

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный аграрный университет- Московская
сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»

Кафедра «Сопротивление материалов и детали машин»

***ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ***

*Учебно-методическое пособие
для студентов заочной формы обучения*

Студент _____

Институт _____

Курс _____ Группа _____

МОСКВА
2024

Рецензент: Атаров Н.М. – к.т.н., профессор кафедры «Сопротивление материалов» Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет ФГБОУ ВО (НИУ МГСУ)

Гамидов А.Г.

Лабораторные работы по сопротивлению материалов / Гамидов А.Г. – М.: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА, 2024. – 38 с.

Учебно-методическое пособие разработано с учетом требований Минобразования РФ для студентов, обучающихся по направлениям: 23.03.03 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 35.03.06 – «Агроинженерия» профиль Технические системы в агробизнесе, 35.03.06 – «Агроинженерия» профиль Технический сервис в агропромышленном комплексе.

ИНСТРУКЦИЯ

по безопасности при проведении лабораторных работ

1. Нахождение студентов в лаборатории допускается только в присутствии преподавателя или лаборанта, при строгом соблюдении дисциплины и порядка.

2. Находясь в лаборатории, студентам строго запрещается самостоятельно производить какие-то либо манипуляции с оборудованием (включение, изменение настроек и т.д.), не используемым в выполняемой лабораторной работе.

3. Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только после прохождения инструктажа по охране труда в лаборатории и на каждом рабочем месте, который проводит преподаватель, ведущий занятия. После проведения инструктажа делается соответствующая запись с обязательной подписью проинструктированных студентов в журнале лабораторных работ.

4. К проведению очередной лабораторной работы студенты допускаются только после изучения методических указаний, ознакомления с правилами пользования приборами и оборудованием, и проверки знаний по безопасному проведению предстоящей работы.

5. Перед началом выполнения работы следует:

5.1. Убрать из рабочей зоны посторонние предметы (сумки, пакеты и т.д.), инструменты, приспособления и приборы, не используемые в работе; обеспечить свободный доступ к общему распределительному электросчету и выключателям электроустановок на рабочих местах;

5.2. Проверить наличие, комплектность и исправность средств защиты, тушения пожара, аптечек; наличие и исправность необходимых для работы инструментов, приспособлений, приборов, оборудования. Разложить их так, чтобы ими было удобно и безопасно пользоваться;

5.3. Внешним осмотром проверить исправность проводов, электрошнуров, выключателей, розеток и вилок. Они не должны иметь повреждения изоляции, оголенных соединений, трещин и сколов.

6. При выполнении лабораторных работ возможно возникновение следующих опасных факторов: быстрое перемещение частей установок, внезапное разрушение испытуемых образцов, повышенное напряжение электропитания установок, давление масла в гидравлической системе машин, высокая температура элементов машин, острые кромки образцов и др.

7. При проведении работ необходимо: выполнять правила и порядок их проведения, предусмотренные указаниями по их выполнению, работы проводить аккуратно, без суеты и спешки.

8. Проводить испытания образцов на машинах могут только лаборанты и преподаватели.

9. Преподавателям и лаборантам запрещено оставлять работающую машину или установку, запрещено отходить от нее и допускать в зону работы посторонних лиц. При работе на машинах запрещается находиться в лаборатории одному студенту, лаборанту или преподавателю. Не допускается скопления студентов у работающих машин.

10. Студенты, грубо нарушившие требования безопасности, отстраняются от работ до особого решения кафедры.

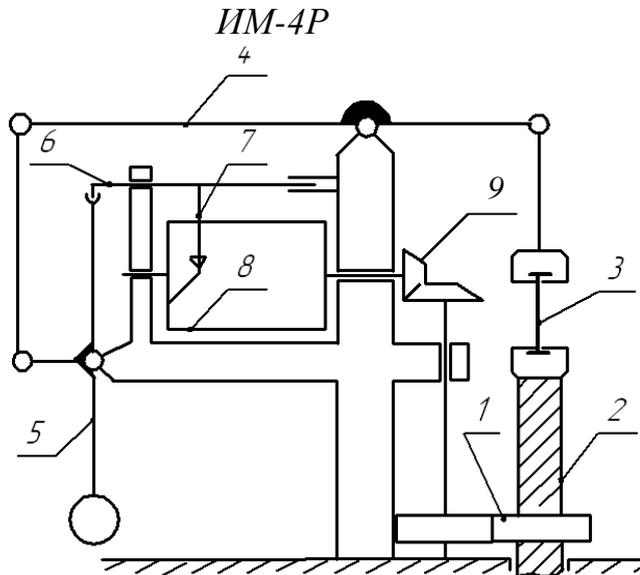
С инструкцией ознакомлен _____ (подпись студента)

« _____ » _____ 202 _____ года

Лабораторная работа № 1

Изучение диаграммы растяжения и определение основных механических характеристик малоуглеродистой стали

Схема испытательной машины



Масштабы диаграммы:

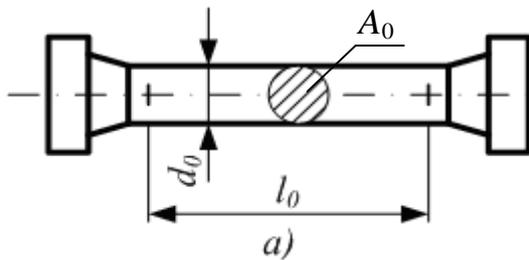
Вертикальный: в 1 мм = 100 Н.

Горизонтальный: в 1 мм = 0,01 мм.

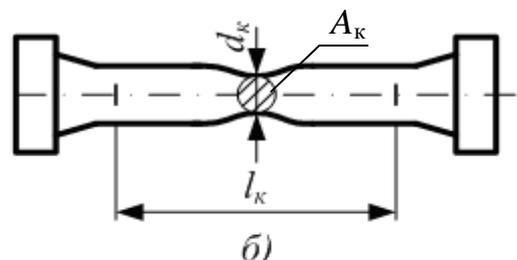
Размеры образца:

До опыта	После опыта
$d_0 =$ мм	$d_k =$ мм
$l_0 =$ мм	$l_k =$ мм
$A_0 =$ мм ²	$A_k =$ мм ²
$V =$ мм ³	

1 – цилиндрическая пара, 2 – ходовой винт, 3 – образец, 4 – система рычагов, 5 – маятник, 6 – каретка, 7 – перо, 8 – барабан с бумагой, 9 – коническая пара.



а) эскиз образца до испытания



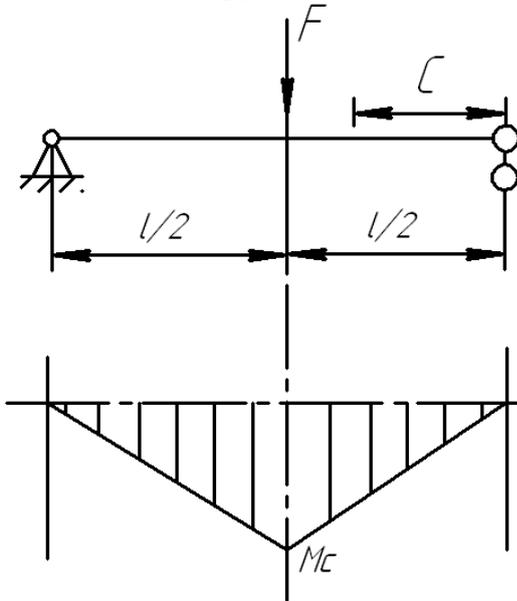
б) эскиз образца в момент образования шейки

в) эскиз образца после разрыва
Результаты опыта

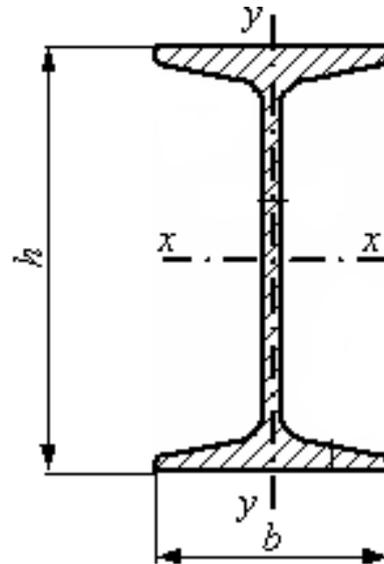
Лабораторная работа № 2

Изучение закона распределения нормальных напряжений при изгибе балки

Схема нагружения балки



Размещение тензометров



Данные об образце:

Двутавр №

Высота сечения балки: $h =$

мм.

Длина пролета: $l =$

мм.

Расстояние до сечения: $C =$

мм.

Осевой момент инерции сечения: $I_x =$

мм⁴.

Осевой момент сопротивления сечения: $W_x = I_x / y_{max} =$

мм³.

Модуль продольной упругости: $E =$

МПа.

