

# Моделирование структуры базальтовой ваты

---

Валитов Рамиль

студент Казанского государственного  
университета

# Физико-механические свойства базальта

Породы	Плотность/см <sup>3</sup>	Козф. морозостойкости (потеря массы после испытания)	Пористость, %	Водопоглощение при частичном погружении в воду, %, по весу	Предел прочности при сжатии кгс/см <sup>2</sup>	Козф. размягчения
Базальт	2,82-2,97	0,76-0,99	7,74-19,26	0,97-2,33	536-958	0,70-0,91
Андезитобазальты	2,80-2,87	0,81-0,89	20,27-31,56	3,50-5,20	317-664	0,7-0,88
Андезиты	2,60-2,70	0,80 (50)	8,60-20,20	2,30-5,80	490-1515	0,79
Дациит	2,56-2,58	0,79 (50)	5,50-10,40	1,50-2,70	1094-1881	0,78
Вулканический туф	2,21-2,78	0,84	27,9-65,0	6,6-41,6	49-431	0,82
Фельзитовый туф	2,63-2,74	-	16,9-33,0	3,20-11,7	217-1053	0,69
Травертин	2,68-2,83	0,75-0,96	3,49-28,3	0,45-5,50	215-891	0,72-0,97
Гранит	2,78-2,97	0,82(50)	0,46-2,63	0,11-0,42	1392-1878	0,72-0,86
Мрамор	2,71-2,72	0,91-0,99	0,21-0,55	0,04-0,07	844-1112	0,85-0,93
Мраморно-розовый известняк	2,68-2,74	0,52 (50)	0,11	0,07-0,65	233-655	0,82

# Способы производства ВОЛОКОН

---

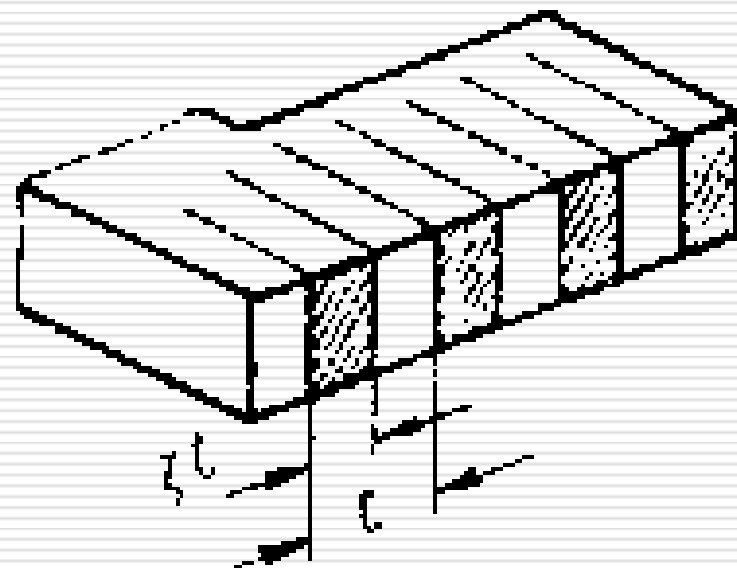
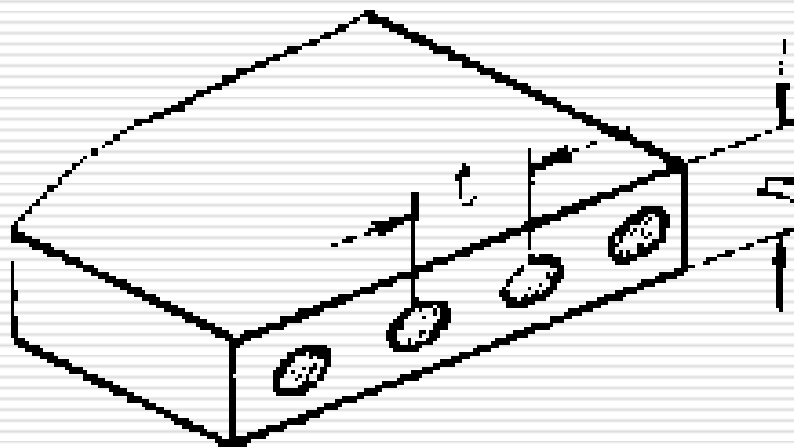
- раздув падающей струи расплава скоростной струей пара или сжатого воздуха;
  - падение струи расплава на быстровращающуюся чашу центрифуги и вытягивание волокна из тонкого слоя, образующегося на краю чаши;
  - получение нитей пропусканием расплава через фильеры и последующий раздув остывших нитей скоростной струей высокотемпературных продуктов сгорания природного газа.
-

