

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический  
университет»**

**Кафедра прикладных и естественнонаучных дисциплин**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ НА ТЕМУ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ  
ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ НА ПРИМЕРЕ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОГИБА  
НАГРУЖЕННОЙ БАЛКИ**

**Уфа 2018**

Работа предназначена для ознакомления студентов со способами обработки данных и возможностями по автоматизации вычислений с помощью современных электронных таблиц, таких как LibreOffice Calc или Microsoft Excel.

Автоматизация вычислений рассматривается на примере расчета в электронной таблице LibreOffice Calc максимальных прогибов нагруженных балок различных форм сечений. В пособии приведены расчетные схемы нагружения балок и необходимые формулы, даны варианты заданий, порядок выполнения работы и требования к оформлению отчета.

Пособие разработано для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 “Строительство” (магистерские программы).

Составитель            Ращепкин А. К., доц., канд. техн. наук

Рецензент              Виноградов Д.А., доц., канд. техн. наук

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение способов обработки данных и решение конструкторских задач средствами электронных таблиц.

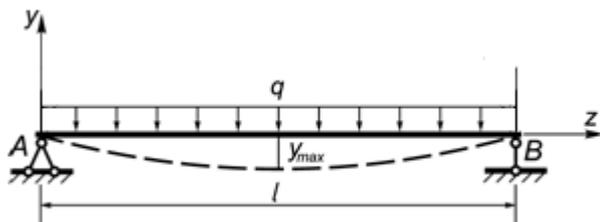
## 2. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Ознакомьтесь с целью работы, просмотреть таблицы с исходными данными для решения поставленной задачи, рассмотреть расчетные схемы балок и формулы.

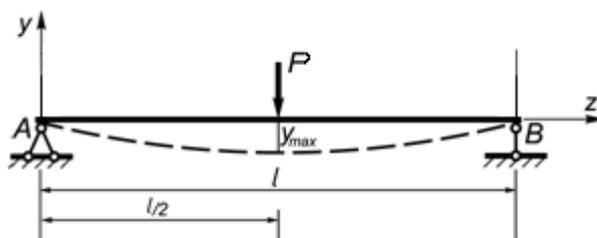
Используя табличный процессор LibreOffice Calc (можно выполнить расчеты в таблице Microsoft Excel) рассчитать максимальные прогибы прямоугольной, составной, двутавровой балки и консоли под действием распределенной и сосредоточенной нагрузки, и определить оптимальные размеры поперечных сечений. Рассчитать критическую силу потери устойчивости для стойки прямоугольного сечения.

### Расчетные схемы и формулы:

1) Вычисление максимального прогиба для однопролетной балки перекрытия

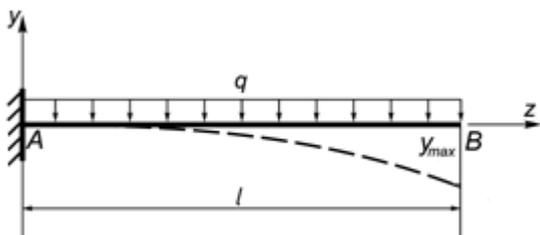


$$y_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q}{100} \cdot L^4 \cdot E \cdot 10^6 \cdot J,$$

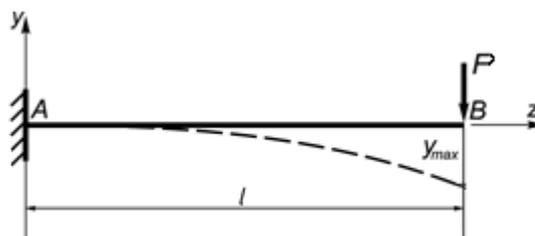


$$y_{\max} = \frac{1}{48} \cdot P \cdot L^3 \cdot E \cdot 10^6 \cdot J.$$

2) Вычисление максимального прогиба для консольной балки



$$y_{\max} = \frac{1}{8} \cdot \frac{q}{100} \cdot L^4 \cdot E \cdot 10^6 \cdot J,$$



$$y_{\max} = \frac{1}{3} \cdot P \cdot L^3 \cdot E \cdot 10^6 \cdot J.$$

где  $L$  - длина пролета, м;  $E$  - модуль упругости,  $10^6$  кг/см<sup>2</sup>;

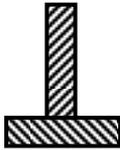
$J$  - момент инерции поперечного сечения балки, см<sup>4</sup>;

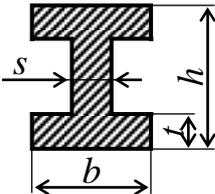
$P$  - сосредоточенная нагрузка, кг;

$q$  - распределенная нагрузка, кг/м;  $q = F_s \cdot a$ , где  $F_s$  - нагрузка на площадь перекрытия, кг/м<sup>2</sup>;  $a$  - шаг балок перекрытия, м.

