

8 разомкнет кулачки 5, выгнется в противоположную сторону и займет положение, показанное на рисунке 2.2, а штриховыми линиями, а элементы сцепления - кулачки 14 и 15, расположенные на взаимообращенных поверхностях тормозного диска 13 и ведомой полумуфты 2 войдут в зацепление и будут удерживать ее от вращения.

После устранения причины, повлекшей превышение заданного предельного крутящего момента, ведомая полумуфта 2 возвращается в рабочее положение вручную воздействием на рукоятку 16 двуплечего рычага через вилку 17, штифты 19 и шариковый подшипник 18.

Рассмотренное оригинальное конструкторское решение, позволит для муфты предохранительной - повысить ее эксплуатационную надежность, улучшить технологичность обслуживания, повысить долговечность и надежность ее работы, улучшить условия ее обслуживания и безопасность работы обслуживающего персонала, расширить эксплуатационные возможности муфты.

#### Литература

1. Расчеты деталей машин: Справ. Пособие /А. В. Кузьмин, И.М. Чернин, Б.С. Козинцов.- 3-е изд., перераб. И доп.- Мн.: Выш. Шк., 1986.-400 с.: ил.
2. Патент РФ №2289043 МПК F16D7/02, F16D3/00,2006.
3. Предохранительная муфта: патент 6288 U Респ. Беларусь, МПК F16D7/00 / К.В. Сашко, Н.Н. Романюк, Г.В. Боровец, Н.В. Долонько, Е.А. Герман, П.А. Недвецкий ; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u20090960; заявл. 17.11.2009; опубл. 30.06.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2010.– №3. – С.198–199.

#### **Определение укорочения столбов различной высоты из различных материалов**

Студент гр.10301321 Курлянчик А.Н..

Научный руководитель – ст. пр. Кавальчук О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Постановка задачи. Площадь поперечного сечения гранитного столба высотой  $h$ , изображенного на рисунке 1, изменяется в соответствии с законом

$$S(z) = S_0 \left( 1 - 0,5 \frac{z}{h} \right)$$

Определить полное укорочение столба  $\Delta h$  от собственного веса  $G$  при различных значениях  $h$ .

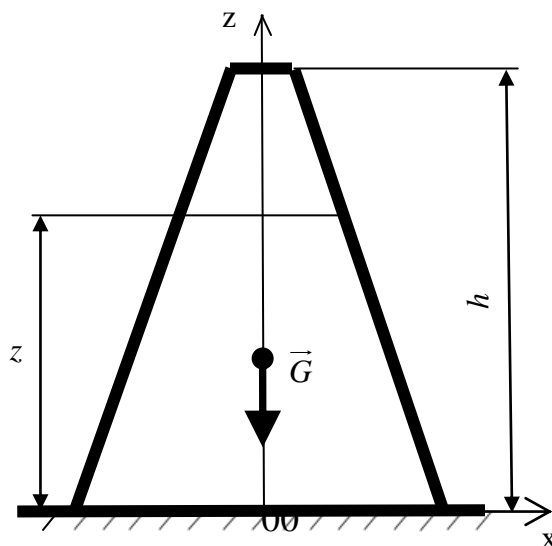


Рисунок 1 - Схема укорочения столба высотой  $h$

Исходными данными являются  $h_1 = 4$  м,  $h_2 = 7$  м,  $h_3 = 8,5$  м,  $h_4 = 10$  м,  $S_0 = 0,09$  м<sup>2</sup>, модуль продольной упругости  $E$  и объемный вес  $\gamma$  для исследуемых материалов, которые представлены в таблице 1, количество участков разбиения интервала  $[0, h]$   $n = 20$ .

