параметры печати для данных материалов
- Произведена модификация 3D принтеров для использования эластичных материалов
- Спроектирована форма для отливки деталей

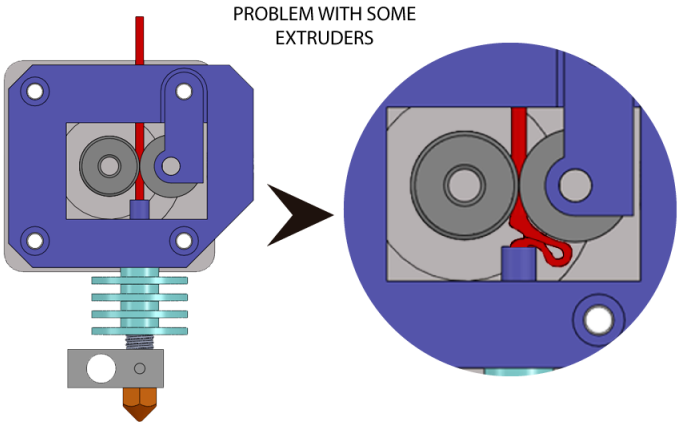


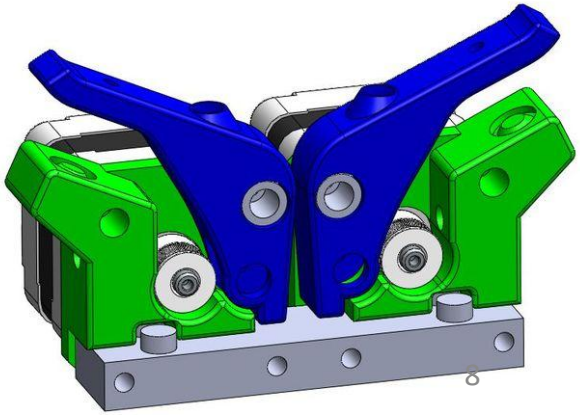


NinjaFlex, PP-Flex

- Изменение конструкции подающей части экструдера
- Увеличенное значение Retract
- Температура экструзии 215
- Температура платформы 35
- Малярная лента на платформе для повышения адгезии
- Предварительная сушка нити

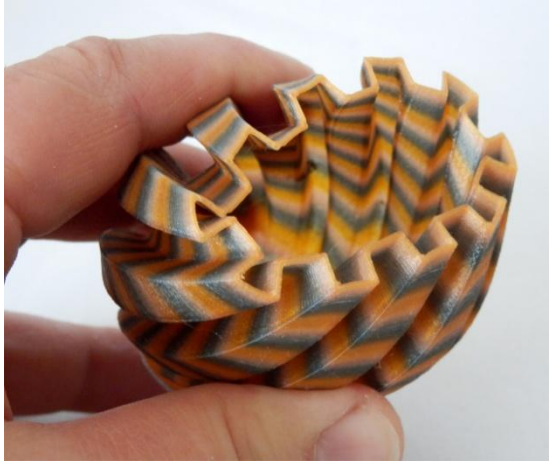






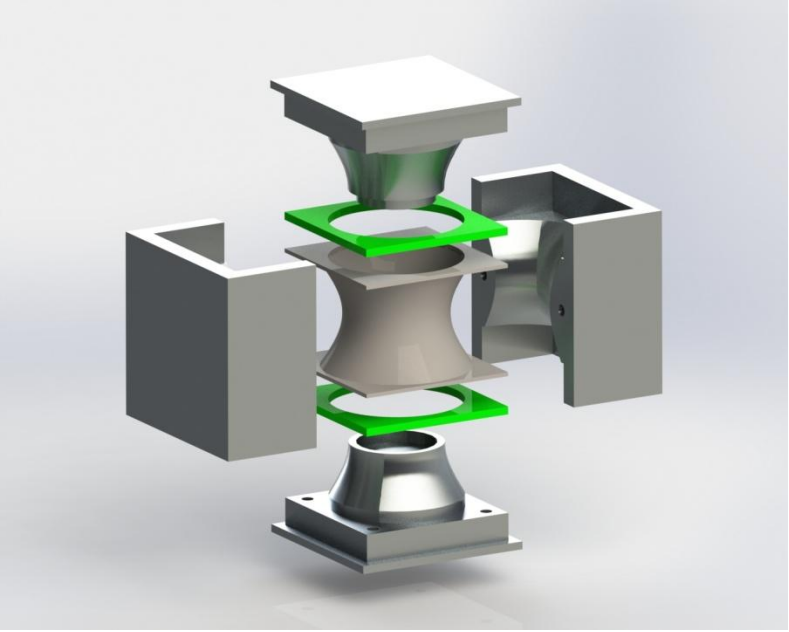
Нейлон

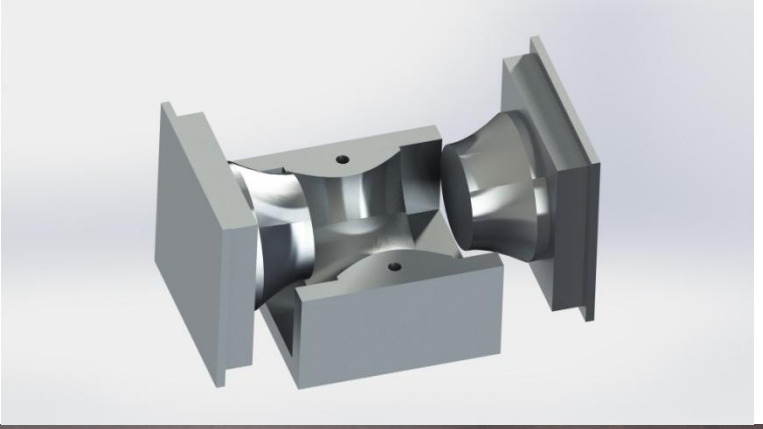
- Заметное уменьшение скорости подачи (900мм/мин вместо 3600 для ABS)
- Температура экструзии 242
- Температура платформы 120
- Нанесение клея ПВА для повышения адгезии
- Нить требует постоянной сушки