Удлинения измерялись _____

Эпюра напряжений

--	--	--	--	--	--	--	--

Изгибающий момент ΔM_C в сечении на расстоянии C от опоры:

$$\Delta M_C = -\Delta F_{\text{ср}} \frac{C}{2} = \quad \text{Н}\cdot\text{мм.}$$

($\Delta F_{\text{ср}}$ – вес груза)

Результаты опыта

№ тензометра на схеме		3		4		5		6	
Координаты, у тензодатчиков, мм									
Коэффициент увеличения прибора, m									
Нагрузка F , Н	ΔF	Отсчет	Δ_3	Отсчет	Δ_4	Отсчет	Δ_5	Отсчет	Δ_6
Среднее приращение $\Delta_{\text{ср}}$									
Опытное напряжение $\sigma_0 = \frac{\Delta_{\text{ср}}}{m} E$									
Расчетное напряжение $\sigma_p = (\Delta M \cdot y) / I_x$									
Погрешность $(\sigma_p - \sigma_0) \cdot 100 / \sigma_p$									

Выводы _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 3

Изучение деформации балки при изгибе

Данные по образцу:

Длина пролета $l =$ мм.

Плечо $S =$ мм.

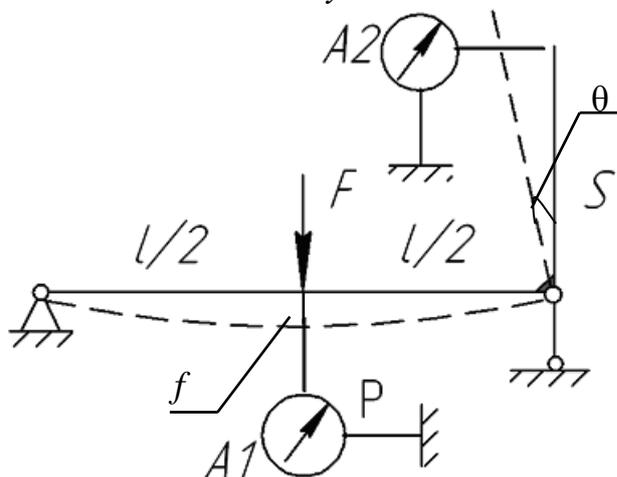
Размеры сечения балки:

$b =$ мм.

$h =$ мм.

$I_z = \sigma \frac{h^3}{12} =$ мм⁴.

Схема установки



Результаты опыта

Нагрузка, Н		Отчет по индикатору №1		Отчет по индикатору №2	
F	ΔF	A_1	ΔA_1	A_2	ΔA_2
	$\Delta F_{\text{ср}} =$		$\Delta A_{1\text{ср}} =$		$\Delta A_{2\text{ср}} =$

Прогибы и углы поворота при нагрузке $\Delta F_{\text{ср}} =$ Н.

Виды перемещения	Из расчета	Из опыта
Прогиб, мм	$\Delta f = \Delta F \frac{l^3}{48EI_z} =$	$\Delta f = \Delta A_{1\text{ср}} =$

Угол поворота опорного сечения, рад	$\Delta\theta = \Delta F \cdot \frac{l^2}{16EI_z} =$	$\Delta\theta = \Delta A_{2cp}/S =$
-------------------------------------	--	-------------------------------------

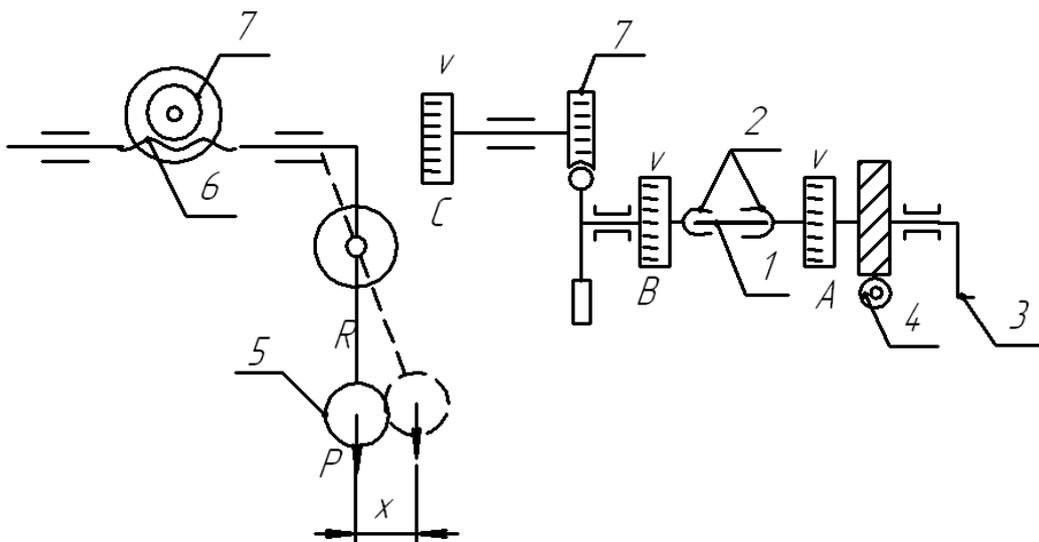
Выводы _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 4

Изучение деформации скручивания образцов из различных материалов. Определение механических характеристик

Схема установки _____



1 – образец; 2 – зажимы; 3 – рукоятка; 4 – червячная передача; 5 – маятник; 6,7 – реечное устройство.

Материал и размеры образцов

Материал	Размерность	Сталь	Чугун
Модуль продольной упругости, E	МПа		
Коэффициент Пуассона, ν	–		
Диаметр образца, d	мм		
Длина образца, l	мм		

φ , рад

Результаты опыта

Материал	Размерность	Сталь	Чугун
Среднее приращение угла, $\Delta\varphi_{\text{ср}}$	рад		
Среднее приращение момента, $\Delta M_{\text{ср}}$	Н·мм		
Модуль сдвига из опыта, $G = \frac{\Delta M_{\text{ср}} l}{\Delta\varphi_{\text{ср}} I_p}$	МПа		
Момент предела пропорциональности, $M_{\text{пц}}$	Н·мм		
Предел пропорциональности, $\tau_{\text{пц}} = \frac{M_{\text{пц}}}{W_p}$	МПа		
Разрушающий крутящий момент, $M_{\text{кв}}$	Н·мм		
Предел прочности при кручении, $\tau_{\text{в}} = \frac{M_{\text{кв}}}{W_{\text{пл}}}$	МПа		

Эскизы образцов после разрушения

Сталь

Чугун

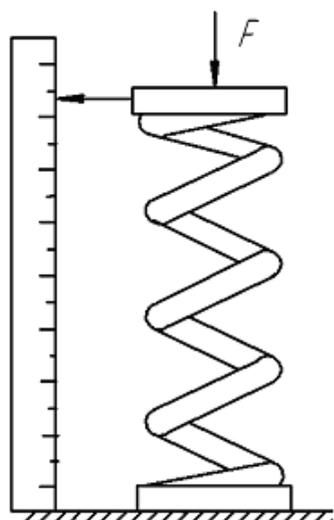
Выводы _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 5

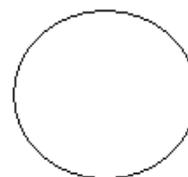
Изучение упругих деформаций цилиндрической пружины

Схема установки

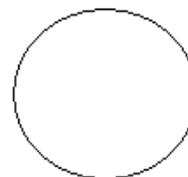


Распределение напряжений:

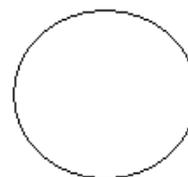
а) При кручении



б) При срезе



в) Совмещенное



Данные о материале и размерах пружины

Материал _____

Модуль сдвига $G =$ МПа.

Наружный диаметр $D_n =$ мм.

Диаметр проволоки $d =$ мм.

Средний диаметр пружины $D = D_n - d$ мм.

Число рабочих витков $n =$

Журнал наблюдений

Нагрузка, Н		Деформация пружины, мм	
F	ΔF	λ	$\Delta\lambda$

Результаты опыта

Среднее приращение нагрузки:

$$\Delta F_{\text{cp}} = \quad \text{Н.}$$

Характеристика	Расчетное значение	Опытное значение
Среднее приращение деформации, мм	$\Delta\lambda_{\text{cp.}} = \frac{8\Delta F_{\text{cp}} D^3 n}{Gd^4} =$	$\Delta\lambda_{\text{cp}} =$
Коэффициент жесткости пружины, Н/мм	$C = \frac{Gd^4}{8D^3 n} =$	$C = \frac{\Delta F_{\text{cp}}}{\Delta\lambda_{\text{cp}}} =$

Наибольшее касательное напряжение:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{8F_{\text{max}} D}{\pi d^3} = \quad \text{МПа.}$$

Диаграмма сжатия пружины

$F, \text{ Н}$							

$\lambda, \text{ мм}$

Выводы _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 6

Экспериментальная проверка теории косоугольного изгиба балок

1. Балка прямоугольного сечения

Схема установки

Материал _____

Модуль продольной упругости:

$E =$ МПа.

Размеры балки: $h =$ мм.

$b =$ мм.

$l =$ мм.