# Сравнительные характеристики нитей из базальтовых и стеклянных волокон

Свойства	Базальтовое волокно	Волокно из стекла
<i>Термические:</i>		
Температура применения, °С	От -260 до +700	От -60 до +460
Температура спекания, °С	1050	600
Коэффициент теплопроводности, Вт/м,	0,031 - 0,038	0,034 - 0,04
<i>Физические:</i>		
Диаметр элементарного волокна, мкм	7 - 17	6 - 17
Линейная плотность Текс (г/км)	28 - 120	17 - 480
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2600 - 2800	2540 - 2600
Модуль упругости, кг/мм <sup>2</sup>	9100 - 11000	до 7200

# Модель представления волокнистого ориентированного стеклопластика

---



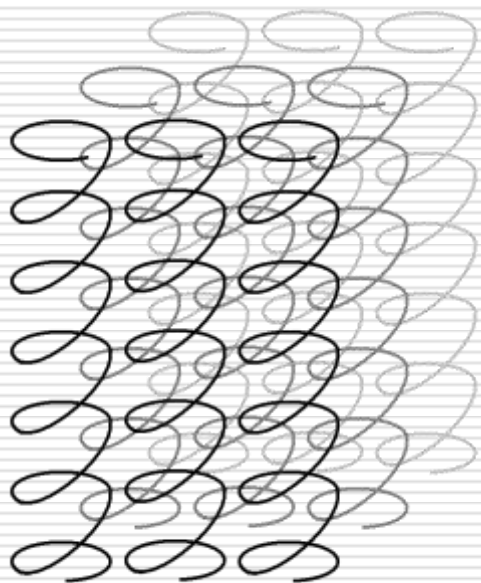
# Основные типы объектов

---

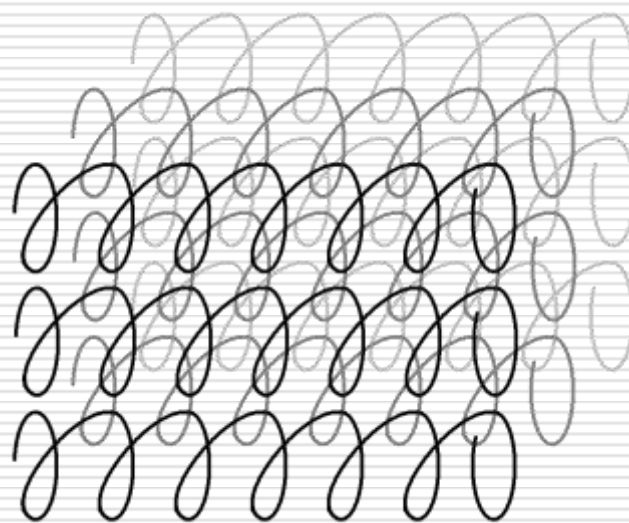
- ❑ "Слезы Пеле"
  - ❑ Отдельные сплошные сферические и округлые капли;
  - ❑ Отдельные линейные волокна стабильного диаметра с обломленными концами;
  - ❑ Сросшиеся волокна;
  - ❑ Волокна изогнутой формы («курчавые») и переменной толщины;
  - ❑ Гантели различных размеров;
  - ❑ Волокна с наростами-утолщениями.
-

# Модель структуры базальтовой ваты

---



Вертикальная  
ориентация  
волокон

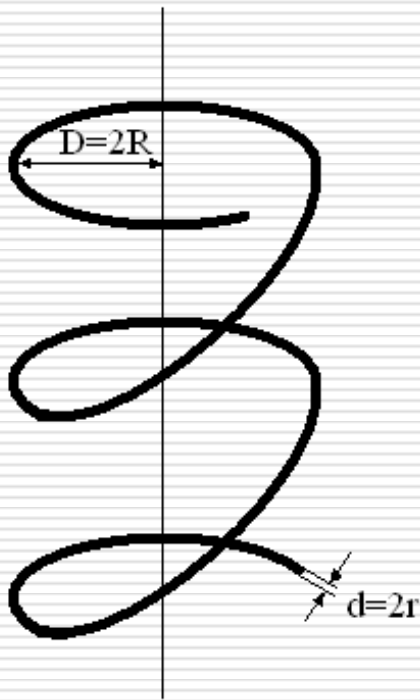


Горизонтальная  
ориентация  
волокон

---

# Вертикальное расположение нитей

---



$$C = \frac{1}{8} \cdot \frac{G \cdot d^4}{n \cdot D^3} \quad x = \frac{4P \cdot R^3 \cdot n}{G \cdot r^4} \quad F_{\text{упр}} = Cx$$