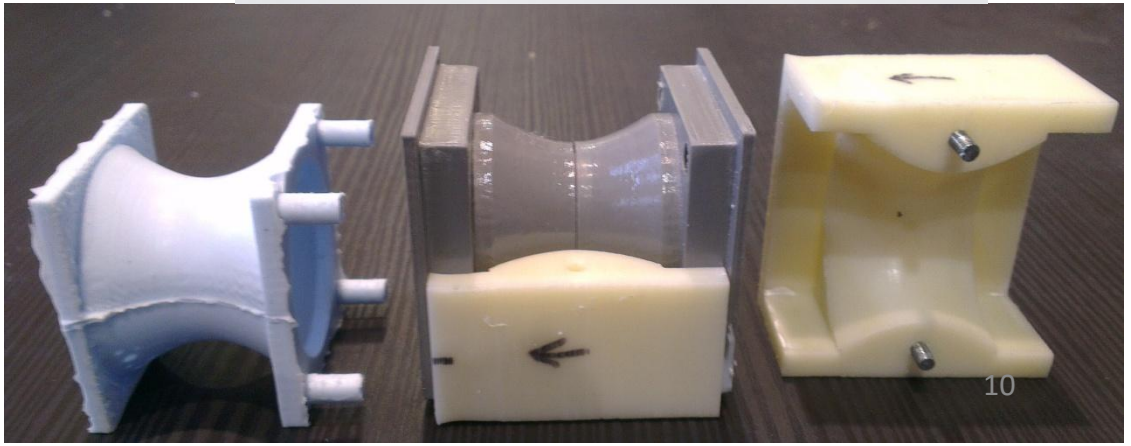


Отливка из силикона

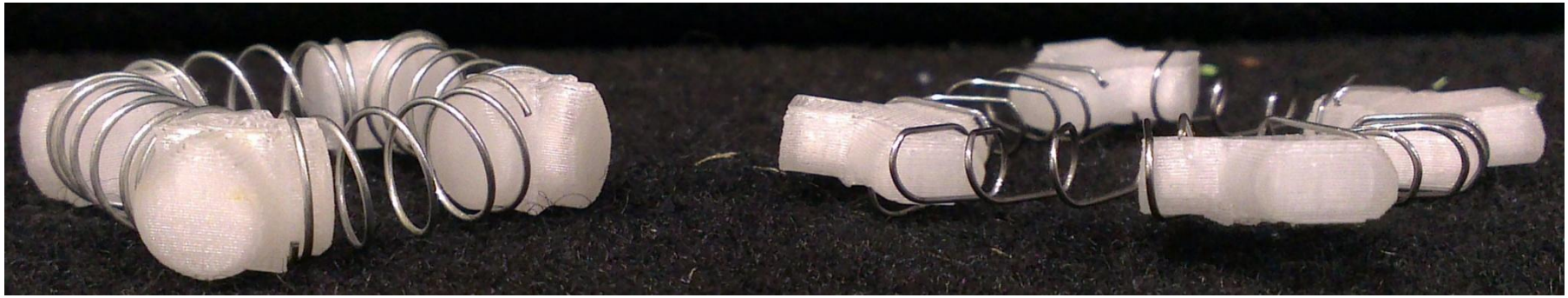
- Спроектирована форма для отливки
- Форма напечатана из ABS пластика на 3D принтере
- Произведена пробная отливка



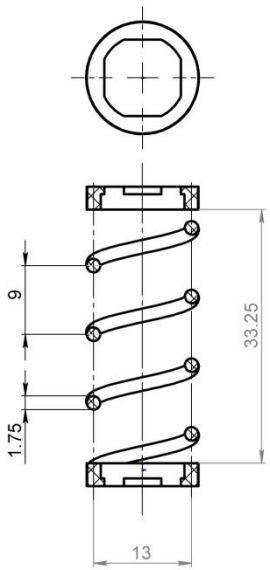


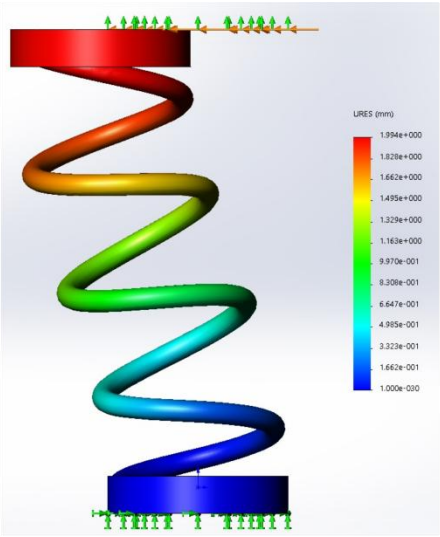


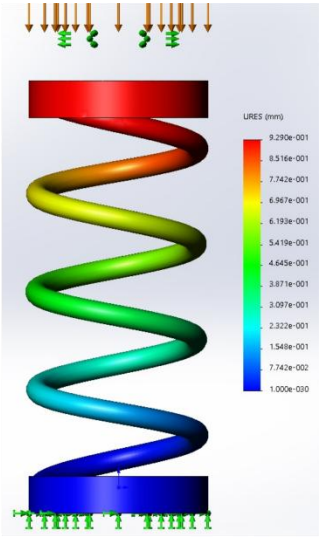
Модель на базе стальных витых пружин сжатия



Модель на базе стальных витых пружин сжатия





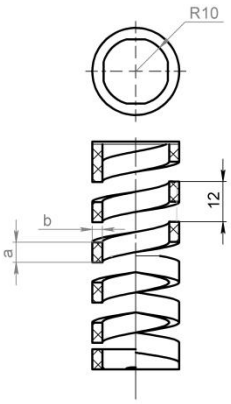


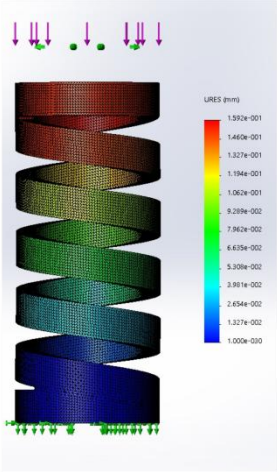
$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\Delta l_1 F_2}{F_1 \Delta l_2} = \frac{0.93 \cdot 0.1}{0.1 \cdot 1.93} = 0.48$$

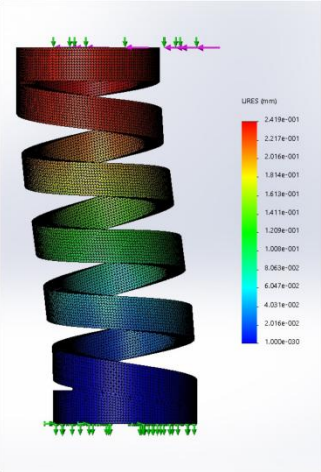
Сетка 0.5мм
Нагрузка 0.1Н
Материал ABS-пластик

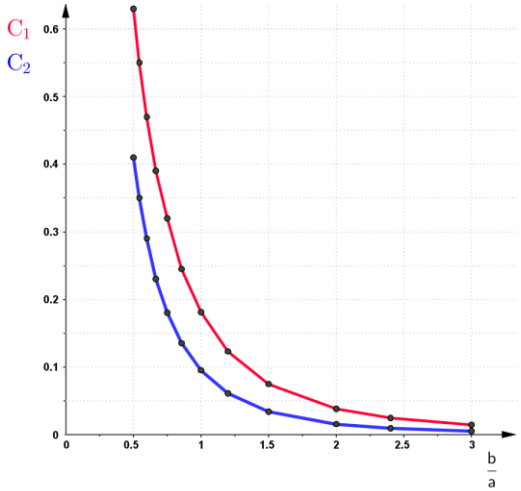
Где Δl_1 - перемещения при сжатии,
Δl_2 - перемещения при сдвиге
F_1 F_2 - приложенные нагрузки соответственно

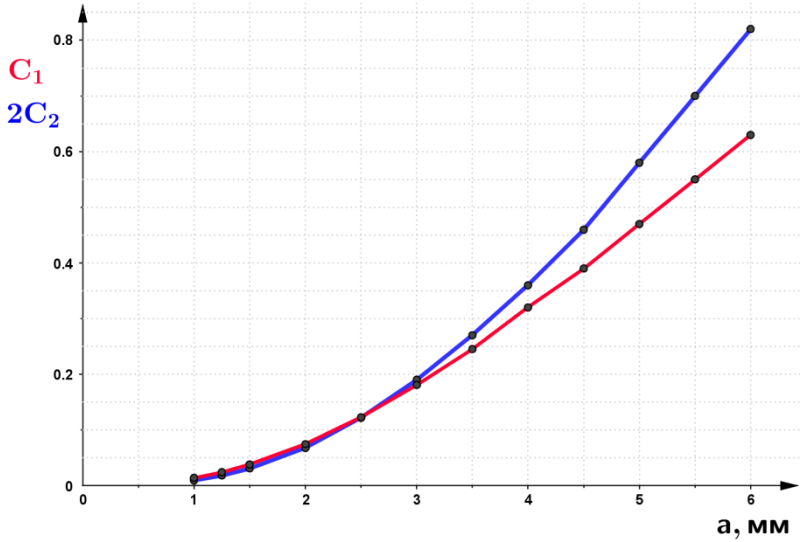
Модель на базе пружин специального сечения