Момент инерции поперечного сечения балки  $J$  зависит от формы сечения и вычисляется по формулам:

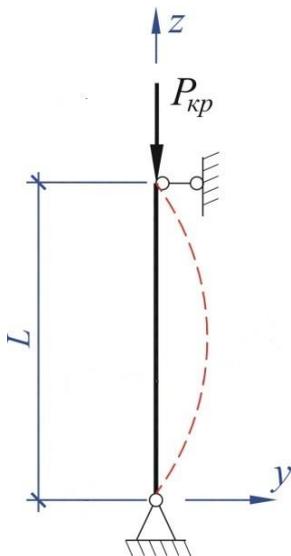
- для прямоугольной балки   $J = \frac{b \cdot h^3}{12}$ , где  $b$  и  $h$  - ширина и высота балки;

- для составной балки вида   $J = \frac{b \cdot h^3 + h \cdot b^3}{3}$ , где  $b$  и  $h$  - ширина и высота одной доски;

- для двутавровой балки   $J = \frac{b \cdot h^3 - (b - s) \cdot (h - 2t)^3}{12}$ ,

где  $h$  - высота двутавра,  $s$  - толщина стенки,  $b$  и  $t$  - ширина и высота полки.

### 3) Вычисление критической силы потери устойчивости прямоугольной стойки



$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot J \cdot E \cdot 10^6}{L^2},$$

где  $P_{кр}$  - критическая сила, при которой происходит потеря устойчивости сжатого стержня (стойки);

$L$  - длина стойки, м;  $E$  - модуль упругости,  $10^6$  кг/см<sup>2</sup>;

$J$  - момент инерции поперечного сечения стойки, см<sup>4</sup>;

Варианты исходных данных для расчета

№ варианта	Двухопорная балка				Консоль			Размеры сечения				Норма прогиб а
	L, см	$F_s$ , кг/м <sup>2</sup>	a, м	P, кг	L, см	q, кг/м	P, кг	h, см	b, см	s, см	t, см	
1	300	100	0,5	90	100	100	80	10	5	2	2	1/200
2	400	150	0,5	140	150	200	150	15	10	4	3	1/250
3	350	380	0,5	350	120	800	800	20	10	3	3	1/300
4	300	120	0,5	100	100	120	120	10	6	2	2	1/200
5	350	140	0,5	120	120	150	180	15	8	3	3	1/250
6	400	350	0,5	350	150	700	650	20	12	4	4	1/300
7	250	150	0,5	150	80	150	140	10	4	1	2	1/200
8	300	200	0,5	180	100	300	250	15	6	2	2	1/250
9	400	350	0,5	320	120	700	750	20	8	3	4	1/300
10	250	200	0,5	210	80	220	200	10	7	2	2	1/200
11	400	150	0,8	140	150	200	150	15	9	4	3	1/250
12	350	350	0,8	300	120	800	750	20	11	5	4	1/300
13	250	100	0,8	70	80	100	80	10	3	1	1	1/200
14	350	200	0,8	220	120	250	250	15	5	2	3	1/250
15	400	350	0,8	350	150	600	550	20	7	3	5	1/300
16	350	120	0,8	100	120	120	100	10	8	2	2	1/200
17	400	150	0,8	150	150	180	150	15	7	3	3	1/250
18	350	380	0,8	350	120	700	650	20	15	5	3	1/300
19	300	100	0,8	100	100	120	100	10	2	1	2	1/200
20	400	180	0,8	150	150	180	180	15	11	3	3	1/250
21	280	100	0,5	90	100	90	80	10	5	2	2	1/200
22	380	150	0,5	140	150	190	150	15	10	4	3	1/250
23	330	380	0,5	350	120	750	800	20	10	3	3	1/300
24	290	120	0,5	100	100	110	120	10	6	2	2	1/200
25	330	140	0,5	120	120	140	180	15	8	3	3	1/250
26	380	350	0,5	350	150	650	650	20	12	4	4	1/300
27	230	150	0,5	150	80	140	140	10	4	1	2	1/200
28	280	200	0,5	180	100	290	250	15	6	2	2	1/250