$C$  – коэффициент жесткости пружины, Н/мм;

$G$  – модуль сдвига, Н/мм<sup>2</sup>;

$d$  – диаметр прутка, мм;

$n$  – количество витков;

$D$  – средний диаметр прутка, мм;

$x$  – деформация пружины, мм;

$P$  – внешняя сила, Н;

$r$  – радиус прутка, мм;

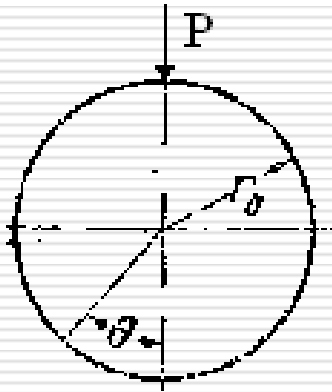
$R$  – радиус винтовой оси пружины, мм;

---



# Горизонтальное расположение нитей

---



$$\varepsilon = \frac{Pr_0^2}{\pi EJ} \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^n \cos n\theta}{(n^2 - 1)^2 \left[ 1 - \frac{Sr_0^2}{(n^2 - 1)EJ} \right]}$$

$$\varepsilon = \frac{Pr_0^2}{\pi EJ} \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n^2 - 1)^2} = \frac{1}{16} \frac{Pr_0^2}{\pi EJ} (\pi^2 - 8)$$

---

## Подходы к представлению произвольного расположения нитей

---

В самом общем случае мы имеем  
анизотропный материал

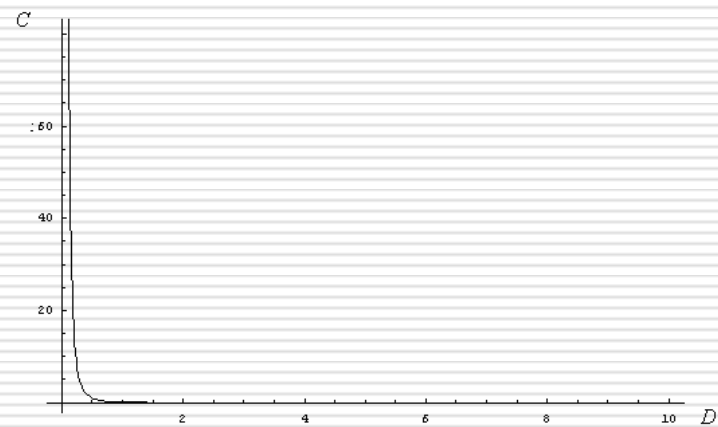
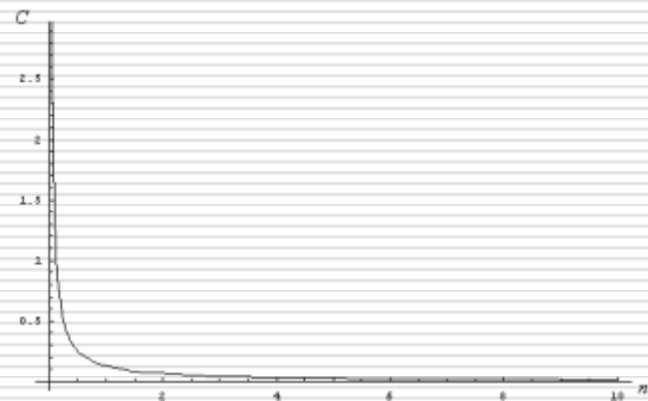
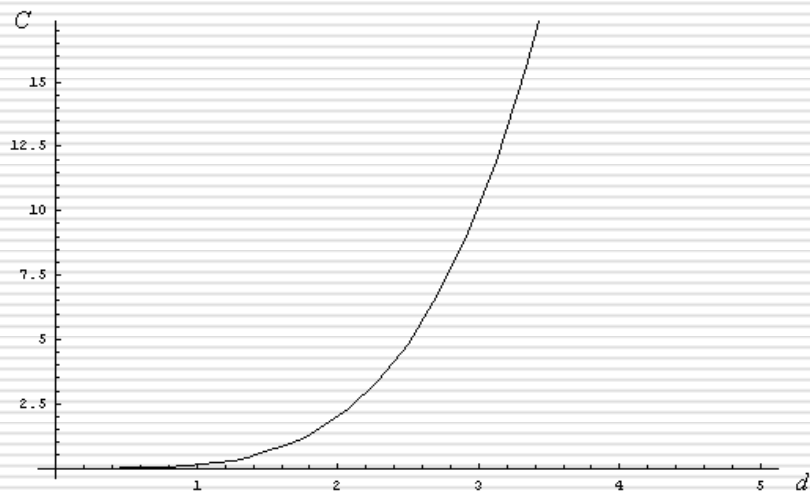
$$\underline{\sigma} = \underline{E} \underline{\varepsilon}$$