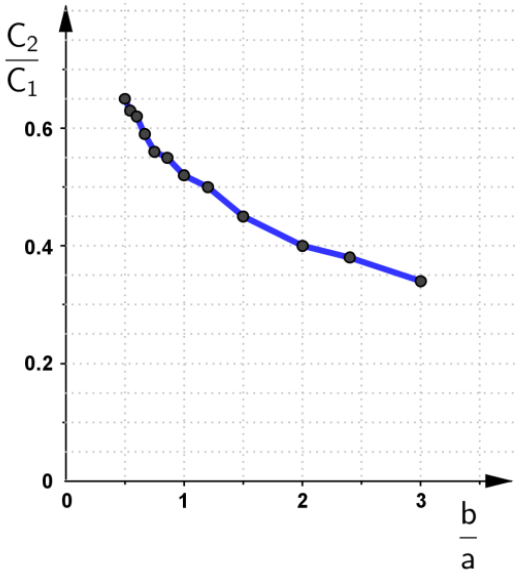






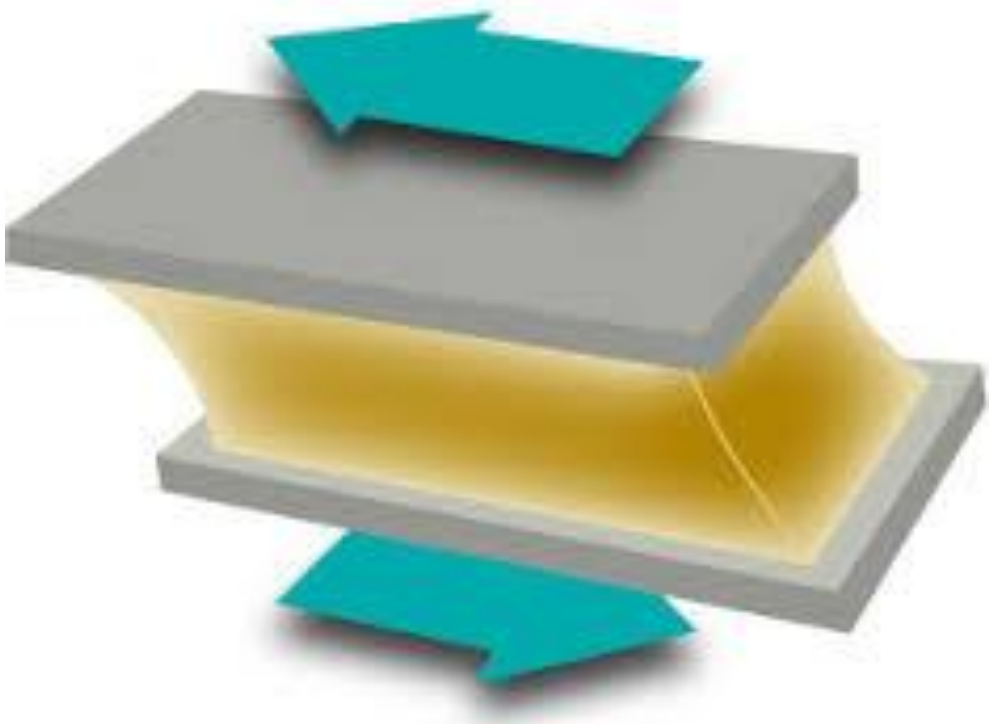






ТЗ на установку

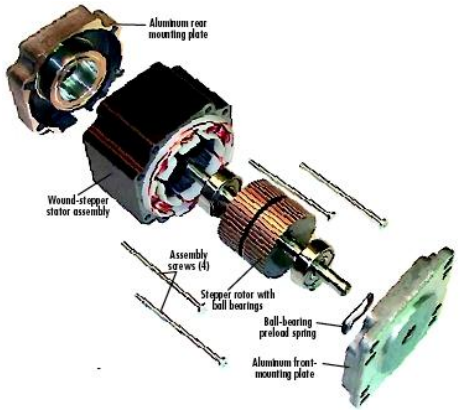
- Измерение продольной жесткости
- Проведение сдвига и измерение жесткости

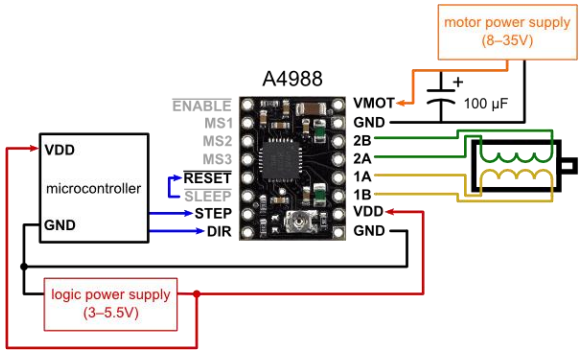


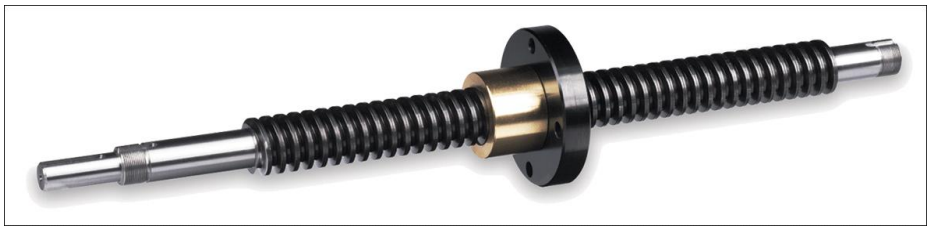
Перемещение

- Требуется задать перемещение

1) Шаговый двигатель для поворота на заданное кол-во шагов
2) Драйвер шагового двигателя A4988 для управления
3) Контроллер на базе ATMEGA для управления установкой
4) Ходовой винт и гайка для линейного перемещения







Перемещение

- Требуется измерить перемещение

Требуется:
Пройденное расстояние в мм

Известно:
1) Количество шагов
2) Шаг ходового винта

Передаточное соотношение (шагов на мм):

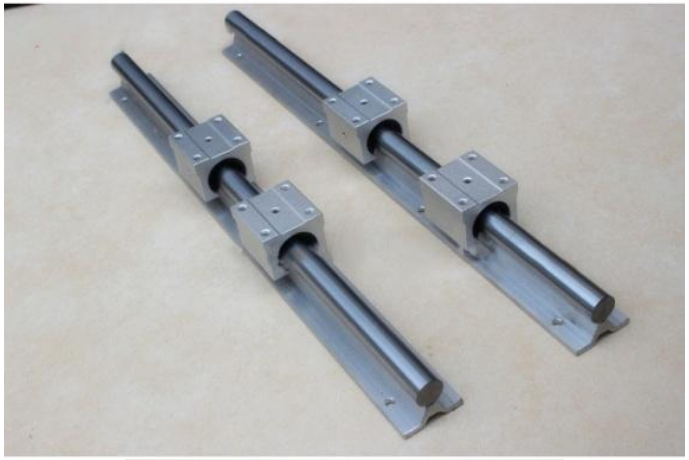
$$Step / mm = \frac{N}{P}\frac{1}{M}$$

N – Кол-во шагов на оборот (200 шагов)
P – шаг винта в мм
M – режим микрошагов (1; 1/2;1/4; 1/8; 1/16)
Step/mm – кол-во шагов на мм