29	380	350	0,5	320	120	650	750	20	8	3	4	1/300
30	230	200	0,5	210	80	210	200	10	7	2	2	1/200
31	380	150	0,8	140	150	190	150	15	9	4	3	1/250
32	330	350	0,8	300	120	750	750	20	11	5	4	1/300
33	230	100	0,8	70	80	90	80	10	3	1	1	1/200
34	330	200	0,8	220	120	240	250	15	5	2	3	1/250
35	380	350	0,8	350	150	550	550	20	7	3	5	1/300
36	330	120	0,8	100	120	110	100	10	8	2	2	1/200
37	380	150	0,8	150	150	170	150	15	7	3	3	1/250
38	330	380	0,8	350	120	650	650	20	15	5	3	1/300
39	280	100	0,8	100	100	110	100	10	2	1	2	1/200
40	380	180	0,8	150	150	170	180	15	11	3	3	1/250
41	300	90	0,5	90	90	100	80	10	5	2	2	1/200
42	400	140	0,5	140	140	200	150	15	10	4	3	1/250
43	350	370	0,5	350	110	800	800	20	10	3	3	1/300
44	300	110	0,5	100	90	120	120	10	6	2	2	1/200
45	350	130	0,5	120	110	150	180	15	8	3	3	1/250
46	400	340	0,5	350	140	700	650	20	12	4	4	1/300
47	250	140	0,5	150	70	150	140	10	4	1	2	1/200
48	300	190	0,5	180	90	300	250	15	6	2	2	1/250
49	400	340	0,5	320	130	700	750	20	8	3	4	1/300
50	250	190	0,5	210	70	220	200	10	7	2	2	1/200
51	400	140	0,8	140	140	200	150	15	9	4	3	1/250
52	350	340	0,8	300	110	800	750	20	11	5	4	1/300
53	250	90	0,8	70	70	100	80	10	3	1	1	1/200
54	350	190	0,8	220	110	250	250	15	5	2	3	1/250
55	400	340	0,8	350	140	600	550	20	7	3	5	1/300
56	350	110	0,8	100	110	120	100	10	8	2	2	1/200
57	400	140	0,8	150	140	180	150	15	7	3	3	1/250
58	350	370	0,8	350	110	700	650	20	15	5	3	1/300
59	300	90	0,8	100	90	120	100	10	2	1	2	1/200
60	400	170	0,8	150	140	180	180	15	11	3	3	1/250

61	280	110	0,5	100	100	100	80	10	5	2	2	1/200
62	380	160	0,5	160	150	200	150	15	10	4	3	1/250
63	330	390	0,5	360	120	800	800	20	10	3	3	1/300
64	280	130	0,5	110	100	120	120	10	6	2	2	1/200
65	330	150	0,5	130	120	150	180	15	8	3	3	1/250
66	380	360	0,5	350	150	700	650	20	12	4	4	1/300
67	240	150	0,5	160	80	150	140	10	4	1	2	1/200
68	280	210	0,5	190	100	300	250	15	6	2	2	1/250
69	380	360	0,5	330	120	700	750	20	8	3	4	1/300
70	240	210	0,5	220	80	220	200	10	7	2	2	1/200
71	380	160	0,8	150	150	200	150	15	9	4	3	1/250
72	330	360	0,8	310	120	800	750	20	11	5	4	1/300
73	240	110	0,8	80	80	100	80	10	3	1	1	1/200
74	330	210	0,8	230	120	250	250	15	5	2	3	1/250
75	380	360	0,8	350	150	600	550	20	7	3	5	1/300
76	330	130	0,8	110	120	120	100	10	8	2	2	1/200
77	380	160	0,8	150	150	180	150	15	7	3	3	1/250
78	330	390	0,8	360	120	700	650	20	15	5	3	1/300
79	290	100	0,8	110	100	120	100	10	2	1	2	1/200
80	380	190	0,8	160	150	180	180	15	11	3	3	1/250
81	300	100	0,5	90	90	110	90	10	5	2	2	1/200
82	400	150	0,5	140	140	210	160	15	10	4	3	1/250
83	350	380	0,5	350	110	820	800	20	10	3	3	1/300
84	300	120	0,5	100	90	130	120	10	6	2	2	1/200
85	350	140	0,5	120	110	160	190	15	8	3	3	1/250
86	400	350	0,5	350	140	720	670	20	12	4	4	1/300
87	250	150	0,5	150	70	160	150	10	4	1	2	1/200
88	300	200	0,5	180	90	310	270	15	6	2	2	1/250
89	400	350	0,5	320	110	720	750	20	8	3	4	1/300
90	250	200	0,5	210	70	230	210	10	7	2	2	1/200
91	400	150	0,8	140	140	210	160	15	9	4	3	1/250
92	350	350	0,8	300	110	820	760	20	11	5	4	1/300