Осевые моменты инерции:

$I_y = h \frac{b^3}{12} =$ мм⁴.

$I_z = b \frac{h^3}{12} =$ мм⁴.

Нагрузка: $F =$ Н.

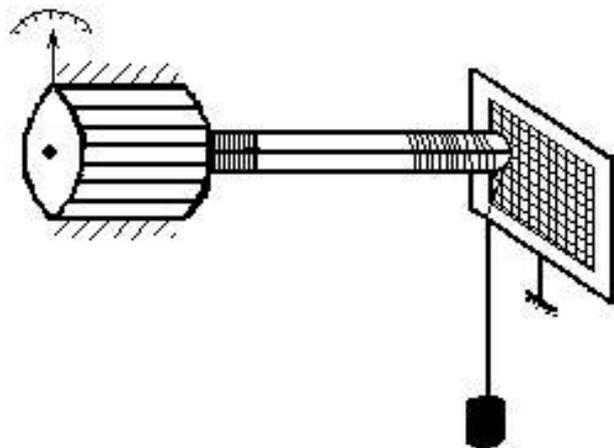


Таблица расчетных и экспериментальных данных

Значение угла α	0°	45°	90°
------------------------	-----------	------------	------------

Расположение сечения				
Направления нулевой линии и прогиба				
Составляющая нагрузка F_y , Н				
Составляющая нагрузка F_z , Н				
Расчетные прогибы, мм	$f_y = F_y \cdot \frac{l^3}{3EI_z}$			
	$f_z = F_z \cdot \frac{l^3}{3EI_y}$			
	$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2}$			
Прогиб из опыта, мм				
Угол φ , град.	Расчетный			
	Опытный			

$$\text{Угол наклона нулевой линии: } \operatorname{tg}\beta = -\frac{M_z}{M_y} \cdot \frac{I_y}{I_z} = -\frac{F \cos \alpha \cdot l}{F \sin \alpha \cdot l} \cdot \frac{I_y}{I_z} = -\operatorname{ctg}\alpha \cdot \frac{I_y}{I_z} \quad \beta =$$

Угол между направлением прогиба и направлением действия силы:
 $\varphi = 90^\circ - \alpha - \beta =$

2. Балка уголкового сечения

Уголок _____ № _____

Материал _____

Модуль упругости $E =$ _____ МПа.

Моменты инерции уголка

$$I_z = \text{_____ мм}^4.$$

$$I_y = \text{_____ мм}^4.$$

Нагрузка $F =$ _____ Н.

Длина балки $l =$ _____ мм.

Таблица расчетных и опытных данных

Значение угла α	0°	45°	90°
Расположение сечения			
Направление нулевой линии и прогиба			
Составляющая нагрузка F_y , Н			
Составляющая нагрузка F_z , Н			
Расчетные прогибы, мм	$f_y = F_y \cdot \frac{l^3}{3EI_z}$		

	$f_z = F_z \cdot \frac{l^3}{3EI_y}$			
	$f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2}$			
Прогиб из опыта, мм				
Угол φ , град.	Расчетный			
	Опытный			

Угол наклона нулевой линии: $tg\beta = -\frac{M_z}{M_y} \cdot \frac{I_y}{I_z} = -\frac{F \cos\alpha \cdot l}{F \sin\alpha \cdot l} \cdot \frac{I_y}{I_z} = -ctg\alpha \cdot \frac{I_y}{I_z} = \beta =$

Угол между направлением прогиба и направлением действия силы:
 $\varphi = 90^\circ - \alpha - \beta =$

Выводы _____

Подпись преподавателя _____

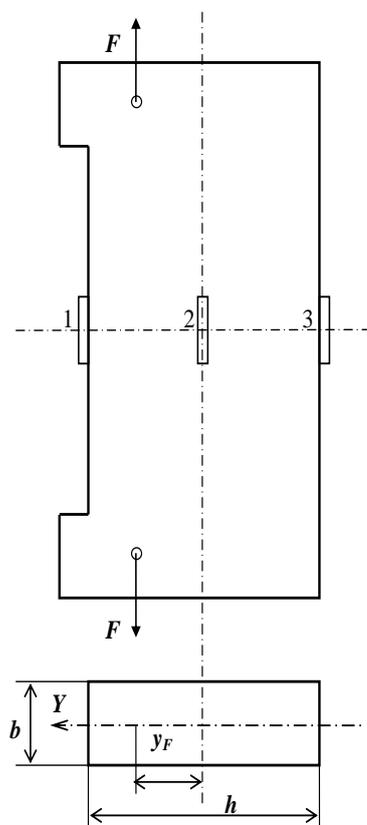
Лабораторная работа № 7

Изучение распределения напряжений при внецентренном растяжении

Данные по образцу:
 Эскиз образца и схема

- $E =$ МПа.
- $b =$ мм.
- $h =$ мм.
- $A =$ мм².
- $I_z =$ мм⁴.
- Эксцентриситет силы $y_F =$ мм
- Изгибающий момент $M_z = \Delta F_{cp} \cdot y_F =$ Н·мм

расположения тензодатчиков



Результаты опыта

$$I_z = \frac{ab^3}{12} = \text{мм}^4.$$

Радиус инерции сечения:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \frac{b}{\sqrt{12}} = \text{мм}.$$

Гибкость стержня:

$$\lambda = \lambda_z = \mu \cdot \frac{l}{i_z} =$$

Критическое напряжение:

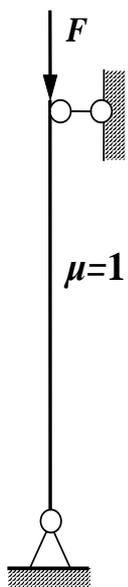
$$\sigma_{кр} = \pi^2 \cdot \frac{E}{\lambda^2} = \text{МПа}.$$

Расчетная
Схема

Критическая сила:

$$F_{кр} = \sigma_{кр} \cdot A =$$

Н.



Результаты опыта

$F, \text{Н}$	$S, \text{мм}$	$\Delta S, \text{мм}$

График устойчивости

$F, \text{Н}$									

$S, \text{мм}$

Критическая нагрузка: $F_{кр} =$

Н.

Изучение продольного изгиба в пластической стадии

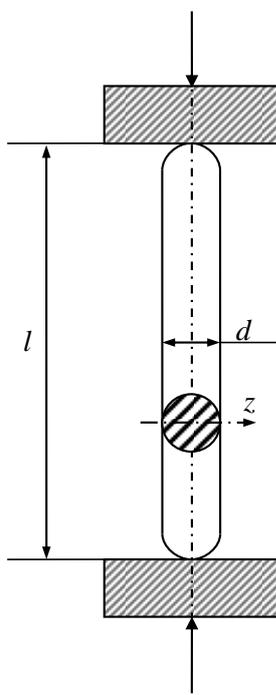


Схема установки образца _____
Материал _____

Модуль продольной упругости: $E =$ МПа.

Длина образца: $l =$ мм.

Размеры поперечного сечения: $d =$ мм.

Площадь сечения: $A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} =$ мм².

Осей момент инерции сечения:

$$I_z = \pi \cdot \frac{d^4}{64} = \text{мм}^4.$$

Радиус инерции сечения:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \frac{d}{4} = \text{мм}.$$

Гибкость стержня:

$$\lambda = \lambda_z = \mu \cdot \frac{l}{i_z} =$$

**Вид образца
после опыта**

Критическое напряжение по формуле Ясинского–Тетмайера:

$$\sigma_{кр} = 310 - 1,14\lambda = \text{МПа}.$$

Критическая сила:

$$F_{кр} = \sigma_{кр} A = \text{Н}.$$

Результаты опыта:

Критическая нагрузка: $F_{кр} = \text{Н}.$

Выводы _____

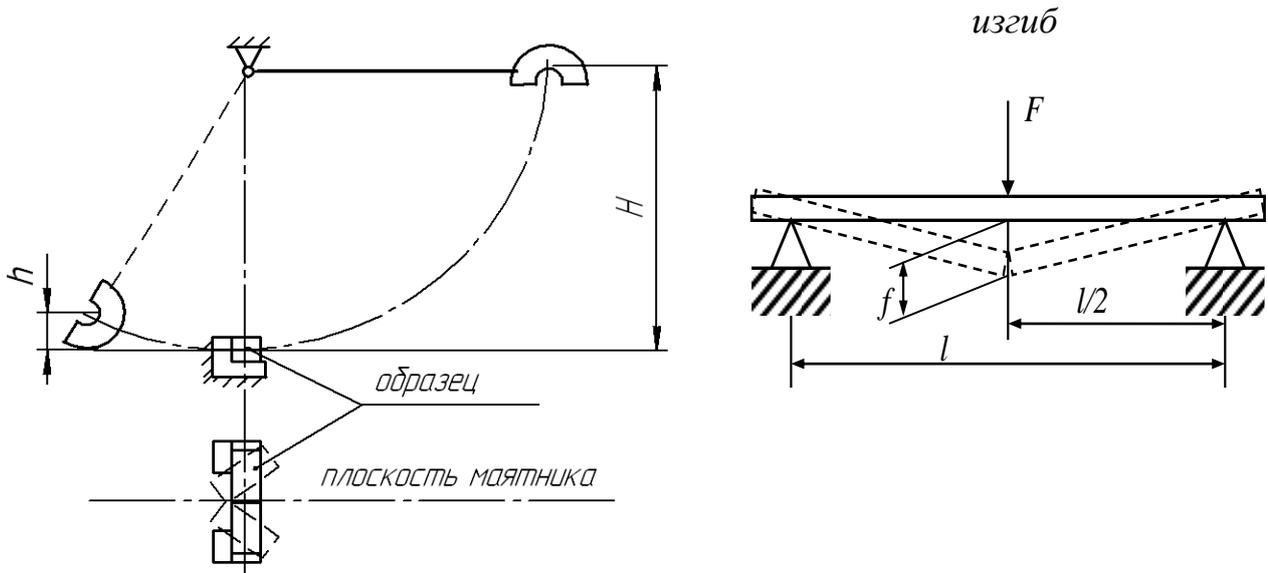
Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 10

