

Задача №1

**Определение реакций в сходящихся стержнях.**

Определить реакции стержней составленных из сдвоенных стандартных уголков, удерживающих груз  $F$ . Сделать проверку.

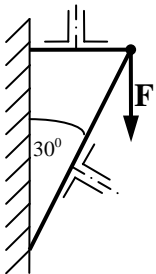
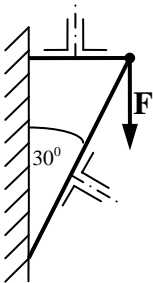


Рисунок 2.5 –  
Схема к заданию

Таблица 1 – Варианты задачам

Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)
1	65	4	130	7	210	10	220	13	120
2	80	5	140	8	215	11	200	14	115
3	95	6	145	9	250	12	175	15	105



**Пример решения задачи №1**

1 Изображаем систему стержней, равновесие которой должно быть рассмотрено, отмеряя указанные углы.

2 Указываем заданную силу  $F$ . Определяем точку схода сил «О». по стержням 1 и 2 направляем реакции  $R_1$  и  $R_2$ ,

3 Проводим ось координат  $X$  так, чтобы одна из неизвестных реакций лежала на ней. Ось  $Y$ , проводим перпендикулярно. Получилось, что ось  $x$  горизонтальна, а ось  $y$  вертикальна. Реакция  $R_1$  лежит на оси  $x$ . Угол между осью  $x$  и  $R_2$  составляет  $60^\circ$ , с осью  $y$  и  $R_2$  соответствует  $30^\circ$ .

4 Составляем уравнения равновесия системы сил и подставляем известные значения:

$$\sum F_{kx} = 0; -R_1 - R_2 \cos 60^\circ = 0, \Rightarrow -R_1 - R_2 \cdot 0,5 = 0$$

$$\sum F_{ky} = 0; -R_2 \sin 60^\circ - F = 0 \Rightarrow -R_2 \cdot 0,866 - 77 = 0$$

5 Определяем реакции  $R_1$  и  $R_2$ , как неизвестные.

$$\text{Из уравнения } \sum F_{ky}=0 \text{ определяем: } R_2 = -\frac{77}{0,866} = -88,9 \text{ кН};$$

Знак минус показывает, что направление противоположно выбранному.

$$\text{Из уравнения } \sum F_{kx}=0: R_1 = -R_2 \cdot 0,5 = -(-88,9 \cdot 0,5) = 44,45 \text{ кН}$$

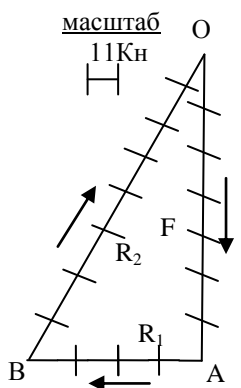
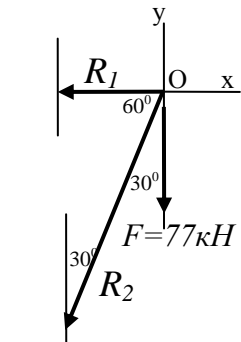
6 Проверку делаем графически. Выбираем масштаб сил. От точки  $O$  вниз откладываем силу  $F = 77 \text{ кН}$  (7 делений), от полученной точки  $A$

откладываем в лево  $R_1 = 44 \text{ кН}$  (4 деления) и получаем точку  $B$ . Соединяем  $B$  и  $O$ , измеряем отрезок  $BO$ , он получился примерно равный 8 делений.

Следовательно, сила  $R_2 \approx 88 \text{ кН}$ .

7 Проверка показала, что решения верное. Ответ:  $R_1 = 44,5 \text{ кН}$

(стержень растянут)  $R_2 = 88,9$  (стержень сжат)



## Задача № 2

### Определение реакций в подвесках

Задана система трех стержней, удерживающих балку под действием силы  $F$ . Определить, какой из стержней, нагружен больше других и как эта реакция зависит от силы  $F$ . Весом балки пренебречь.