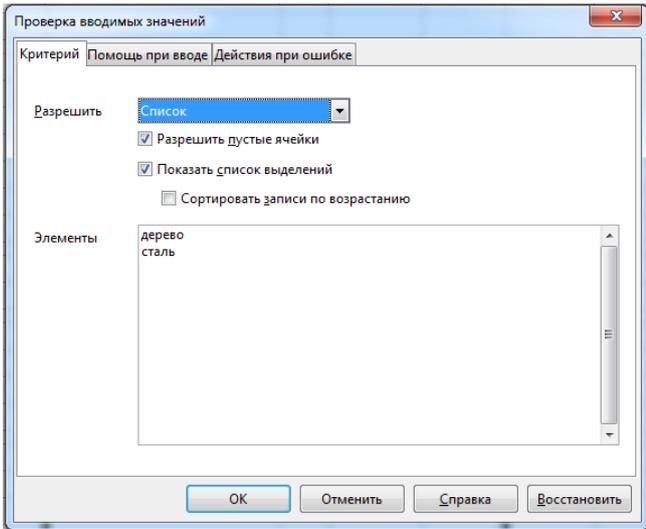
93	250	100	0,8	70	70	110	90	10	3	1	1	1/200
94	350	200	0,8	220	110	260	250	15	5	2	3	1/250
95	400	350	0,8	350	140	620	560	20	7	3	5	1/300
96	350	120	0,8	100	110	130	110	10	8	2	2	1/200
97	400	150	0,8	150	140	190	160	15	7	3	3	1/250
98	350	380	0,8	350	110	720	660	20	15	5	3	1/300
99	300	100	0,8	100	90	130	110	10	2	1	2	1/200
100	400	180	0,8	150	140	190	200	15	11	3	3	1/250

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

- 1) Создайте файл с именем «Балка» в табличном процессоре LibreOffice Calc или Microsoft Excel.
- 2) Лист 1 переименуйте «Прямоугольная балка». Меню "Лист" → "Переименовать...".
- 3) Создайте таблицы с исходными данными (поля ввода данных) по приведенному образцу.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Расчет максимального прогиба прямоугольной балки под действием распределенной или сосредоточенной нагрузки										
2											
3	<b>Материал и параметры балки</b>										
4											
5	Длина пролета (консоли)	L	300	см			<b>Модули упругости материалов</b>				
6	Материал		дерево				дерево	E	0,1	$\times 10^6 \text{ кг/см}^2$	
7	Высота балки	h	15	см			сталь	E	2,1	$\times 10^6 \text{ кг/см}^2$	
8	Ширина балки	b	9	см							
9											
10	Момент инерции сечения	J	2531	$\text{см}^4$							
11	Модуль упругости	E	0,1	$\times 10^6 \text{ кг/см}^2$							
12											
13											
14	<b>Нормальный прогиб</b>										
15											
16	Норма относительного прогиба		1/200								
17	Нормальный прогиб		1,5	см							
18											
19	<b>Расчет по распределенной нагрузке (пролет)</b>										
20							<b>Расчет по сосредоточенной нагрузке (пролет)</b>				
21	Нагрузка по площади	$F_{\text{с}}$	150	$\text{кг/м}^2$			Сосредоточенная нагрузка	P	200	кг	
22	Шаг балок	a	0,8	м							
23	Распределенная нагрузка	q	120	$\text{кг/м}$							
24											
25	Расчетный прогиб	$y_{\text{max}}$	0,5	см			Расчетный прогиб	$y_{\text{max}}$	0,4	см	
26	Запас в		3,0	раз(а)			Запас в		3,4	раз(а)	
27											
28											
29	<b>Расчет по распределенной нагрузке (консоль)</b>										
30							<b>Расчет по сосредоточенной нагрузке (консоль)</b>				
31	Распределенная нагрузка	q	100	$\text{кг/м}$			Сосредоточенная нагрузка	P	80	кг	
32											
33	Расчетный прогиб	$y_{\text{max}}$	4,0	см			Расчетный прогиб	$y_{\text{max}}$	2,8	см	
34	Превышение нормы в		2,7	раз(а)			Превышение нормы в		1,9	раз(а)	
35											