**Испытания на удар образцов из разных материалов.
Сравнение статической и динамической прочности на изгиб**

Схема маятникового копра

Схема испытания на статический



Эскизы образцов (с размерами)

Результаты опыта

Материал	Площадь поперечного сечения A , мм ²	Статические характеристики				Динамическая прочность	
		Нагрузка F_{\max} , Н	Предел прочности σ_b , МПа	Максимальный прогиб f , мм	Работа деформации A , Дж	Работа разрушения A_p , Дж	Ударная вязкость, Дж/м ² $a_y = A_p/A$

Выводы _____

Подпись преподавателя _____

Перечень основных обозначений

- F – сила внешняя сосредоточенная
- R – главный вектор внутренних сил, реакция связи
- M – главный момент внутренних сил, момент сил
- N – нормальная (продольная) сила
- Q_z, Q_y – поперечные (перерезывающие) силы

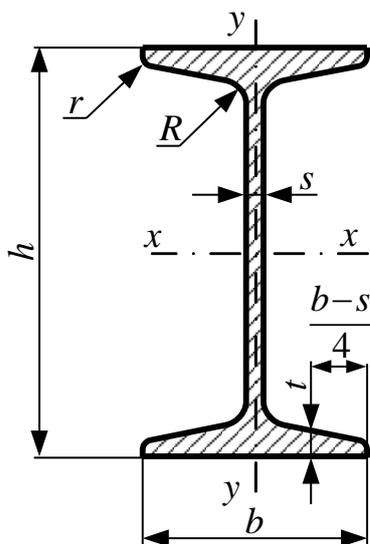
M_k	– крутящий момент
M_z, M_y	– изгибающие моменты
p	– полное напряжение, давление
σ	– нормальное напряжение
τ	– касательное напряжение
A	– площадь поперечного сечения
V	– объем стержня
$l (L)$	– длина стержня
ε	– относительная линейная деформация
γ	– относительная угловая деформация
E	– модуль упругости при растяжении-сжатии (модуль Юнга)
G	– модуль упругости при сдвиге
ν	– коэффициент Пуассона
n	– коэффициент запаса
d	– диаметр круглого поперечного сечения
b	– ширина прямоугольного поперечного сечения
h	– высота прямоугольного поперечного сечения
S_z, S_y	– статические моменты поперечного сечения
I_x, I_y, I_z	– осевые моменты инерции поперечного сечения
I_{zy}	– центробежный момент инерции поперечного сечения
I_ρ	– полярный момент инерции поперечного сечения
W_x, W_y, W_z	– осевые моменты сопротивления поперечного сечения
W_ρ	– полярный момент сопротивления поперечного сечения
i	– радиус инерции поперечного сечения
θ, φ	– угол закручивания, угол поворота поперечного сечения
ρ	– радиус кривизны изогнутой оси балки
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	– главные напряжения
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	– главные деформации
λ	– гибкость стержня
μ	– коэффициент приведения длины стержня
k_d	– коэффициент динамичности
A_p	– работа разрушения
a_p	– удельная работа разрушения
a_y	– ударная вязкость

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Сортамент прокатной стали:

1. Двутавры (ГОСТ 8239-89)

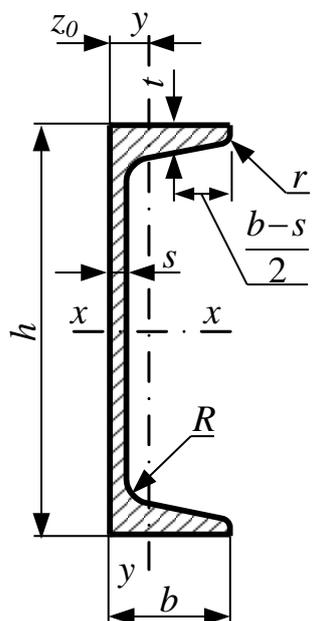


Обозначения:

- h — высота двутавра;
- b — ширина полки;
- s — толщина стенки;
- t — средняя толщина полки;
- R — радиус внутреннего закругления;
- r — радиус закругления полки;
- J — момент инерции;
- W — момент сопротивления;
- S — статический момент полусечения;
- i — радиус инерции.

№ двутавра	Размеры						Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей							
	h	b	s	t	R	r			$x-x$				$y-y$			
									не более							J_x , см ⁴
	мм															
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22	
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,5	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38	
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,7	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55	
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,9	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70	
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88	
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,0	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07	
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,0	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27	
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,3	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37	
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,5	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54	
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69	
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,2	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79	
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,6	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89	
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,0	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03	
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,5	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09	
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100	78,5	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23	
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118	92,6	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39	
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138	108	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54	

2. Швеллеры (ГОСТ 8240-89)

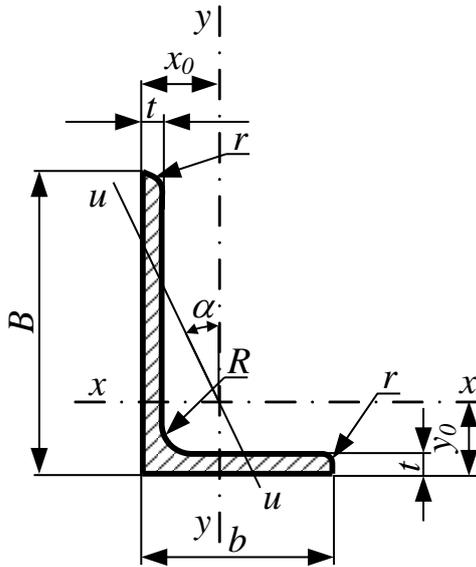


Обозначения:

- h — высота швеллера;
- b — ширина полки;
- s — толщина стенки;
- t — толщина полки;
- R — радиус внутреннего закругления;
- z_0 — расстояние от оси y - y до наружной грани стенки;
- r — радиус закругления полки;
- J — момент инерции;
- W — момент сопротивления;
- S — статический момент полусечения;
- i — радиус инерции.

№ швеллера	Размеры						Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей							z_0 , см
	h	b	s	t	R				x - x			y - y				
					не более				J_x , см ⁴	W_x , см ³	i_x , см	S_x , см ³	J_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	
	мм															
5	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	4,84	22,8	9,1	1,92	5,59	5,61	2,75	0,95	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	5,90	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	23,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7,0	3,0	10,90	8,59	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	13,30	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8,0	3,0	15,60	12,3	491	70,2	5,60	40,8	45,	11,0	1,70	1,67
16	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,10	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16a	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,50	15,3	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	180	70	5,1	8,7	9,0	3,5	20,70	16,3	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94
18a	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	22,20	17,4	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	200	76	5,2	9,0	9,5	4,0	23,40	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
22	220	82	5,4	9,5	10,0	4,0	26,70	21,0	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
24	240	90	5,6	10,0	10,5	4,0	30,60	24,0	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
27	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	35,20	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	40,50	31,8	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7,0	11,7	13,0	5,0	46,50	36,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	53,40	41,9	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	400	115	8,0	13,5	15,0	6,0	61,50	48,3	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

3. Уголки неравнополочные (ГОСТ 8510-86)



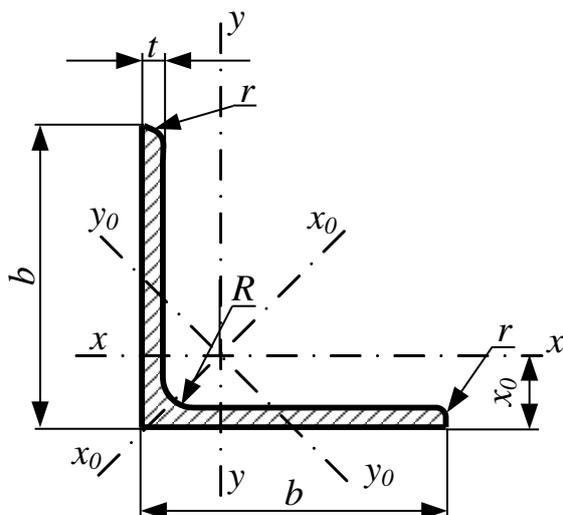
Обозначения:

- B — высота швеллера;
- b — ширина полки;
- t — толщина полки;
- R — радиус внутреннего закругления;
- r — радиус закругления полки;
- J — момент инерции;
- i — радиус инерции;
- x_0, y_0 — расстояния от центра тяжести до наружных граней полки;
- J_{xy} — центробежный момент инерции.