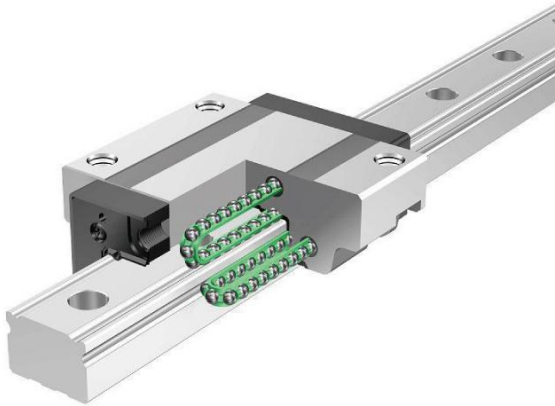
Направляющие

- Для качественных измерений конструкция должна обладать высокой жесткостью

Линейная направляющая круглого сечения



SBR - серия



Рельсовые направляющие MGN/MGW - серия

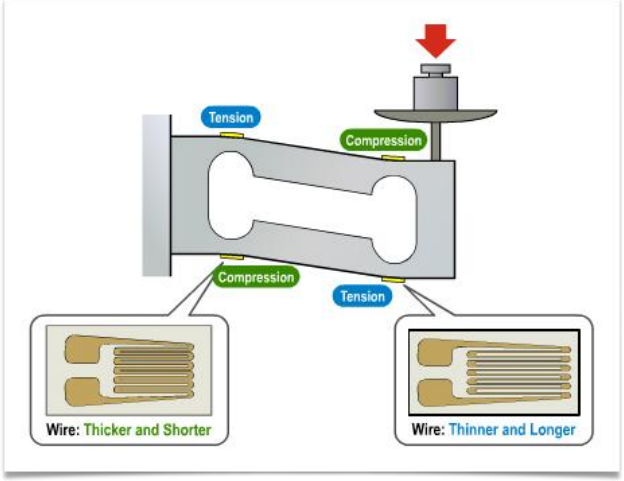
Измерение

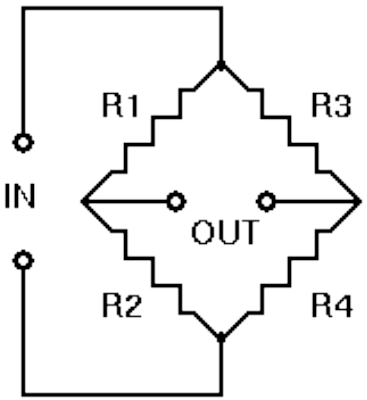
- Требуется измерить возникающие силы реакции

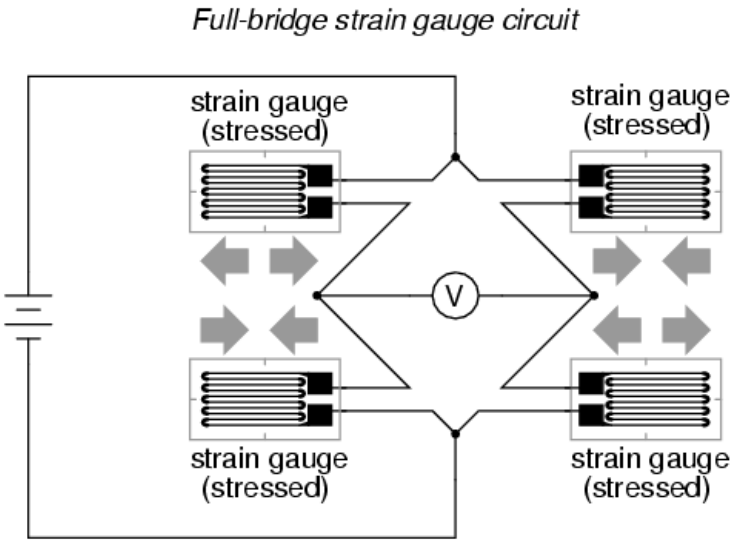
Резистивный датчик давления – прост в использовании, но зависимость сопротивления от нагрузки нелинейна

Комбинированный датчик давления – требуется усилитель, сложнее в применении, линейная зависимость сигнала от нагрузки

Датчик нагрузки





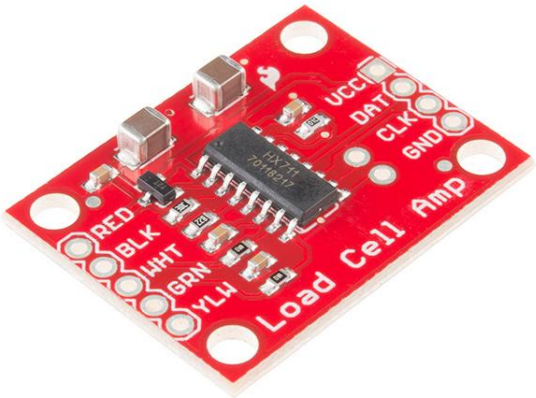


R1,R2,R3,R4 – сопротивления тензорезисторов

V_in – входное напряжение

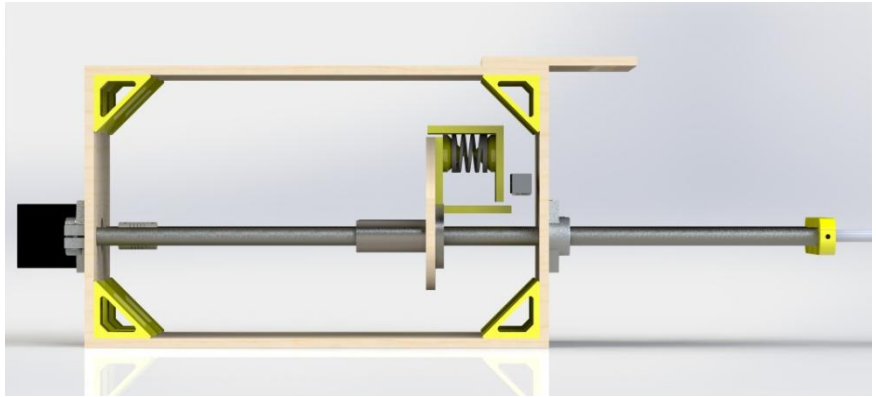
V_out – выходное напряжение

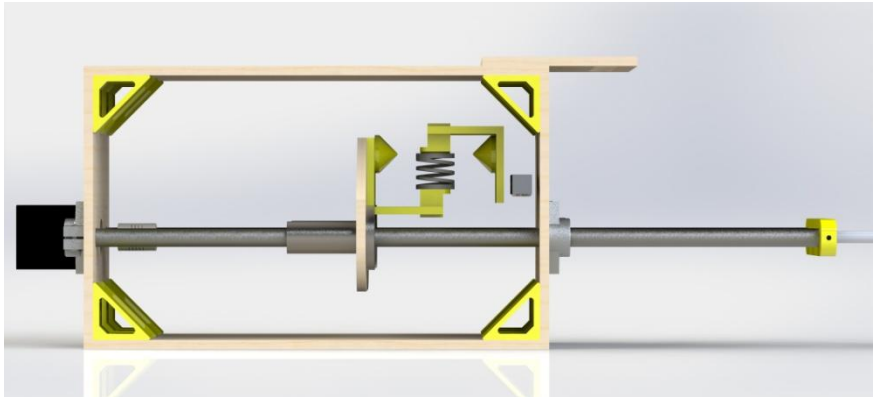
$$V_{out} = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] V_{in}$$