Таблица 1 – Исходные данные

Материал столба	Модуль продольной упругости $E$ , Па	Объемный вес материала $\gamma$ , Н/м <sup>3</sup>
Гранит	$4,9 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^4$
Сталь	$2,1 \cdot 10^{11}$	$7,8 \cdot 10^4$
Алюминий	$6,9 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^4$
Дерево	$1,2 \cdot 10^{10}$	$0,6 \cdot 10^4$

**Математическая модель задачи.** Укорочение всего столба от собственного веса  $G(z)$  найдем по формуле

$$\Delta h = \int_0^h \frac{G(z)}{E \cdot S(z)} dz = \int_0^h \frac{\gamma \cdot V(z)}{E \cdot S(z)} dz, \quad (1)$$

где  $V(z) = \int_z^h S(z) dz$  – объём верхней давящей части столба  $z - h$ , для вычисления которого применим формулу Ньютона-Лейбница и окончательно получим:

$$V(z) = S_0 \left( \frac{3h}{4} - z + \frac{z^2}{4h} \right). \quad (2)$$

Подставив в формулу (1) закон изменения площади поперечного сечения столба по высоте  $S(z) = S_0 \left( 1 - 0,5 \frac{z}{h} \right)$  и формулу (2), выводим окончательную формулу укорочения столба:

$$\Delta h = \int_0^h \frac{\gamma}{4E} \frac{3h^2 - 4hz + z^2}{h - 0,5z} dz. \quad (3)$$

Для реализации расчетов в Excel вычислим приблизительное значение интеграла, применив численное интегрирование методом трапеций. Для этого разобьём интервал  $[0; h_j]$  на  $n$  участков длиной  $\Delta z_j = \frac{h_j}{n}$ , где  $j = 1, 2, 3, 4$ .

Полученные промежуточные точки пронумеруем от 1 до  $n + 1$ . Используем переменную  $i$  для определения номера промежуточной точки. Для каждой  $i$ -ой точки вычислим значения аргумента  $z_{i,j} = (i - 1) \cdot \Delta z_j$  и подынтегральной

$$\text{функции } f_{i,j} = \frac{\gamma}{4E} \frac{3h_j^2 - 4h_j z_{i,j} + z_{i,j}^2}{h_j - 0,5z_{i,j}}.$$

Окончательно получим формулу для вычисления укорочения  $j$ -ого столба:

$$\Delta h_j \approx \sum_{i=2}^{n+1} \frac{f_{i-1,j} + f_{i,j}}{2} \cdot \Delta z_j.$$

**Расчеты в Excel.** С целью оптимизации расчетов в Excel создаем лист Гранит, где выполняем расчет для столба из гранита различной высоты (рисунок 2, 3).

Научно-исследовательская работа							
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКОРОЧЕНИЯ СТОЛБОВ РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ И							
студент группы 10301321 А.Н. Курлянич							
Исходные данные							
Высота столбов:	h <sub>1</sub> =	4					
	h <sub>2</sub> =	7					
	h <sub>3</sub> =	8,5					
	h <sub>4</sub> =	10					
Таблица вычислений							
j	1	2			3		
	$\Delta z_1=$	$C_5J_6$		$\Delta z_2=$	$C_6J_6$		$\Delta z_3=$
i	$z_i, \text{ м}$	$f_i$	$\Delta h_1, \text{ м}$	$z_i, \text{ м}$	$f_i$	$\Delta h_2, \text{ м}$	$z_i, \text{ м}$
1	$= (A14-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B14-B14^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B14))$	0	$= (A14-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E14+E14^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E14))$	0	$= (A14-1)*SIS12$
2	$= (A15-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B15-B15^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B15))$	$=D14-((C14+C15)/2)*SC12$	$= (A15-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E15+E15^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E15))$	$=G14+((F14+F15)/2)*SF12$	$= (A15-1)*SIS12$