№ уголка	мм					Площадь поперечного сечения, см ²	Справочные значения для осей						x_0 , см	y_0 , см	J_{xy} , см ⁴	Угол наклона оси, tg α	Масса 1 м уголка, кг
	B	b	t	R	r		$x-x$		$y-y$		$u-u$						
							J_x , см ⁴	i_x , см	J_y , см ⁴	i_y , см	$J_{u\min}$, см ⁴	$i_{u\min}$, см					
2,5/ 1,6	25	16	3			1,16	0,70	0,78	0,22	0,44	0,13	0,34	0,42	0,86	0,22	0,392	0,91
3,2/ 2	32	20	3	3,5	1,2	1,49	1,52	1,01	0,46	0,55	0,28	0,43	0,49	1,08	0,47	0,382	1,17
			4			1,94	1,93	1,00	0,57	0,54	0,35	0,43	0,53	1,12	0,59	0,374	1,52
4,/ 2,5	40	25	3			1,89	3,06	1,27	0,93	0,70	0,56	0,54	0,59	1,32	0,96	0,385	1,48
			4	4,0	1,3	2,47	3,93	1,26	1,18	0,69	0,71	0,54	0,63	1,37	1,22	0,381	1,94
			5			3,03	4,73	1,25	1,41	0,68	0,86	0,5	0,66	1,41	1,44	0,374	2,37
4,5/ 2,8	45	28	3			2,14	4,41	1,48	1,32	0,79	0,79	0,61	0,64	1,47	1,38	0,382	1,68
			4	5,0	1,7	2,80	5,68	1,42	1,69	0,78	1,02	0,60	0,68	1,51	1,77	0,379	2,20
5/ 3,2	50	32	3			2,42	6,18	1,60	1,99	0,91	1,18	0,70	0,72	1,60	2,01	0,403	1,90
			4	5,5	1,8	3,17	7,98	1,59	2,56	0,90	1,52	0,69	0,76	1,65	2,59	0,401	1,40
5,6/ 3,6	56	36	4			3,58	11,37	1,78	3,70	1,02	2,19	0,78	0,84	1,82	3,74	0,406	2,81
			5	6,0	2,0	4,41	13,82	1,77	4,48	1,01	2,65	0,78	0,88	1,87	4,50	0,404	3,46
6,3/ 4,0	63	40	4			4,04	16,33	2,01	5,16	1,13	3,07	0,87	0,91	2,03	5,25	0,397	3,17
			5			4,98	19,91	2,00	6,26	1,12	3,73	0,86	0,95	2,08	6,41	0,396	3,91
			6	7,0	2,3	5,90	23,31	1,99	7,29	1,11	4,36	0,86	0,99	2,12	7,44	0,393	4,63
			8			7,68	29,60	1,96	9,15	1,09	5,58	0,85	1,07	2,20	9,27	0,386	6,03
7/ 4,5	70	45	5	7,5	2,5	5,59	27,76	2,23	9,05	1,27	5,34	0,98	1,05	2,28	9,12	0,406	4,39

№ уголка	мм					Площадь поперечного сечения, см ²	Справочные значения для осей						x ₀ , см	y ₀ , см	J _{xy} , см ⁴	Угол наклона оси, tg α	Масса 1 м уголка, кг
	B	b	t	R	r		x-x		y-y		u-u						
							J _x , см ⁴	i _x , см	J _y , см ⁴	i _y , см	J _{u_{min}} , см ⁴	i _{u_{min}} , см					
7,5/ 5	75	50	5	8	2,7	6,11	37,81	2,39	12,47	1,43	7,24	1,09	1,17	2,39	12,00	0,436	4,79
			6			7,25	40,92	2,38	14,60	1,42	8,48	1,08	1,21	2,44	14,10	0,435	5,69
			7			8,37	46,77	2,36	16,61	1,41	9,69	1,08	1,25	2,48	16,18	0,435	6,57
			8			9,47	52,38	2,35	18,52	1,40	10,87	1,07	1,29	2,52	17,80	0,430	7,43
8/ 5	80	50	5	8	2,7	6,36	41,64	2,56	12,68	1,41	7,57	1,00	1,13	2,60	13,20	0,387	4,49
			6			7,55	48,98	2,55	14,85	1,40	8,88	1,08	1,17	2,65	15,50	0,386	5,92
9/ 5,6	90	56	5,5	9	3,0	7,86	65,28	2,88	19,67	1,58	11,77	1,22	1,26	2,92	20,54	0,384	6,17
			6			8,54	70,58	2,88	21,22	1,58	12,70	1,22	1,28	2,95	22,23	0,384	6,70
			8			11,18	90,87	2,85	27,08	1,56	16,29	1,21	1,36	3,04	28,33	0,380	8,77
10/ 6,3	100	63	6	10	3,3	9,58	98,29	3,20	30,58	1,79	18,20	1,38	1,42	3,23	31,50	0,393	7,53
			7			11,09	112,86	3,19	34,99	1,78	20,83	1,37	1,46	3,28	36,10	0,392	8,70
			8			12,57	126,96	3,18	39,21	1,77	23,38	1,36	1,50	3,32	40,50	0,391	9,87
			10			15,47	153,95	3,15	47,18	1,75	28,34	1,35	1,58	3,40	48,60	0,387	12,14
11/ 7	110	70	6,5	8		11,45	142,42	3,53	45,61	2,00	26,94	1,53	1,58	3,55	46,80	0,402	8,98
			8			13,93	171,54	3,51	54,64	1,98	32,31	1,52	1,64	3,61	55,90	0,400	10,93
12,5 8	125	80	7	11	3,7	14,06	226,53	4,01	73,73	2,29	43,40	1,76	1,80	4,01	74,70	0,407	11,04
			8			15,98	225,62	4,00	80,95	2,28	48,82	1,7	1,84	4,05	84,10	0,406	12,58
			10			19,70	311,61	3,98	100,47	2,26	59,33	1,74	1,92	4,14	102	0,404	15,47
			12			23,36	364,79	3,95	116,84	2,24	69,47	1,72	2,00	4,22	118	0,400	18,34
14/ 9	140	90	8	12	4,0	18,00	363,68	4,49	119,79	2,58	70,27	1,58	2,03	4,49	121	0,411	14,13
			10			22,24	444,45	4,47	145,54	2,58	85,51	1,96	2,12	4,58	147	0,409	17,46
16/ 10	160	100	9	13	4,3	22,87	605,97	5,15	186,03	2,85	110,40	2,20	2,24	5,19	194	0,391	17,96
			10			25,28	666,59	5,13	204,09	2,84	121,16	2,19	2,28	5,23	213	0,390	19,85
			12			30,04	784,22	5,11	238,75	2,82	142,14	2,18	2,36	5,32	249	0,388	23,58
			14			34,72	897,19	5,08	271,60	2,80	162,49	2,16	2,43	5,40	282	0,385	27,26
18/ 11	180	110	10	14	4,7	28,33	952,28	5,80	276,37	3,12	165,44	2,42	2,44	5,88	295	0,376	22,20
			12			33,69	1122,19	5,77	324,09	3,10	194,28	2,40	2,52	5,97	348	0,374	26,40
20/ 12,5	200	125	11	14	4,7	34,87	1449,02	6,45	446,36	3,58	263,84	2,75	2,79	6,50	465	0,392	27,37
			12			37,89	1568,19	6,43	481,93	3,57	285,04	2,74	2,83	6,54	503	0,392	29,74
			14			43,87	1800,83	6,41	550,77	3,54	326,54	2,73	2,91	6,62	575	0,390	34,43
			16			49,77	2026,08	6,38	616,66	3,52	366,99	2,72	2,99	6,71	643	0,388	39,07

4. Уголки равнополочные (ГОСТ 8509-93)



Обозначения:

- b — ширина полки;
- t — толщина полки;
- R — радиус внутреннего закругления;
- r — радиус закругления полки;
- J — момент инерции;
- i — радиус инерции;
- x_0 — расстояния от центра тяжести до наружной грани полки;
- J_{xy} — центробежный момент инерции.