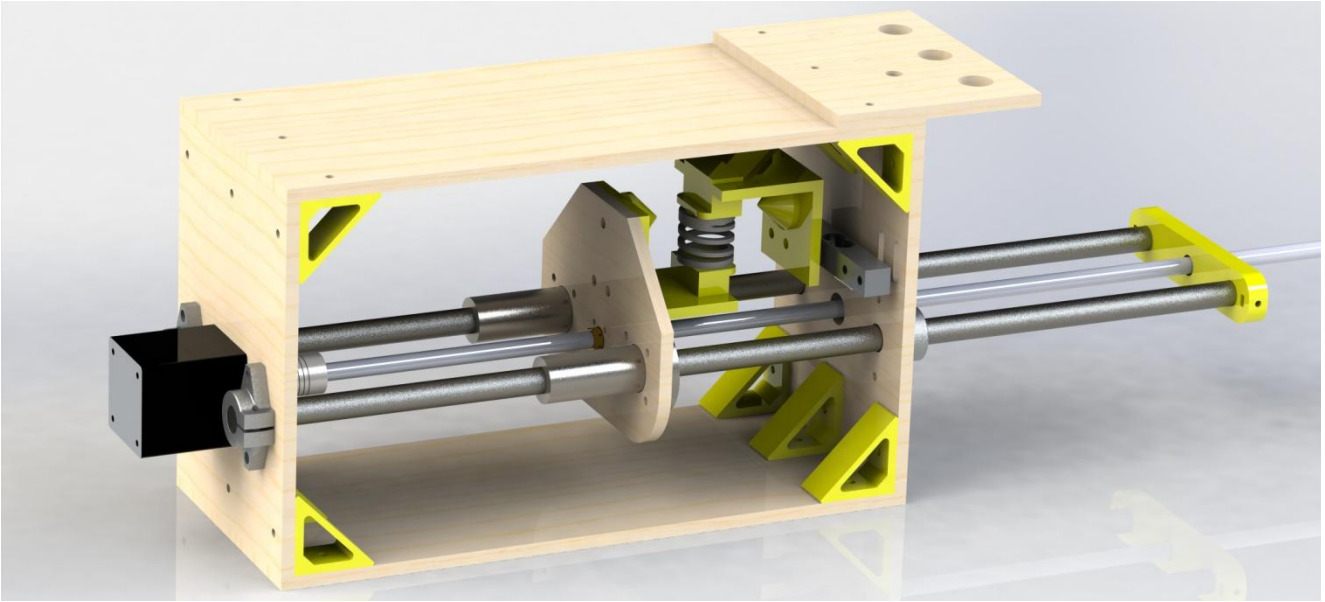


Усилитель HX711

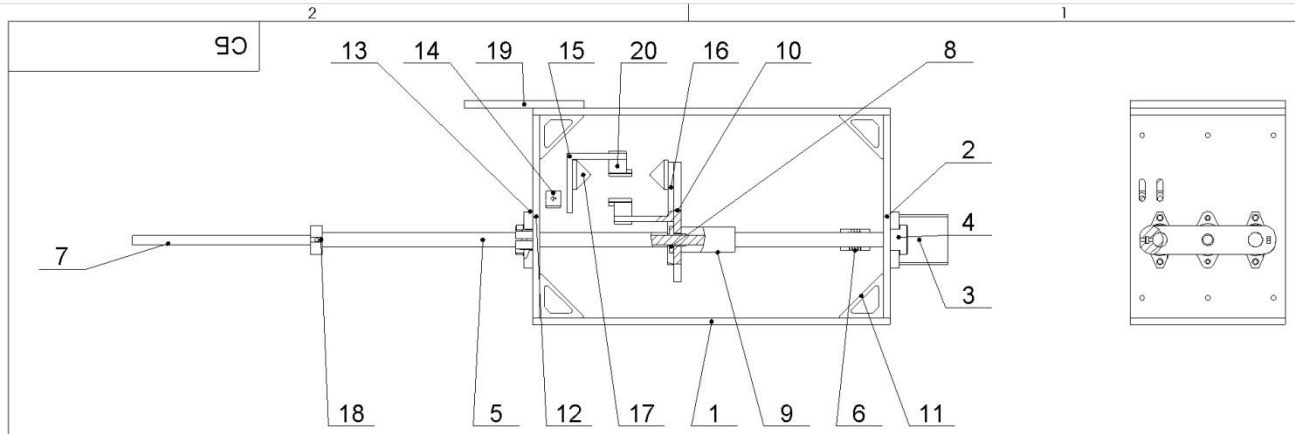
Экспериментальная установка, механика



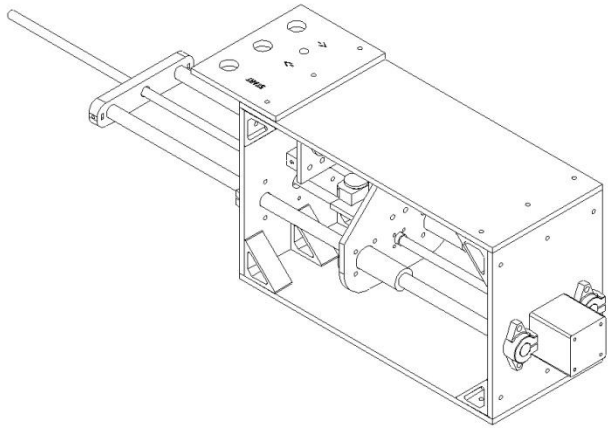




Экспериментальная установка, спецификация



ПОЗИЦИЯ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	К-ВО
1	Основание	2
2	Крепление двигателя	1
3	Шаговый двигатель Nema 17	1
4	Опора SHF12	4
5	Направляющая 12мм	2
6	Переходная муфта 5-8мм	1
7	Ходовой винт TR8	1
8	Гайка TR8	1
9	Линейный подшипник LMF12UU	2
10	Пресс	1
11	Уголок	12
12	Упорная пластина	1
13	Корпусной подшипник KFL08	1
14	Датчик давления 5KG	1
15	Упорный уголок	1
16	Нагружающий уголок	1
17	Упорный конус	2
18	Крепление винта	1
19	Панел управления	1
20	Крепление образца	2



Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата

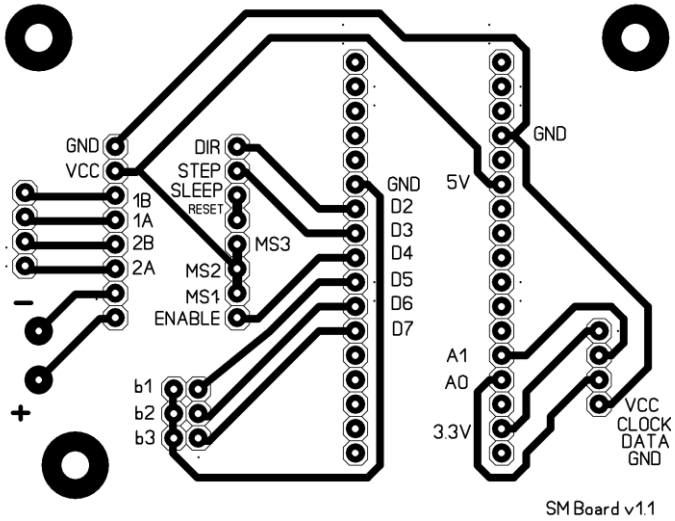
СБ

Лист

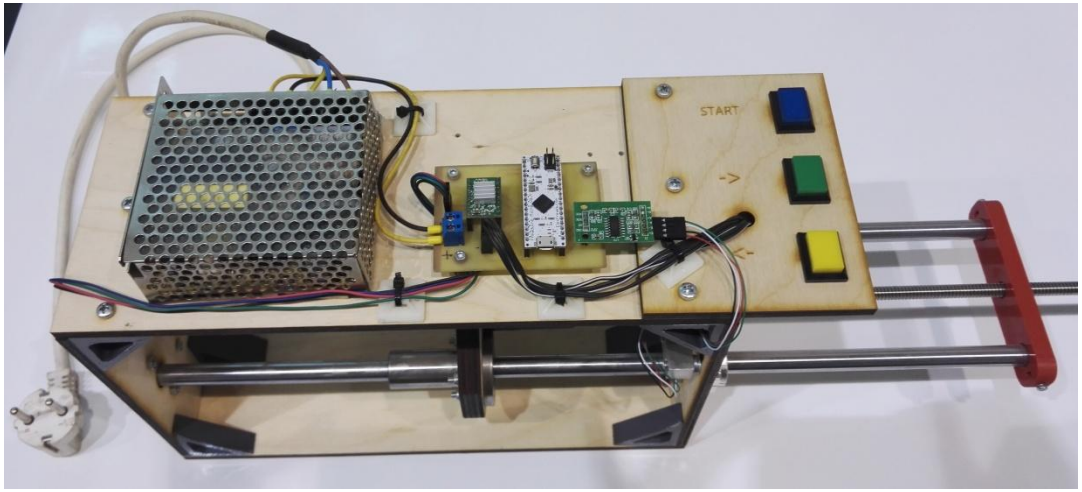
Копировал

Формат А3

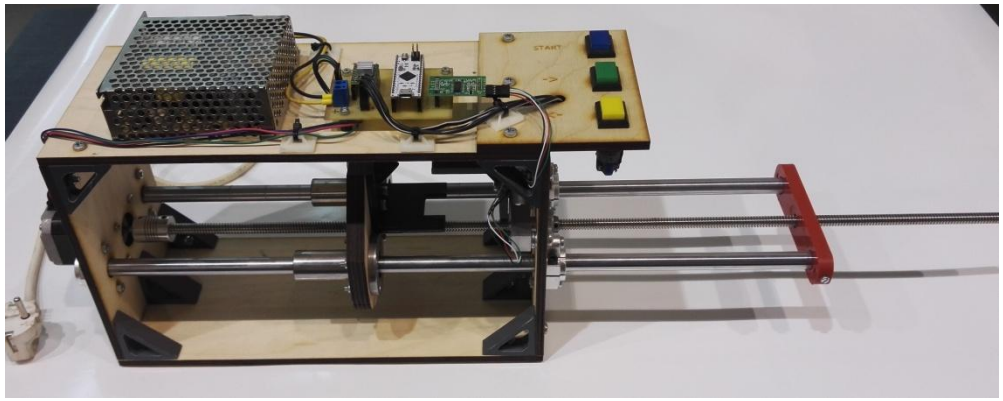
Экспериментальная установка, электроника

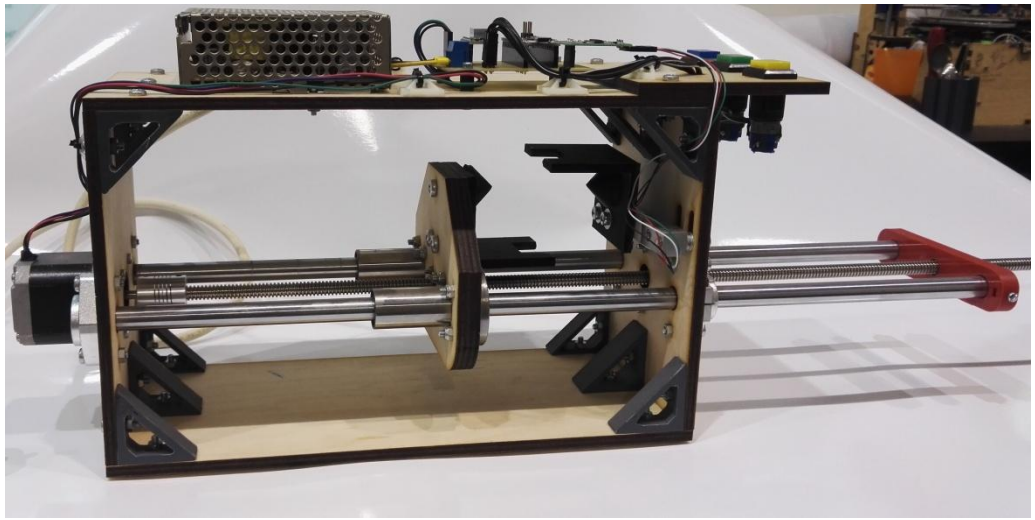


Спроектирована и изготовлена плата коммутации, позволяющая надежно соединить все системы воедино для повышения надежности и удобства в эксплуатации



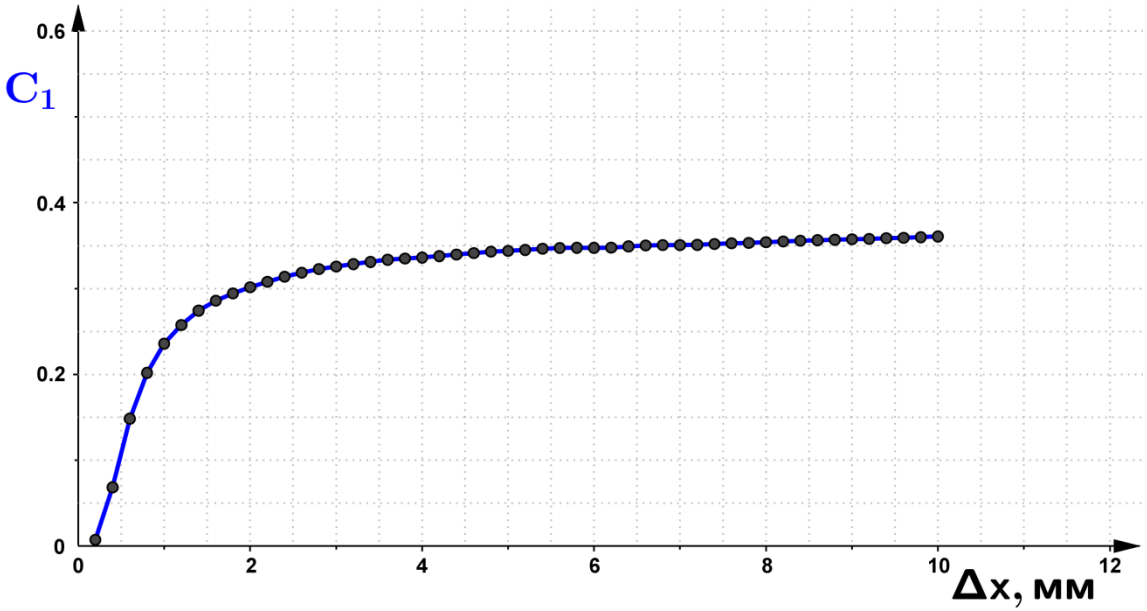
Экспериментальная установка, изготовление