4) В ячейке **D6** создайте поле со списком материалов: дерево, сталь (Меню "Данные" → "Проверка...").



Аналогичным образом в ячейке **D16** создайте список норм относительного прогиба: 1/200, 1/250, 1/300.

В ячейках **G5:J7** заполните таблицу с модулями упругости материалов.

Далее в ячейки вычисляемых полей впишите расчетные формулы, используя ссылки на соответствующие значения (ячейки).

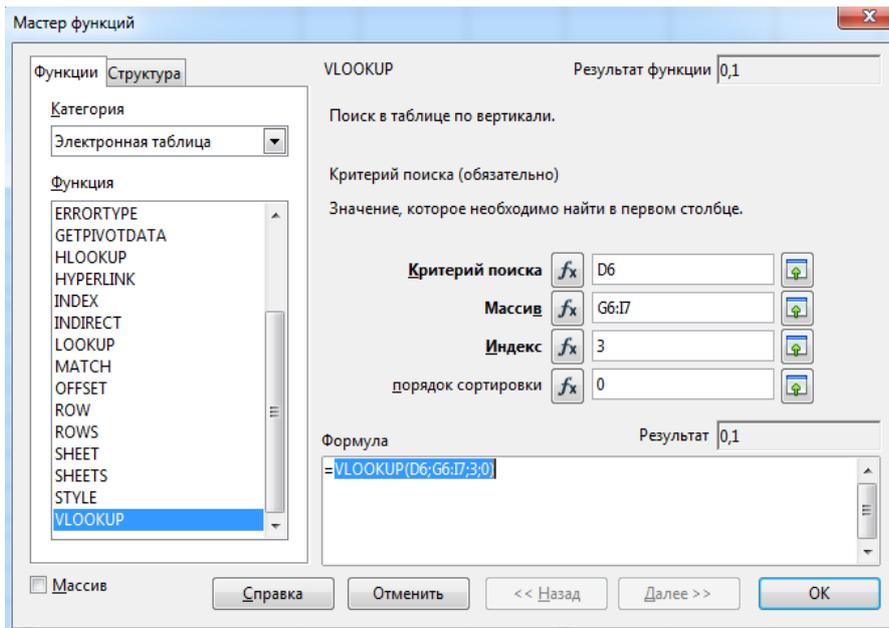
5) В ячейку **D10** введите расчетную формулу  $J = \frac{b \cdot h^3}{12}$  - для вычисления момента инерции сечения балки.

	A	B	C	D	E
1	Расчет максимального прогиба прямоугольной балки под				
2					
3	<b>Материал и параметры балки</b>				
4					
5	Длина пролета (консоли)	L	300	см	
6	Материал		дерево		
7	Высота балки	h	15	см	
8	Ширина балки	b	9	см	
9					
10	Момент инерции сечения		=D8*D7^3/12		
11	Модуль упругости	E	0,1	x10 <sup>6</sup> кг/см <sup>2</sup>	
12					

6) Модуль упругости  $E$  в ячейке **D11** рассчитывается по формуле:

=VLOOKUP(D6;G6:I7;3;0).

Функция поиска в массиве VLOOKUP выбирается с помощью мастера функций.



7) В ячейку **D17** введите расчетную формулу: "Нормальный прогиб" = "Норма\_относительного\_прогиба" × L (формула в ячейке: =D5\*D16).