3	$= (A16-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B16-B16^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B16))$	$=D15-((C15+C16)/2)*SC12$	$= (A16-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E16+E16^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E16))$	$=G15+((F15+F16)/2)*SF12$	$= (A16-1)*SIS12$
4	$= (A17-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B17-B17^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B17))$	$=D16-((C16+C17)/2)*SC12$	$= (A17-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E17+E17^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E17))$	$=G16+((F16+F17)/2)*SF12$	$= (A17-1)*SIS12$
5	$= (A18-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B18-B18^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B18))$	$=D17-((C17+C18)/2)*SC12$	$= (A18-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E18+E18^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E18))$	$=G17+((F17+F18)/2)*SF12$	$= (A18-1)*SIS12$
6	$= (A19-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B19-B19^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B19))$	$=D18-((C18+C19)/2)*SC12$	$= (A19-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E19+E19^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E19))$	$=G18+((F18+F19)/2)*SF12$	$= (A19-1)*SIS12$
7	$= (A20-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B20-B20^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B20))$	$=D19-((C19+C20)/2)*SC12$	$= (A20-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E20+E20^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E20))$	$=G19+((F19+F20)/2)*SF12$	$= (A20-1)*SIS12$
8	$= (A21-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B21-B21^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B21))$	$=D20-((C20+C21)/2)*SC12$	$= (A21-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E21+E21^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E21))$	$=G20+((F20+F21)/2)*SF12$	$= (A21-1)*SIS12$
9	$= (A22-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B22-B22^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B22))$	$=D21-((C21+C22)/2)*SC12$	$= (A22-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E22+E22^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E22))$	$=G21+((F21+F22)/2)*SF12$	$= (A22-1)*SIS12$
10	$= (A23-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B23-B23^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B23))$	$=D22-((C22+C23)/2)*SC12$	$= (A23-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E23+E23^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E23))$	$=G22+((F22+F23)/2)*SF12$	$= (A23-1)*SIS12$
11	$= (A24-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B24-B24^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B24))$	$=D23-((C23+C24)/2)*SC12$	$= (A24-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E24+E24^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E24))$	$=G23+((F23+F24)/2)*SF12$	$= (A24-1)*SIS12$
12	$= (A25-1)*SC12$	$=SJS5*(3*SC55^2-4*SC55*B25-B25^2)/(4*SJS8*(SC55-0.5*B25))$	$=D24-((C24+C25)/2)*SC12$	$= (A25-1)*SF12$	$=SJS5*(3*SC56^2-4*SC56*E25+E25^2)/(4*SJS8*(SC56-0.5*E25))$	$=G24+((F24+F25)/2)*SF12$	$= (A25-1)*SIS12$