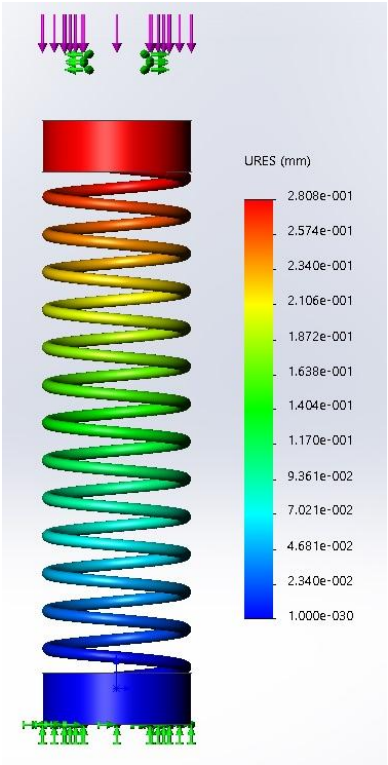




Материал	Обработка
Фанера ФК 6мм	Лазерная резка
Пластик ABS	3D печать (FDM)
Фольгированный текстолит	Лазерная гравировка + Травление в хлорном железе

Пробное измерение продольной жесткости



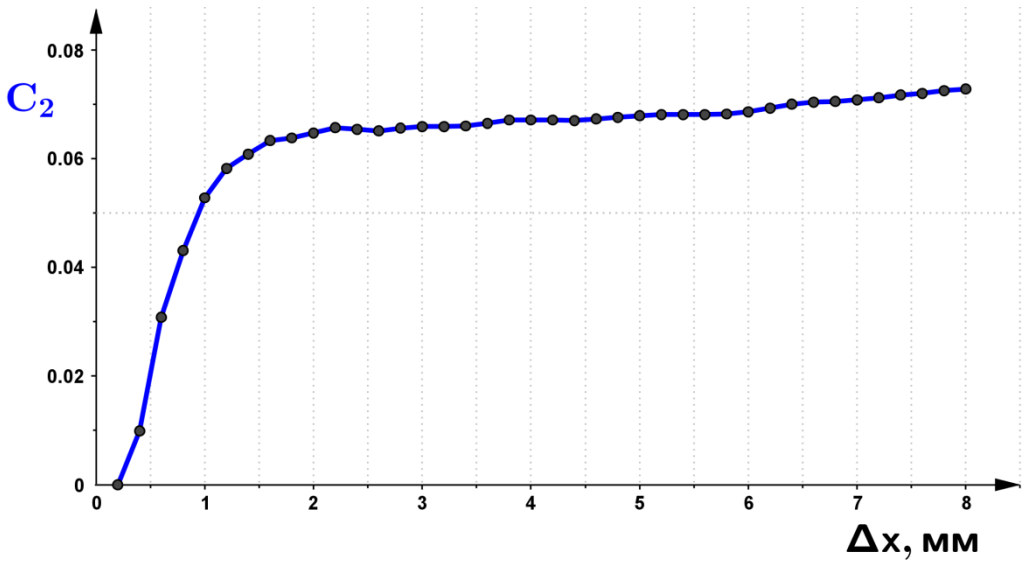


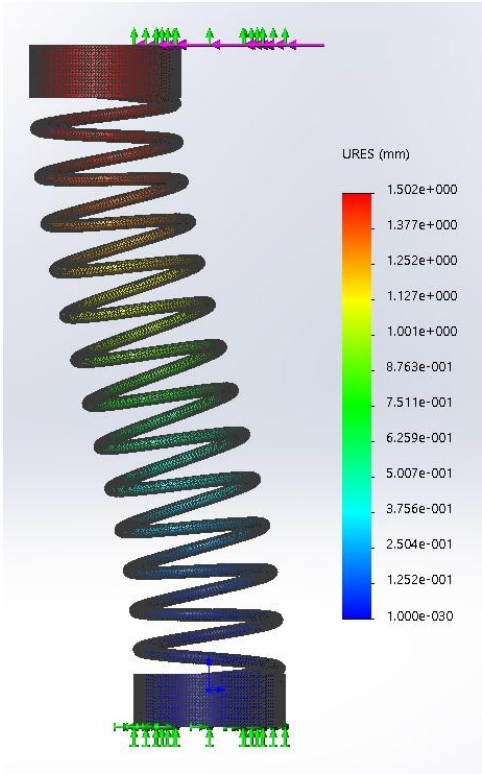
Аналитическое решение C_1=0.352 Н/мм отклонение 2.3%