---

# Графики коэффициента жесткости при изменении одного параметра

---

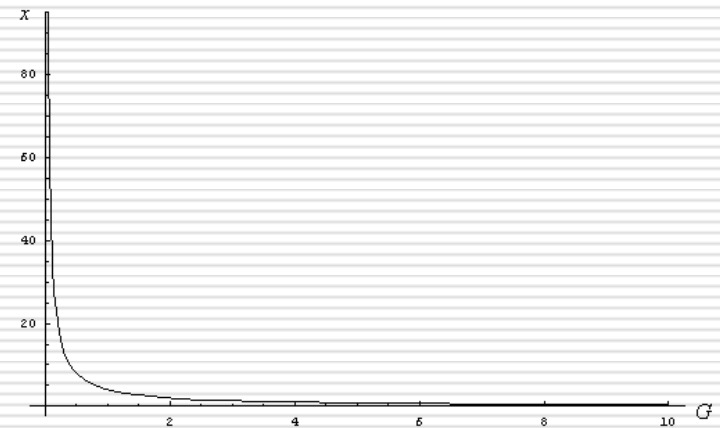
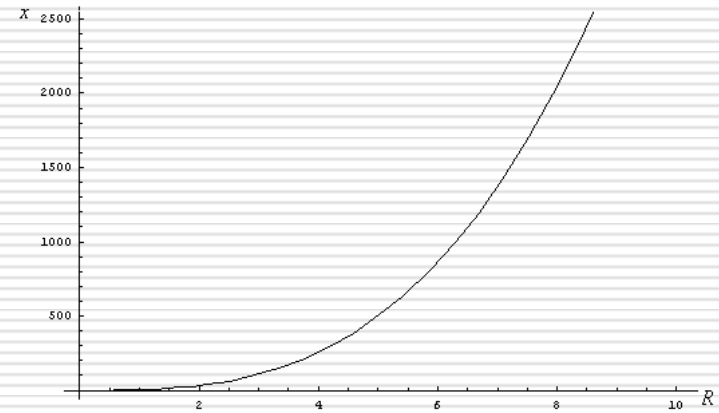
$$C = \frac{1}{8} \cdot \frac{G \cdot d^4}{n \cdot D^3}$$