Рисунок 2 – Фрагмент Excel-документа с расчетными формулами для гранитного столба различной высоты

Научно-исследовательская работа												
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКОРОЧЕНИЯ СТОЛБОВ РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ												
студент группы 10301321 А.Н. Курлянич												
Исходные данные												
Высота столбов:	h <sub>1</sub> =	4 м										
	h <sub>2</sub> =	7 м										
	h <sub>3</sub> =	8,5 м										
	h <sub>4</sub> =	10 м										
Объемный вес материала $\gamma = 25000 \text{ Н/м}^3$												
Количество участков разбивания n = 20												
Площадь поперечного сечения $S_0 = 0,09 \text{ м}^2$												
Модуль продольной упругости E = 49000000000 Па												
Таблица вычислений												
j	1			2			3			4		
	$\Delta z_1=$	0,2	м	$\Delta z_2=$	0,35	м	$\Delta z_3=$	0,425	м	$\Delta z_4=$	0,5	м
i	$z_i, \text{ м}$	$f_i$	$\Delta h_1, \text{ м}$	$z_i, \text{ м}$	$f_i$	$\Delta h_2, \text{ м}$	$z_i, \text{ м}$	$f_i$	$\Delta h_3, \text{ м}$	$z_i, \text{ м}$	$f_i$	$\Delta h_4, \text{ м}$
1	0	1,53061E-06	0	0	2,67857E-06	0	0	3,25255E-06	0	0	3,82653E-06	0
2	0,2	1,46651E-06	2,99712E-07	0,35	2,56639E-06	9,17869E-07	0,425	3,11633E-06	1,35339E-06	0,5	3,66627E-06	1,8732E-06
3	0,4	1,40172E-06	5,86535E-07	0,7	2,45301E-06	1,79626E-06	0,85	2,97865E-06	2,64857E-06	1	3,5043E-06	3,66584E-06
4	0,6	1,33618E-06	8,60325E-07	1,05	2,33832E-06	2,63475E-06	1,275	2,83939E-06	3,88491E-06	1,5	3,34046E-06	5,37703E-06
5	0,8	1,26984E-06	1,12093E-06	1,4	2,22222E-06	3,43284E-06	1,7	2,69841E-06	5,06169E-06	2	3,1746E-06	7,0058E-06
6	1	1,20262E-06	1,36817E-06	1,75	2,10459E-06	4,19003E-06	2,125	2,55558E-06	6,17816E-06	2,5	3,00656E-06	8,55109E-06
7	1,2	1,13445E-06	1,60188E-06	2,1	1,98529E-06	4,90576E-06	2,55	2,41071E-06	7,2335E-06	3	2,83613E-06	1,00118E-05
8	1,4	1,06524E-06	1,82185E-06	2,45	1,86418E-06	5,57942E-06	2,975	2,26364E-06	8,2268E-06	3,5	2,66311E-06	1,13866E-05
9	1,6	9,94898E-07	2,02787E-06	2,8	1,74107E-06	6,21034E-06	3,4	2,11416E-06	9,15708E-06	4	2,48724E-06	1,26742E-05
10	1,8	9,23305E-07	2,21969E-06	3,15	1,61578E-06	6,79779E-06	3,825	1,96202E-06	1,00233E-05	4,5	2,30826E-06	1,3873E-05
11	2	8,5034E-07	2,39705E-06	3,5	1,4881E-06	7,34097E-06	4,25	1,80697E-06	1,08242E-05	5	2,12585E-06	1,49816E-05
12	2,2	7,75862E-07	2,55967E-06	3,85	1,35776E-06	7,83899E-06	4,675	1,64871E-06	1,15585E-05	5,5	1,93966E-06	1,59979E-05
13	2,4	6,99708E-07	2,70723E-06	4,2	1,22449E-06	8,29089E-06	5,1	1,48688E-06	1,22248E-05	6	1,74927E-06	1,69202E-05
14	2,6	6,21693E-07	2,83937E-06	4,55	1,08796E-06	8,69556E-06	5,525	1,3211E-06	1,28215E-05	6,5	1,55423E-06	1,77461E-05
15	2,8	5,41601E-07	2,9557E-06	4,9	9,47802E-07	9,05182E-06	5,95	1,1509E-06	1,33468E-05	7	1,354E-06	1,84731E-05
16	3	4,59184E-07	3,05578E-06	5,25	8,03571E-07	9,35831E-06	6,375	9,75765E-07	1,37987E-05	7,5	1,14796E-06	1,90986E-05
17	3,2	3,7415E-07	3,13911E-06	5,6	6,54762E-07	9,61352E-06	6,8	7,95068E-07	1,4175E-05	8	9,35374E-07	1,96194E-05
18	3,4	2,86158E-07	3,20514E-06	5,95	5,00776E-07	9,81574E-06	7,225	6,08086E-07	1,44732E-05	8,5	7,15395E-07	2,00321E-05
19	3,6	1,94805E-07	3,25324E-06	6,3	3,40909E-07	9,96304E-06	7,65	4,13961E-07	1,46904E-05	9	4,87013E-07	2,03327E-05
20	3,8	9,96113E-08	3,28268E-06	6,65	1,7432E-07	1,00532E-05	8,075	2,11674E-07	1,48233E-05	9,5	2,49028E-07	2,05167E-05
21	4	0	3,29264E-06	7	0	1,00837E-05	8,5	0	1,48683E-05	10	0	2,0579E-05

Рисунок 3 – Excel-документ с расчетом укорочения гранитного столба различной высоты

Путем копирования листа Гранит и внесения изменений в исходные данные (в частности модуля продольной упругости и объемного веса материала) выполняем расчеты для столбов из стали, алюминия и дерева. Результаты расчетов сводим в одну таблицу (рисунок 4) и для наглядности строим графические зависимости (рисунок 5).

	A	B	C	D	E	F
1	Укорочение $\Delta h$ , мкм					
2	Высота $h$ , м	Гранит	Сталь	Алюминий	Дерево	
3	4	3,292639258	2,39704138	2,525311153	3,226786473	
4	7	10,08370773	7,340939226	7,733765405	9,882033573	
5	8,5	14,86832415	10,82413998	11,40335817	14,57095767	
6	10	20,57899536	14,98150862	15,7831947	20,16741546	
7						