Эксперимент C_1=0.360 Н/мм

Моделирование C_1=0.356 Н/мм отклонение 1.1%

Пробное измерение сдвиговой жесткости



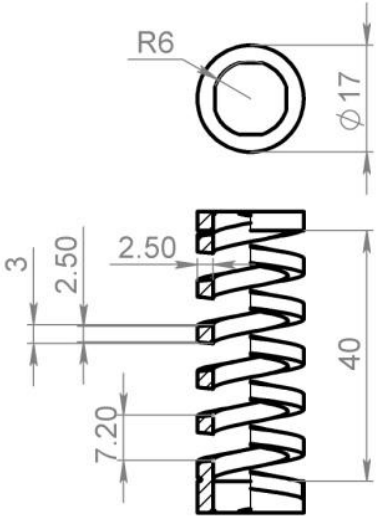


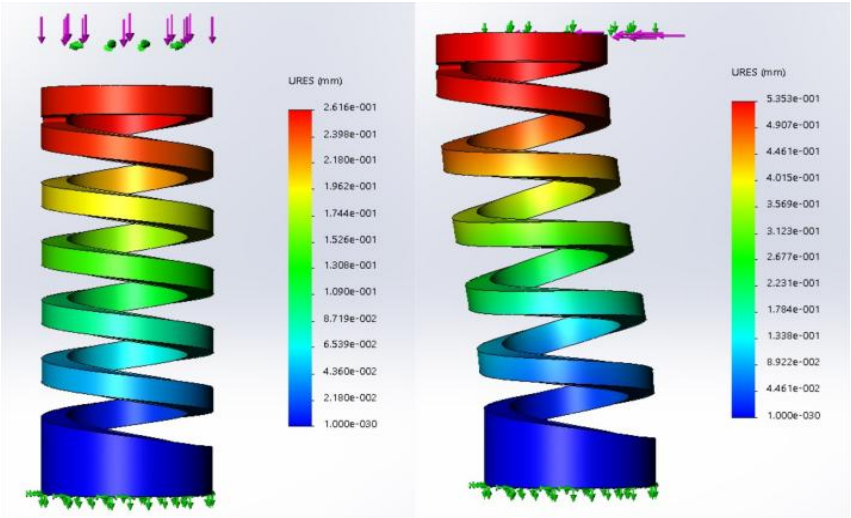
Моделирование C_2=0.067 Н/мм

Эксперимент C_2=0.073 Н/мм отклонение 9%

C_2/C_1=0.20

Измерение жесткости пружины специального сечения

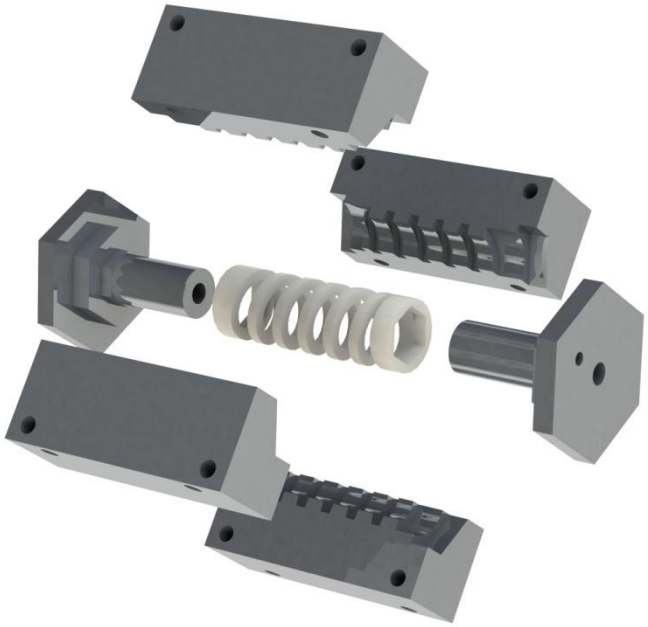


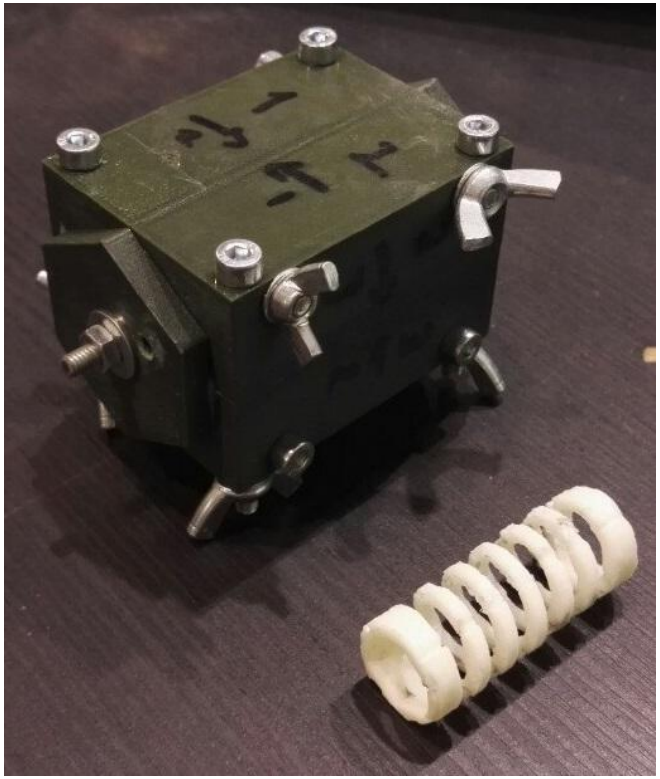


Моделирование	C_1=0.38 Н/мм	C_2=0.19 Н/мм	C_2/C_1=0.50
Эксперимент	C_1=0.35 Н/мм отклонение 8.6%	C_2=0.17 Н/мм отклонение 8.7%	C_2/C_1=0.49 отклонение 1%

Изготовление разработанной связи

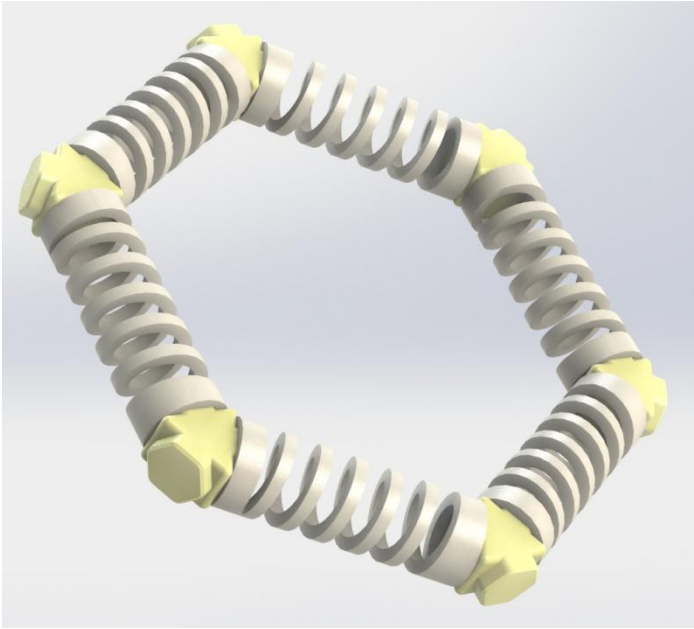
- Спроектирована форма для отливки
- Форма напечатана из PLA пластика на 3D принтере
- Произведена пробная отливка





Создание конструкции на базе разработанной связи

• Разработаны крепления, позволяющие надежно скрепить связь с соединительными элементами, моделирующими атомы



Результаты

- Проведено исследование возможности использования разных моделей межатомной связи.
- Исследовано влияние геометрических параметров связи на соотношение жесткостей
- Разработан экспериментальный стенд для измерения продольной и сдвиговой жесткости
- Разработаны методы изготовления данной связи
- Разработана модель связи соответствующая требуемому соотношению жесткостей

Выводы

- При использовании пружинной модели удается добиться требуемого соотношения жесткостей
- При использовании пружины специального сечения форма прутка заметно влияет на соотношение жесткостей
- Разработанную модель связи возможно изготавливать методом литья

Список литературы

1. Hugh O. Pierson *“Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes . Properties, Processing and Applications ”, NOYES PUBLICATIONS , Park Ridge, New Jersey, U.S.A. 1993, с. 198-223*

2. И.Е. Беринский *“Моделирование межатомных взаимодействий в графене с применением линейной теории стержней”, Мезо-, нано-, биомеханика и механика природных процессов Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2011, № 4 (2), с. 388–390*

3. I.E. Berinskii, A.M. Krivtsov *“A hyperboloid structure as a mechanical model of the carbon bond”*

4. И.Е. Беринский, А.М. Кривцов, А.М. Кударова, В.А. Кузькин, О.С. Лобода, С.С. Хакало *“Современные проблемы механики. Механические свойства ковалентных кристаллов”, Издательство Политехнического университета, Санкт-Петербург, 2014, с. 49-68*

5. D. D. Hernandes *“Factors Affecting Dimensional Precision of Consumer 3D Printing”, International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, vol. 2, 2015*

6. Д. Дзенушко *“Расчет и конструирование упругих соединительных элементов для моделирования дискретных сред и разработки деталей конструкций”*

7. П. Г. Гузенков *“Краткий справочник к расчетам деталей машин” Высшая школа, Москва, 1964*

8. В.И.Анурьев “Справочник конструктора машиностроителя. Том 2”, «Машиностроение», Москва, 2001, с. 773-780

9. В.О. Варганов, М.В. Аввакумов, М.В. Колычев, В.М. Гребенникова, В.А. Романов *“Передача винт-гайка”, Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2015*

10. D. Alciatore, M. Histand *“Introduction to Mechantronics and Measurement System”, McGraw-Hill, New York, 2012*

11. P. Acarnley *“Stepping motors: A guide to theory and practice”, The institution of engineering and technology, London, UK, 2007*

12. E. H. Smith *“Mechanical Engineer’s reference book”, The Bath Press, UK, 1994*

13. Allegro MicroSystems *“DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection”, Massachusetts, USA, 2009*

14. H. W. Kroto, *J. R. Heath, S. C. O’Brien, R. F. Curl, R. E. Smalley, et al. “C 60: Buckminsterfullerene”, Nature 318 (6042), 1985, с. 162–163*

15. A. K. Geim, K. S. Novoselov *“The rise of grapheme”, Nature Materials 6 (3), 2007, с. 183–191*

Спасибо за внимание

Дзенушко Дайнис
http://tm.spbstu.ru/Dzenushko_Dainis