8) В ячейку **D23** запишите формулу вычисления распределенной нагрузки  $q = F_s \cdot a$ : =D21\*D22.

9) В ячейку **D25** запишите формулу максимального прогиба прямоугольной

балки под действием распределенной нагрузки:  $y_{\max} = \frac{5}{384} \frac{q}{E \cdot 10^6 \cdot J} \cdot L^4$   
 =(5/384\*D23/100\*D5^4)/(D11\*1000000\*D10).

10) В ячейку **B26** введите формулу, которая отражает запас или превышение нормы нагрузки на балку при расчете. Для расчета будет использоваться логическая функция ЕСЛИ: =IF(D25>D17;"Превышение нормы в";"Запас в").

Аналогичным образом записываются формулы в ячейки: **B34**, **G26** и **G34**.

11) В ячейке **D26** рассчитывается во сколько раз расчетный прогиб  $y_{\max}$  отличается от нормы: =IF(D25>D17;D25/D17;D17/D25).

12) В ячейку **D33** запишем формулу максимального прогиба консольной балки

под действием распределенной нагрузки:  $y_{\max} = \frac{1}{8} \frac{q}{E \cdot 10^6 \cdot J} \cdot L^4$ .

13) Ячейки **B34** и **D34** заполняются формулами, аналогичными формулам в ячейках **B26** и **D26**.

Далее заполняем вычисляемые поля для сосредоточенной нагрузки.

14) В ячейку **I25** запишем формулу прогиба двухопорной балки

$$y_{\max} = \frac{1}{48} \cdot P \cdot L^3 \cdot \frac{1}{E \cdot 10^6 \cdot J}.$$

15) В ячейку **I33** запишем формулу прогиба консольной балки  $y_{\max} = \frac{1}{3} \cdot P \cdot L^3 \cdot \frac{1}{E \cdot 10^6 \cdot J}.$

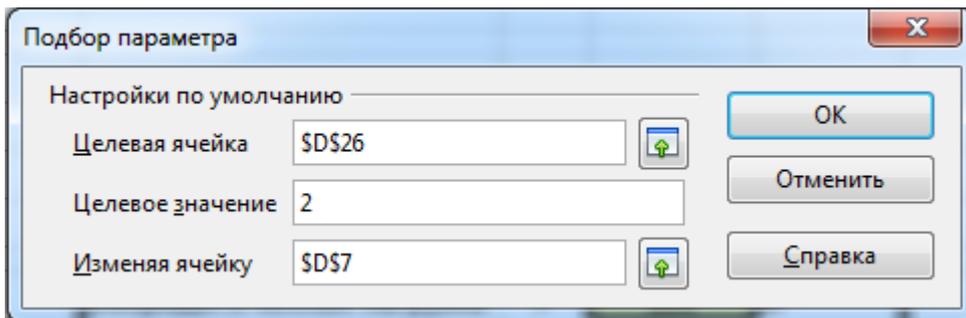
16) Ячейки **I26** и **I34** заполняются формулами, аналогичными формулам в ячейках **D26** и **D34**.

После заполнения формулами всех вычисляемых полей таблица готова к расчетам.

**17) Введите в поля ввода исходные данные (в соответствии с индивидуальным вариантом) для расчета максимальных прогибов двухопорной балки под распределенной и сосредоточенной нагрузками.**

18) Используя инструмент "Подбор параметра" (Меню "Сервис" → "Подбор параметра...") рассчитайте высоту балки  $h$  для обеспечения двукратного

запаса прогиба при распределенной нагрузке. **Зафиксируйте результат.**



19) Аналогично предыдущему пункту рассчитайте высоту балки для двукратного запаса прогиба при сосредоточенной нагрузке. **Зафиксируйте результат.**

**20) Введите в поля ввода исходные данные для расчета максимальных прогибов консольной балки под распределенной и сосредоточенной нагрузками.**

21) Аналогично п.п. 18, 19 рассчитайте высоту консольной балки для двукратного запаса прогиба. **Зафиксируйте результаты.**

22) Повторно выполните п.п. 17-21, поменяв материал балки с дерева на сталь и увеличив все нагрузки (из таблицы исходных данных) в 20 раз. **Зафиксируйте результаты.**

**Таким образом, с помощью текущего листа фиксируется 8 результатов (высот прямоугольной балки и консоли).**

23) Создайте копию листа "Прямоугольная балка" и дайте копии имя "Составная балка". На листе "Составная балка" измените основной заголовок таблицы.