Гранит | Сталь | Алюминий | Дерево | **Сводная таблица**

Рисунок 4 – Сводная таблица

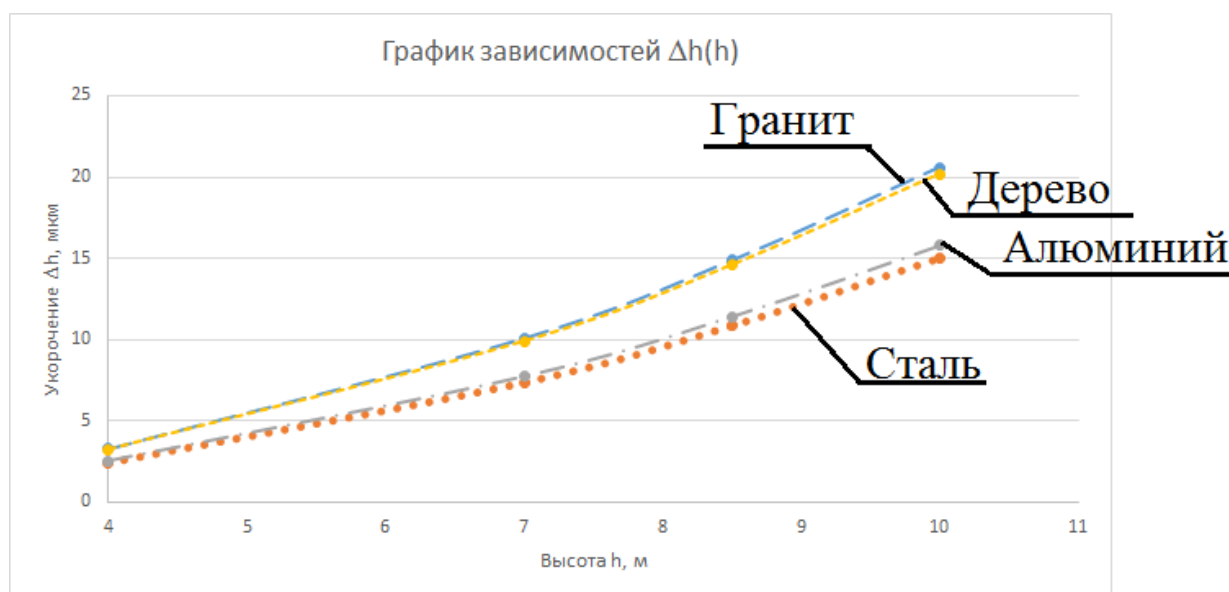


Рисунок 5 – Графическое представление результатов расчетов

### Литература

1. Механика материалов : пособие / Ю. В. Василевич [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – 181 с

2. Краков, М. С. Численные методы и обработка данных : пособие / М. С. Краков, С. Г. Погирницкая. – Минск : БНТУ, 2021. – 87 с.

3. Рудикова Л.В. Microsoft Office Excel 2016. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 640 с.

### **Редкоземельные металлы - основа создания конструкционных материалов для современного машиностроения**

Студенты гр. 10903121 Иванцевич А.О., Буян Д.А.

Научный руководитель - ст. преподаватель Комяк И.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Редкоземельные металлы занимают особое место в промышленности и науке. Их удивительные свойства и широта условий применения позволяют создавать материалы и изделия с уникальными возможностями. Они являются неотъемлемой частью современных технологий и науки, используются в машиностроении, приборостроении, атомной технике, радиоэлектронике, химической, оптической и атомной промышленности.

Понятие «редкие металлы» - условное. Оно скорее относится к производству и использованию того или иного металла, чем к его запасам.

Редкие металлы производятся в небольшом объеме, это объясняется тем, что многие из них не образуют в земной коре сколько-нибудь значительных месторождений; во-вторых, относительно малой их изученностью и, в-третьих, большой трудностью извлечения этих металлов из природных соединений.

Всего немногим более двухсот лет назад люди использовали всего несколько металлов. И только в 19 веке число их значительно возросло и в настоящее время речь уже идет об использовании почти всех элементов периодической системы Д. И. Менделеева.

Классифицировать редкие металлы можно на следующие группы (по К. И. Лукашеву):

1) легирующие и тугоплавкие: вольфрам, молибден, кобальт, ванадий, цирконий, ниобий, тантал, титан;

2) легкие: литий, рубидий, цезий, бериллий, стронций, барий;

3) цветные: кадмий, ртуть, мышьяк, сурьма, висмут;