№ уголка	мм				Площадь поперечного сечения, см ²	Справочные значения для осей						J_{xy} , см ⁴	x_0 , см	Масса 1 м уголка, кг
	b	t	R	r		$x-x$		x_0-x_0		y_0-y_0				
						J_x , см ⁴	i_x , см	$J_{x_0 max}$, см ⁴	$i_{x_0 max}$, см	$J_{y_0 min}$, см ⁴	$i_{y_0 min}$, см			
2	20	3	3,5	1,2	1,13	0,40	0,59	0,63	0,75	0,17	0,39	0,23	0,60	0,89
		4	3,5	1,2	1,46	0,50	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	0,28	0,64	1,15
2,5	25	3	3,5	1,2	1,43	0,81	0,75	1,29	0,95	0,34	0,49	0,47	0,73	1,12
		4	3,5	1,2	1,86	1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	0,59	0,76	1,46
2,8	28	3	4,0	1,3	1,62	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	0,68	0,80	1,27
3	30	3	4,0	1,3	1,74	1,45	0,91	2,30	1,15	0,60	0,59	0,85	0,85	1,36
		4	4,0	1,3	2,27	1,84	0,90	2,92	1,13	0,77	0,58	1,08	0,89	1,78
3,2	32	3	4,5	1,5	1,86	1,77	0,97	2,80	1,23	0,74	0,63	1,03	0,89	1,46
		4	4,5	1,5	2,43	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	1,32	0,94	1,91
3,5	35	3	4,5	1,5	2,04	2,35	1,07	3,72	1,35	0,97	0,69	1,37	0,97	1,60
		4	4,5	1,5	2,67	3,01	1,06	4,76	1,33	1,25	0,68	1,75	1,01	2,10
		5	4,5	1,5	3,28	3,61	1,05	5,71	1,32	1,52	0,68	2,10	1,05	2,58
4	40	3	5,0	1,7	2,35	3,55	1,23	5,63	1,55	1,47	0,79	2,08	1,09	1,85
		4	5,0	1,7	3,08	4,58	1,22	7,26	1,53	1,90	0,78	2,68	1,13	2,42
		5	5,0	1,7	3,79	5,53	1,21	8,75	1,52	2,30	0,78	3,22	1,17	2,98
4,5	45	3	5,0	1,7	2,65	5,13	1,39	8,13	1,75	2,12	0,89	3,00	1,21	2,08
		4	5,0	1,7	3,48	6,63	1,38	10,52	1,74	2,74	0,89	3,89	1,26	2,73
		5	5,0	1,7	4,29	8,03	1,37	12,74	1,72	3,33	0,88	4,71	1,30	3,37
5	50	3	5,5	1,8	2,96	7,11	1,55	11,27	1,95	2,95	1,00	4,16	1,33	2,32
		4	5,5	1,8	3,89	9,21	1,54	14,63	1,94	3,80	0,99	5,42	1,38	3,05
		5	5,5	1,8	4,80	11,20	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	6,57	1,42	3,77
		6	5,5	1,8	5,69	13,07	1,52	20,72	1,91	5,43	0,98	7,65	1,46	4,47

№ уголка	мм				Площадь поперечного сечения, см ²	Справочные значения для осей						J _{xy} , см ⁴	x ₀ , см	Масса 1 м уголка, кг
	b	t	R	r		x-x		x ₀ -x ₀		y ₀ -y ₀				
						J _x , см ⁴	i _x , см	J _{x₀max} , см ⁴	i _{x₀max} , см	J _{y₀min} , см ⁴	i _{y₀min} , см			
5,6	56	4	6,0	2,0	4,38	13,10	1,73	20,79	2,18	5,41	1,11	7,69	1,52	3,44
		5	6,0	2,0	5,41	15,97	1,72	25,36	2,16	6,59	1,10	9,41	1,57	4,25
6,3	63	4	7,0	2,3	4,96	18,86	1,95	29,90	2,45	7,81	1,25	11,00	1,69	3,90
		5	7,0	2,3	6,13	23,10	1,94	36,80	2,44	9,52	1,25	13,70	1,74	4,81
		6	7,0	2,3	7,28	27,06	1,93	42,91	2,43	11,18	1,24	15,90	1,78	5,72
7	70	4,5	8,0	2,7	6,20	29,04	2,16	46,03	2,72	12,04	1,39	17,00	1,88	4,87
		5	8,0	2,7	6,86	31,94	2,16	50,67	2,72	13,22	1,39	18,70	1,90	5,38
		6	8,0	2,7	8,15	37,58	2,15	59,64	2,71	15,52	1,38	22,10	1,94	6,39
		7	8,0	2,7	9,42	42,98	2,14	68,19	2,69	17,77	1,37	25,20	1,99	7,39
		8	8,0	2,7	10,67	48,16	2,12	76,35	2,68	19,97	1,37	28,20	2,02	8,37
7,5	75	5	9,0	3,0	7,39	39,53	2,31	62,65	2,91	16,41	1,49	23,10	2,02	5,80
		6	9,0	3,0	8,78	46,57	2,30	73,87	2,90	19,28	1,48	27,30	2,06	6,89
		7	9,0	3,0	10,15	53,34	2,29	84,61	2,89	22,07	1,47	31,20	2,10	7,96
		8	9,0	3,0	11,50	59,84	2,28	94,89	2,87	24,80	1,47	35,00	2,15	9,02
		9	9,0	3,0	12,83	66,10	2,27	104,72	2,86	27,48	1,46	38,60	2,18	10,07
8	80	5,5	9,0	3,0	8,63	52,68	2,47	83,56	3,11	21,80	1,59	30,90	2,17	6,78
		6	9,0	3,0	9,38	56,97	2,47	90,40	3,11	23,54	1,58	33,40	2,19	7,36
		7	9,0	3,0	10,85	65,31	2,45	103,60	3,09	26,97	1,58	38,30	2,23	8,51
		8	9,0	3,0	12,30	73,36	2,44	116,39	3,08	30,32	1,57	43,00	2,27	9,65
9	90	6	10,0	3,3	10,61	82,10	2,78	130,00	3,50	33,97	1,79	48,10	2,43	8,33
		7		3,3	12,28	94,30	2,77	149,67	3,49	38,94	1,78	55,40	2,47	9,64
		8		3,3	13,93	106,11	2,76	168,42	3,48	43,80	1,77	62,30	2,51	10,93
		9		3,3	15,60	118,00	2,75	186,00	3,46	48,60	1,77	68,00	2,55	12,20
10	100	6,5	12,0	4,0	12,82	122,10	3,09	193,46	3,89	50,73	1,99	71,40	2,68	10,06
		7	12,0	4,0	13,75	130,59	3,08	207,01	3,88	54,16	1,98	76,40	2,71	10,79
		8	12,0	4,0	15,60	147,19	3,07	233,46	3,87	60,92	1,98	86,30	2,75	12,25
		10	12,0	4,0	19,24	178,95	3,05	283,83	3,84	74,08	1,96	110,00	2,83	15,10
		12	12,0	4,0	22,80	208,90	3,03	330,95	3,81	86,84	1,95	122,00	2,91	17,90
		14	12,0	4,0	26,28	237,15	3,00	374,98	3,78	99,32	1,94	138,00	2,99	20,63
11	110	7	12,0	4,0	15,15	175,61	3,40	278,54	4,29	72,68	2,19	106,00	2,96	11,89
		8	12,0	4,0	17,20	198,17	3,39	314,51	4,28	81,83	2,18	116,00	3,00	13,50