# Графики деформации при изменении одного параметра

---

$$x = \frac{4P \cdot R^3 \cdot n}{G \cdot r^4}$$



# Сжатие базальтовых кубиков

---



$S=50 \times 45$

Вертикально  
е  
расположени  
е волокон

# Сжатие базальтовых кубиков

---



$S=50 \times 45$

Вертикально  
е  
расположени  
е волокон

# Сжатие базальтовых кубиков

---



$S=50 \times 50$

Горизонтальное  
расположение  
волокон

---

# Сжатие базальтовых кубиков

---



$S=50 \times 50$

Горизонтальное  
расположение  
волокон

---



# Сжатие базальтовых кубиков

---



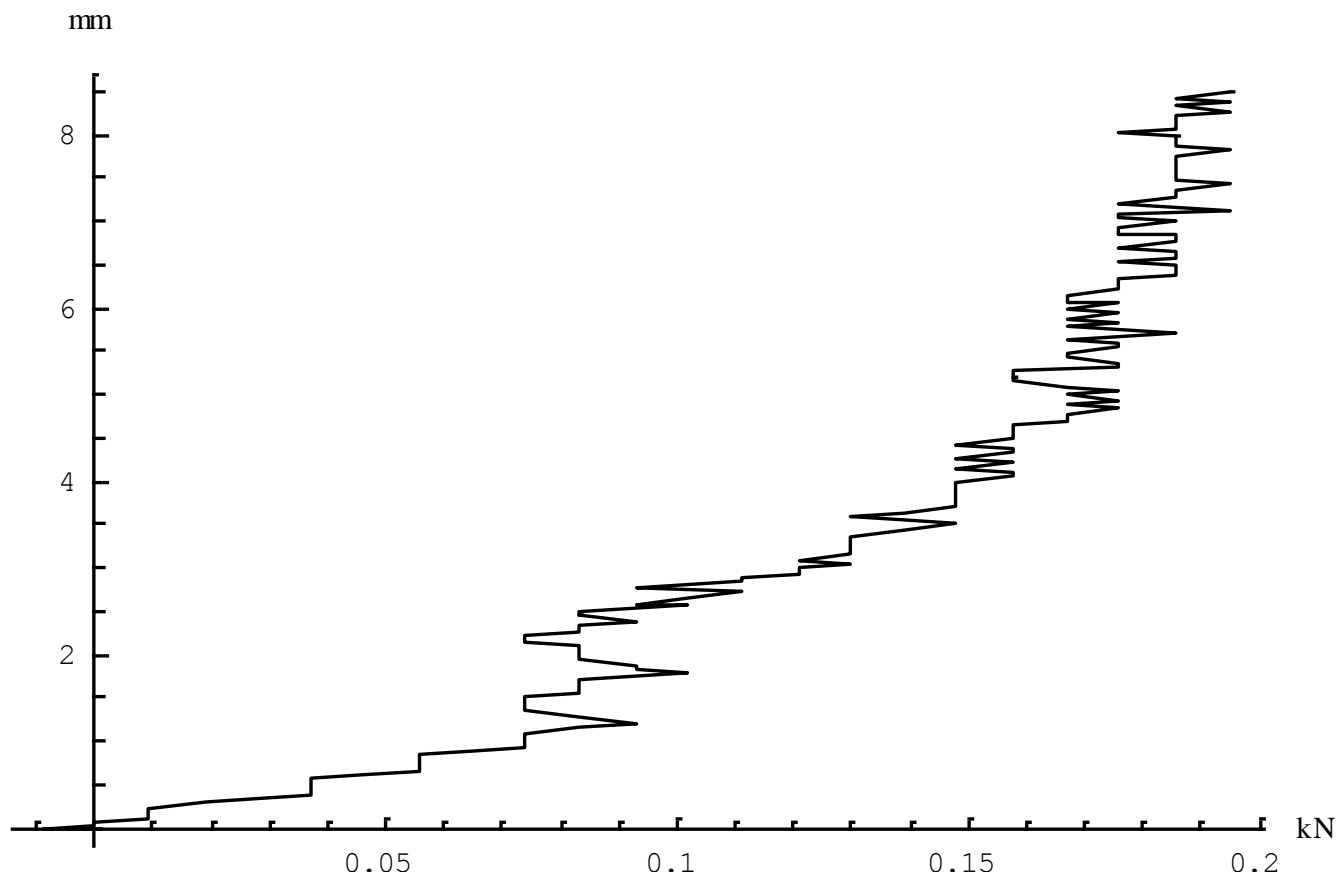
$S=20 \times 25$

Горизонтальное  
расположение  
волокон

---

# Сжатие базальтовых кубиков

---



# Список используемой литературы

---

- Победря Б.Е. Механика композитных материалов. М., 1984.
  - Морозов Н.Ф. Избранные двумерные задачи теории упругости. Л., 1978.
  - Базальтовая вата: история и современность (сборник материалов). Пермь, 2003.
  - Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. П., 1946
  - Биндерман В.Л. Упругость и прочность анизотропных стеклопластиков. Сб. «Расчеты на прочность». Вып. 12. М., 1966.
  - Болотин В. В. Плоская задача теории упругости для деталей из армированных материалов. Сб. «Расчеты на прочность». Вып. 12. М., 1966.
  - Лапин А.А. Плоская деформация резинокордной ткани. Сб. «Расчеты на прочность в машиностроении». М., 1955.
-

# Контактная информация

---

**Валитов Рамиль Аделевич**

Казанский государственный  
университет

E-mail: [ramilbox@mail.ru](mailto:ramilbox@mail.ru)

---