24) В ячейке **D10** измените формулу расчета момента инерции с учетом другой формы поперечного сечения балки:  $J = \frac{b \cdot h^3 + h \cdot b^3}{3}$ .

**25) Повторите все расчеты (п.п. 17-22) для составной балки. Зафиксируйте результаты.**

26) Создайте копию листа "Составная балка" и дайте копии имя "Двутавровая балка". На листе "Двутавровая балка" измените основной заголовок таблицы.

27) В таблице "Материал и параметры" балки добавьте две дополнительные строки для ввода параметров двутаврового сечения: "Толщина стенки" и "Толщина полки".

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Расчет максимального прогиба двутавровой балки под действием распределенной или</b>						
2							
3	<b>Материал и параметры балки</b>						
4							
5	Длина пролета (консоли)	L	400	см		Модули упругости материала	
6	Материал		дерево			дерево	
7	Высота двутавра	h	15	см		сталь	
8	Ширина полки	b	10	см			
9	Толщина стенки	s	5,0	см			
10	Толщина полки	t	5,0	см			
11							
12	Момент инерции сечения	J	2760	см <sup>4</sup>			
13	Модуль упругости	E	0,1	х10 <sup>6</sup> кг/см <sup>2</sup>			
14							
15							

28) В ячейке **D12** измените формулу расчета момента инерции с учетом другой формы поперечного сечения балки:  $J = \frac{b \cdot h^3 - (b - s) \cdot (h - 2t)^3}{12}$ .

**29) Повторите все расчеты (п.п. 17-22) для двутавровой балки. Зафиксируйте результаты.**

30) Создайте копию листа "Прямоугольная балка" и дайте копии имя "Потеря устойчивости". На листе "Потеря устойчивости" приведите таблицу к следующему виду

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Расчет потери устойчивости прямоугольной стойки									
2										
3	Материал и параметры балки									
4										
5	Высота стойки	L	300	см	Модули упругости материалов					
6	Материал		дерево		дерево	E	0,1	x10 <sup>6</sup> кг/см <sup>2</sup>		
7	Толщина сечения	h	5,0	см	сталь	E	2,1	x10 <sup>6</sup> кг/см <sup>2</sup>		
8	Ширина сечения	b	20,0	см						
9										
10	Момент инерции сечения	J	208	см <sup>4</sup>						
11	Модуль упругости	E	0,1	x10 <sup>6</sup> кг/см <sup>2</sup>						
12										
13										
14	Критическая сила по Эйлеру									
15										
16	Критическая сила	P <sub>к</sub>	2285	кг						
17										
18										

31) В ячейку **D16** запишите формулу расчета критической силы по Эйлеру

потери устойчивости прямоугольной стойки: 
$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot J \cdot E \cdot 10^6}{L^2}.$$

32) Введите в поля ввода исходные данные для расчета критической силы. Высоту стойки возьмите равной длине консоли в таблице вариантов исходных данных. Зафиксируйте результат.

#### 4. ОТЧЕТНОСТЬ

По результатам выполнения расчетно-графической работы студент представляет преподавателю аккуратно оформленный отчет.

Отчет выполняется на компьютере в текстовом редакторе и должен содержать: титульный лист с названием расчетно-графической работы, цель работы, исходные данные по варианту, скриншоты (снимки экрана), подтверждающие выполнение задания, итоговую таблицу полученных результатов следующего вида

Площади сечений балки (см<sup>2</sup>), обеспечивающие двукратный запас по прогибу

Вид сечения балки	Двухопорная балка				Консольная балка			
	Дерево		Сталь		Дерево		Сталь	
	P*	C**	P	C	P	C	P	C
Прямоугольное								
Составное								
Двухтавровое								

\* - Распределенная нагрузка.

\*\* - Сосредоточенная нагрузка.

Площади поперечных сечений балки вычислить по известным геометрическим формулам:

для прямоугольного сечения –  $b \times h$ ;

для составного сечения –  $2 \times b \times h$ ;

для двутаврового сечения –  $s \times h + 2 \times (b - s) \times t$ .