№ уголка	мм				Площадь поперечного сечения, см ²	Справочные значения для осей						J_{xy} , см ⁴	x_0 , см	Масса 1 м уголка, кг
	b	t	R	r		$x-x$		x_0-x_0		y_0-y_0				
						J_x , см ⁴	i_x , см	J_{x_0max} , см ⁴	i_{x_0max} , см	J_{y_0min} , см ⁴	i_{y_0min} , см			
12,5	125	8	14,0	4,6	19,69	294,36	3,87	466,76	4,87	121,98	2,49	172,00	3,36	15,46
		9	14,0	4,6	22,00	327,48	3,86	520,00	4,86	135,88	2,48	192,00	3,40	17,30
		10	14,0	4,6	24,33	359,82	3,85	571,04	4,84	148,59	2,47	211,00	3,45	19,10
		12	14,0	4,6	28,89	422,23	3,82	670,02	4,82	174,43	2,46	248,00	3,53	22,68
		14	14,0	4,6	33,37	481,76	3,80	763,90	4,78	199,62	2,45	282,00	3,61	26,20
		16	14,0	4,6	37,77	538,56	3,78	852,84	4,75	224,29	2,44	315,00	3,68	29,65
14	140	9	14,0	4,6	24,72	465,72	4,34	739,42	5,47	192,03	2,79	274,00	3,76	19,41
		10	14,0	4,6	27,33	512,29	4,33	813,62	5,46	210,96	2,78	301,00	3,82	21,45
		12	14,0	4,6	32,49	602,49	4,31	956,98	5,43	248,01	2,76	354,00	3,90	25,50
16	160	10	16,0	5,3	31,43	774,24	4,96	1229,10	6,25	319,33	3,19	455,00	4,30	24,67
		11	16,0	5,3	34,42	844,21	4,95	1340,06	6,24	347,77	3,18	496,00	4,35	27,02
		12	16,0	5,3	37,39	912,89	4,94	1450,00	6,23	375,78	3,17	537,00	4,39	29,35
		14	16,0	5,3	43,57	1046,47	4,92	1662,13	6,20	430,81	3,16	615,00	4,47	34,20
		16	16,0	5,3	49,07	1175,19	4,89	1865,73	6,17	484,64	3,14	690,00	4,55	38,52
		18	16,0	5,3	54,79	1290,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	3,13	771,00	4,63	43,01
18	180	20	16,0	5,3	60,40	1418,85	4,85	2248,26	6,10	589,43	3,12	830,00	4,70	47,41
		11	16,0	5,3	38,80	1216,44	5,60	1933,10	7,06	499,78	3,59	716,00	4,85	30,47
20	200	12	16,0	5,3	42,19	1316,62	5,59	2092,78	7,04	540,45	3,58	776,00	4,89	33,12
		12	18,0	6,0	47,10	1822,78	6,22	2896,16	7,84	749,40	3,99	1073,00	5,37	36,97
		13	18,0	6,0	50,85	1960,77	6,21	3116,18	7,83	805,35	3,98	1156,00	5,42	39,92
		14	18,0	6,0	54,60	2097,00	6,20	3333,00	7,81	861,00	3,97	1236,00	5,46	42,80
		16	18,0	6,0	61,98	2362,57	6,17	3755,39	7,78	969,74	3,96	1393,00	5,54	48,65
		20	18,0	6,0	76,54	2871,47	6,12	4860,42	7,72	1181,92	3,93	1689,00	5,70	60,08
		25	18,0	6,0	94,29	3466,21	6,06	5494,04	7,63	1438,38	3,91	2028,00	5,89	74,02
22	220	30	18,0	6,0	111,54	4019,60	6,00	6351,05	7,55	1698,16	3,89	2332,00	6,07	87,56
		14	21,0	7,0	60,38	2814,36	6,83	4470,15	8,60	1158,56	4,38	1655,00	5,91	47,40
25	250	16	21,0	7,0	68,58	3175,44	6,80	5045,37	8,58	1305,52	4,36	1869,00	6,02	53,83
		16	24,0	8,0	78,40	4717,10	7,76	7492,10	9,78	1942,09	4,98	2775,00	6,75	61,55
		18	24,0	8,0	87,72	5247,24	7,73	8336,69	9,75	2157,78	4,96	3089,00	6,83	68,86
		20	24,0	8,0	96,96	5764,87	7,71	9159,73	9,72	2370,01	4,94	3395,00	6,91	76,11
		22	24,0	8,0	106,12	6270,32	7,69	9961,30	9,69	2579,04	4,93	3691,00	7,00	83,31
		25	24,0	8,0	119,71	7006,39	7,65	11125,52	9,64	2887,26	4,91	4119,00	7,11	93,97
		28	24,0	8,0	133,12	7716,86	7,61	12243,84	9,59	3189,89	4,90	4527,00	7,23	104,50
		30	24,0	8,0	141,96	8176,82	7,59	12964,66	9,56	3388,98	4,89	4788,00	7,31	111,44
		35	24,0	8,0	163,71	9281,05	7,53	14682,73	9,47	3879,37	4,87	5401,68	7,53	128,51

Модули упругости и коэффициенты Пуассона

Материал	Модуль упругости, МПа		Коэффициент Пуассона, ν
	E	G	
Чугун белый, серый	$(1,15 \dots 1,60) \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^4$	0,23 ... 0,27
Чугун ковкий	$1,55 \cdot 10^5$	-	-
Сталь углеродистая	$(2,0 \dots 2,1) \cdot 10^5$	$(8,0 \dots 8,1) \cdot 10^4$	0,24 ... 0,28
Сталь легированная	$(2,1 \dots 2,2) \cdot 10^5$	$(8,0 \dots 8,1) \cdot 10^4$	0,25 ... 0,30
Медь прокатная	$1,1 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^4$	0,31 ... 0,34
Медь холодноотянутая	$1,3 \cdot 10^5$	$4,9 \cdot 10^4$	-
Медь литая	$0,84 \cdot 10^5$	-	-
Бронза фосфористая катаная	$1,15 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$	0,32 ... 0,35
Бронза марганцовистая катаная	$1,1 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^4$	0,35
Бронза алюминиевая литая	$1,05 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$	-
Латунь холодноотянутая	$(0,91 \dots 0,99) \cdot 10^5$	$(3,5 \dots 3,7) \cdot 10^4$	0,31 ... 0,42
Латунь корабельная катаная	$1,0 \cdot 10^5$	-	0,36
Алюминий катаный	$0,69 \cdot 10^5$	$(2,6 \dots 2,7) \cdot 10^4$	0,32 ... 0,36
Проволока алюминиевая тянутая	$0,7 \cdot 10^5$	-	-
Дуралюмин катаный	$0,71 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^4$	-
Цинк катаный	$0,84 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^4$	0,27
Свинец	$0,17 \cdot 10^5$	$0,7 \cdot 10^4$	0,42
Лед	$0,1 \cdot 10^5$	$(0,28 \dots 0,3) \cdot 10^4$	-
Стекло	$0,56 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^4$	0,25
Гранит	$0,49 \cdot 10^5$	-	-
Известняк	$0,42 \cdot 10^5$	-	-
Мрамор	$0,56 \cdot 10^5$	-	-
Песчаник	$0,18 \cdot 10^5$	-	-
Каменная кладка из гранита	$(0,09 \dots 0,1) \cdot 10^5$	-	-
Каменная кладка из известняка	$0,06 \cdot 10^5$	-	-
Каменная кладка из кирпича	$(0,027 \dots 0,03) \cdot 10^5$	-	-
Бетон при пределе прочности, МПа,			
10	$(0,146 \dots 0,169) \cdot 10^5$	-	0,16 ... 0,18
15	$(0,164 \dots 0,214) \cdot 10^5$	-	0,16 ... 0,18
20	$(0,182 \dots 0,232) \cdot 10^5$	-	0,16 ... 0,18
Дерево вдоль волокон	$(0,1 \dots 0,12) \cdot 10^5$	$0,055 \cdot 10^4$	-
Дерево поперек волокон	$(0,005 \dots 0,01) \cdot 10^5$	-	-
Каучук	$0,00008 \cdot 10^5$	-	0,47
Текстолит	$(0,06 \dots 0,1) \cdot 10^5$	-	-
Гетинакс	$(0,1 \dots 0,17) \cdot 10^5$	-	-
Бакелит	$(2 \dots 3) \cdot 10^3$	-	0,36
Висхомлит (ИМ-44)	$(40 \dots 42) \cdot 10^2$	-	0,37
Целлулоид	$(14,3 \dots 27,5) \cdot 10^2$	-	0,33 ... 0,38

Ориентировочные значения основных допускаемых напряжений

Материал	Допускаемое напряжение $[\sigma]$, МПа	
	на растяжение	на сжатие
Чугун серый в отливках	28 ... 80	120 ... 150
Сталь Ст2		140
Сталь Ст3		160
Сталь Ст3 в мостах		140
Сталь машиностроительная (конструкционная) углеродистая		60 ... 250
Сталь машиностроительная (конструкционная) легированная		100 ... 400 и выше
Медь		30 ... 120
Латунь		70 ... 140
Бронза		60 ... 120
Алюминий		30 ... 80
Бронза алюминиевая		80 ... 120
Дуралюмин		80 ... 150
Текстолит		30 ... 40
Гетинакс		50 ... 70
Фанера бакелизованная		40 ... 50
Сосна вдоль волокон	7 ... 10	10 ... 12
Сосна поперек волокон	-	1,5 ... 2
Дуб вдоль волокон	9 ... 13	13 ... 15
Дуб поперек волокон	-	2 ... 3,5
Каменная кладка	до 0,3	0,5 ... 4
Кирпичная кладка	до 0,2	0,6 ... 2,5
Бетон	0,1 ... 0,7	1,0 ... 9

Приложение 4

Допускаемые напряжения на срез для заклепочных и сварных соединений

Тип соединений	Напряжение на срез, МПа
Заклепочное:	
основные элементы из стали 20	100
заклепка в рассверленных отверстиях (класс В)	140
заклепка в продавленных отверстиях (класс С)	100
Сварное:	
сварка ручная, электроды с тонкой обмазкой	80
сварка ручная, электроды с толстой обмазкой	110
сварка автоматическая	110

Пределы текучести и прочности при растяжении

Материал	Предел текучести σ_T (МПа)	Предел прочности σ_B (МПа)
Углеродистые стали	180-470	320-900
Ст.3	240	380-470
Ст.6	310	600-720
Легированные стали	400-1500	700-1700
Сталь хромистая 20Х	650	800
Сталь хромокремнемарганцевая 35ХГСА	1400	1650
Чугун	-	120-380
Алюминиевые сплавы	70-380	130-420
Дюралюминий Д16	330	450-500
Магниевые сплавы	55-220	170-340
Титановый сплав ВТ4	700-800	800-900
Циркониевые сплавы	80-450	200-480
Уран	250	600
Бериллий	-	280-380
Текстолит	-	80-100
Сосна вдоль волокон	-	80
Стекло	-	30-90
Органическое стекло	-	75
Стеклопластик	-	1000
Бетон	-	-

Приложение 6

Коэффициенты продольного изгиба

Гибкость λ	коэффициент φ				Гибкость λ	коэффициент φ			
	Ст2 Ст3 Ст4	Ст5	Чугун	Дерево		Ст2 Ст3 Ст4	Ст5	Чугун	Дерево
0	1,00	1	1	1					
10	0,99	0,98	0,97	0,99	110	0,52	0,43	-	0,25
20	0,96	0,95	0,91	0,97	120	0,45	0,36	-	0,22
30	0,94	0,92	0,81	0,93	130	0,40	0,33	-	0,18
40	0,92	0,89	0,69	0,87	140	0,36	0,29	-	0,16
50	0,89	0,86	0,57	0,80	150	0,32	0,26	-	0,14
60	0,86	0,82	0,44	0,71	160	0,29	0,24	-	0,12
70	0,81	0,76	0,34	0,60	170	0,26	0,21	-	0,11
80	0,75	0,70	0,26	0,48	180	0,23	0,19	-	0,10
90	0,69	0,62	0,20	0,38	190	0,21	0,17	-	0,09
100	0,60	0,51	0,16	0,31	200	0,19	0,16	-	0,08

1. Единицы международной системы СИ, встречающиеся при расчетах

Наименование величины	Единица	
	Наименование	Обозначение
Основные единицы		
Длина	Метр	м
Масса	Килограмм	кг
Время	Секунда	с
Дополнительные единицы		
Плоский угол	РадIAN	рад
Производные единицы		
Частота	Герц	Гц
Угловая скорость (угловая частота)	РадIAN на секунду	рад/с
Скорость	Метр на секунду	м/с
Ускорение	Метр на секунду в квадрате	м/с ²
Площадь	Метр в квадрате	м ²
Статистический момент сечения (объем)	Метр в кубе	м ³
Осевой момент инерции площади сечения	Метр в четвертой степени	м ⁴
Плотность	Килограмм на метр в кубе	кг/м ³
Сила	Ньютон	Н
Удельный вес	Ньютон на метр в кубе	Н/м ³
Напряжение, давление, распределенная нагрузка	Паскаль	Па
Погонная нагрузка	Ньютон на метр	Н/м
Момент силы	Ньютон-метр	Н·м
Работа и энергия	Джоуль	Дж
Мощность	Ватт	Вт

Некоторые основные и производные единицы, имеющие специальные названия (м, с, Гц, Н, Па, Дж, Вт), в окончательных результатах расчетов можно увеличивать или уменьшать, используя для этого соответствующие приставки.

2. Приставки для образования кратных и дольных единиц

Приставка	Обозначение	Множитель
Тера	Т	10 ¹²
Гига	Г	10 ⁹
Мега	М	10 ⁶
Кило	к	10 ³
Гекто	г	10 ²
Дека	да	10 ¹
Деци	д	10 ⁻¹
СантИ	с	10 ⁻²
Милли	м	10 ⁻³
Микро	мк	10 ⁻⁶
Нано	н	10 ⁻⁹
Пико	п	10 ⁻¹²

Формулы алгебры и тригонометрии

Корни квадратного уравнения $ax^2 + bx + c = 0$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Некоторые приближенные формулы. Если $\alpha < 1$, то

$$(1 \pm \alpha)^2 = 1 \pm n\alpha$$

$$e^\alpha = 1 + \alpha$$

$$\ln(1 + \alpha) = \alpha$$

$$\sin \alpha = \alpha$$

$$\cos \alpha = 1 - \alpha^2 / 2$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha$$

Основные тригонометрические формулы:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\sec^2 \alpha - \operatorname{tg}^2 \alpha = 1$$

$$\csc^2 \alpha - \operatorname{ctg}^2 \alpha = 1$$

$$\sin \alpha \cdot \csc \alpha = 1$$

$$\cos \alpha \cdot \sec \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}}$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

$$\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \pm \sin \alpha \sin \beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \pm \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta \pm 1}{\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha}$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta = \pm \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}$$

$$2 \sin \alpha \cdot \sin \beta = \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \cos \alpha \cdot \cos \beta = \cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)$$

$$2 \sin \alpha \cdot \cos \beta = \sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)$$

Таблица производных и интегралов

Функция	Производная	Функция	Производная
x^n	nx^{n-1}	$\sin x$	$\cos x$
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\cos x$	$-\sin x$
$\frac{1}{x^n}$	$-\frac{n}{x^{n+1}}$	$\operatorname{tg} x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$
\sqrt{x}	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$\operatorname{ctg} x$	$-\frac{1}{\sin^2 x}$
e^x	e^x	$\arcsin x$	$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
e^{nx}	ne^{nx}	$\arccos x$	$-\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$
a^x	$a^x \ln a$	$\operatorname{arctg} x$	$\frac{1}{1+x^2}$
$\ln x$	$\frac{1}{x}$	$\operatorname{arcctg} x$	$-\frac{1}{1+x^2}$
\sqrt{u}	$\frac{u'}{2\sqrt{u}}$	$\operatorname{sh} x$	$\operatorname{ch} x$
$\ln u$	$\frac{u'}{u}$	$\operatorname{ch} x$	$-\operatorname{sh} x$
$\frac{u}{v}$	$\frac{vu' - uv'}{v^2}$	$\operatorname{th} x$	$\frac{1}{\operatorname{ch}^2 x}$
		$\operatorname{cth} x$	$-\frac{1}{\operatorname{sh}^2 x}$
$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}, n \neq -1$ $\int \frac{dx}{x} = \ln x$ $\int \sin x dx = -\cos x$ $\int \cos x dx = \sin x$ $\int \operatorname{tg} x dx = -\ln \cos x$ $\int \operatorname{ctg} x dx = \ln \sin x$		$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x$ $\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x$ $\int e^x dx = e^x$ $\int \frac{dx}{1+x^2} = \operatorname{arctg} x$ $\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x$ $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2-1}} = \ln(x + \sqrt{x^2-1})$	

1. Латинский алфавит

Печатные буквы	Рукописные буквы	Название	Печатные буквы	Рукописные буквы	Название
A a	<i>A a</i>	а	N n	<i>N n</i>	эн
B b	<i>B b</i>	бэ	O o	<i>O o</i>	о
C c	<i>C c</i>	цэ	P p	<i>P p</i>	пэ
D d	<i>D d</i>	дэ	Q q	<i>Q q</i>	ку
E e	<i>E e</i>	э	R r	<i>R r</i>	эр
F f	<i>F f</i>	эф	S s	<i>S s</i>	эс
G g	<i>G g</i>	гэ (жэ)	T t	<i>T t</i>	тэ
H h	<i>H h</i>	ха (аш)	U u	<i>U u</i>	у
I i	<i>I i</i>	и	V v	<i>V v</i>	вэ
J j	<i>J j</i>	йот (жи)	W w	<i>W w</i>	дубль вэ
K k	<i>K k</i>	ка	X x	<i>X x</i>	икс
L l	<i>L l</i>	эль	Y y	<i>Y y</i>	игрек
M m	<i>M m</i>	эм	Z z	<i>Z z</i>	зет (дзет)

2. Греческий алфавит

Αα	альфа	Νν	ню (ни)
Ββ	бэта	Ξξ	кси
Γγ	гамма	Οο	омикрон
Δδ	дельта	Ππ	пи
Εε	эпсилон	Ρρ	ро
Ζζ	дзета	Σσ	сигма
Ηη	эта	Ττ	тау
Θθϑ	тэта	Φφ	фи
Ιι	йота	Χχ	хи
Κκ	капа	Υυ	юпсилон (ипсилон)
Λλ	ламбда	Ψψ	пси
Μμ	мю (ми)	Ωω	омега

Список литературы

- 1. Жуков В.Г. Механика. Сопротивление материалов. Издательство "Лань" 408 с.*
- 2. Балабанов В.И., и др. Сопротивление материалов. Практикум по лабораторным работам. Издательство МГАУ, Москва 2007, 98 с.*
- 3. Гамидов А.Г. Сопротивление материалов. Методические рекомендации по выполнению расчетно-графических работ по дисциплине сопротивление материалов. М: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. - 45с.*

Учебно-методическое пособие

ГАМИДОВ Абдурахман Гаджиевич

***ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ***

*Учебно-методическое пособие
для студентов заочной формы обучения*

Корректор
Подписано к печати
08.11.24 Формат 60 × 84/16.
Бумага офсетная. Гарнитура
«Таймс».
Печать – трафаретная.
Уч.-изд. л. 2,37.
Тираж 100 экз.

Федеральное государственное
образовательное учреждение
высшего образования «Российский
государственный аграрный
университет – Московская
сельскохозяйственная академия
имени К.А. Тимирязева»

Отпечатан в издательском центре
ФГБОУ ВО РГАУ– МСХА
127434, Москва, Тимирязевская, 49
Тел.: + 7 (499) 976-04-80