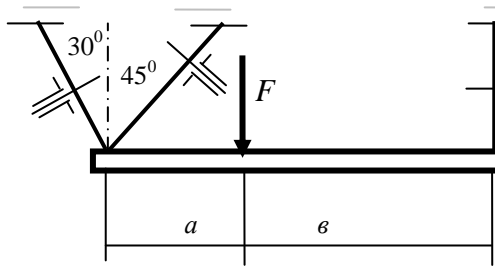
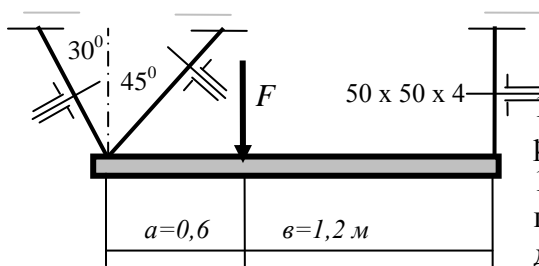


Рисунок – Схема к задачам

Таблица 2– Варианты к задачам

Вариант	$a$ м	$b$ м	Вариант	$a$ м	$b$ м	Вариант	$a$ м	$b$ м
1	1,8	1,5	9 и 24	1,4	0,8	6 и 21	1,2	1,2
2	1,2	1,8	10 и 25	0,8	1,5	7 и 22	1,5	1,5
3	1,5	1,8	11 и 26	2,0	0,6	8 и 23	0,5	1,4
4	1,8	1,2	12 и 27	1,6	1,0	14 и 29	0,8	1,2
5	1,8	1,8	13 и 28	0,6	0,8			



### Пример решение задачи № 2

Изображаем тело, равновесие которого должно быть рассмотрено.

1 Освобождаем тело от связей и вместо них прикладываем реакции  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . Прикладываем и действующую силу:  $F$ .

3 Проводим оси координат  $X$  и  $Y$ .

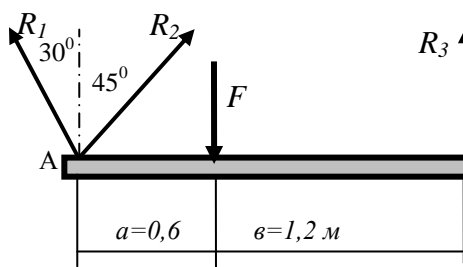
4 Составляем уравнение равновесия

$$\Sigma F_{kx} = 0; -R_1 \cdot \sin 30^\circ + R_2 \cdot \sin 45^\circ = 0$$

$$\Sigma F_{ky} = 0; R_1 \cdot \cos 30^\circ + R_2 \cdot \cos 45^\circ - F + R_3 = 0$$

$$\Sigma M_A = 0; F \cdot 0,6 - R_3 \cdot (0,6 + 1,2) = 0$$

5 Определяем реакции



Из уравнения  $\Sigma M_A = 0$ ; получаем  $R_3 = \frac{F \cdot 0,6}{(0,6 + 1,2)} = F \cdot \frac{0,6}{1,8} = F \cdot 0,33$ ;  **$R_3 = 0,33F$** .

Решая совместно два оставшихся уравнения:

Из уравнения  $\Sigma F_{kx}$ , выражаем одно неизвестное, через другое:  $R_2 = R_1 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ}$ ,

Полученное значение  $R_2$  и  $R_3 = 0,33F$ . подставляем в уравнение  $\Sigma F_{ky}$

$$R_1 \cdot \cos 30^\circ + R_1 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} \cdot \cos 45^\circ - 1 \cdot F + 0,33F = 0 \quad \text{и решаем.}$$

$$R_1 \left( 0,866 + \frac{0,5}{0,707} \cdot 0,707 \right) = F(1 - 0,33) \quad R_1(0,866 + 0,5) = F \cdot 0,67$$

$$R_1 = \frac{0,67F}{(0,866 + 0,5)}; \quad \mathbf{R_1 = 0,49F}$$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ}; \quad R_2 = \frac{R_1 \cdot 0,5}{0,707} = 0,49 \cdot F \cdot \frac{0,5}{0,707}; \quad \text{откуда } \mathbf{R_2 = 0,35F}$$

6 Проверяем правильность полученных результатов по уравнению, которое не было использовано при решении задачи

$$\Sigma M_B = 0; R_1 \cdot \cos 30^\circ \cdot 1,8 + R_2 \cdot \cos 45^\circ \cdot 1,8 - F \cdot 1,2 = 0,49F \cdot 1,56 + 0,35F \cdot 1,27 - F \cdot 1,2 = 0,75 \cdot F + 0,45 \cdot F - 1,2 \cdot F = 0.$$

Решение верное.

Ответ:  $R_{max} = R_1 = 0,49F$

### Задача № 3

#### Определение реакций в опорах

Определить реакции в подшипниках в горизонтальной и вертикальной плоскости

Схема нагружения в вертикальной плоскости

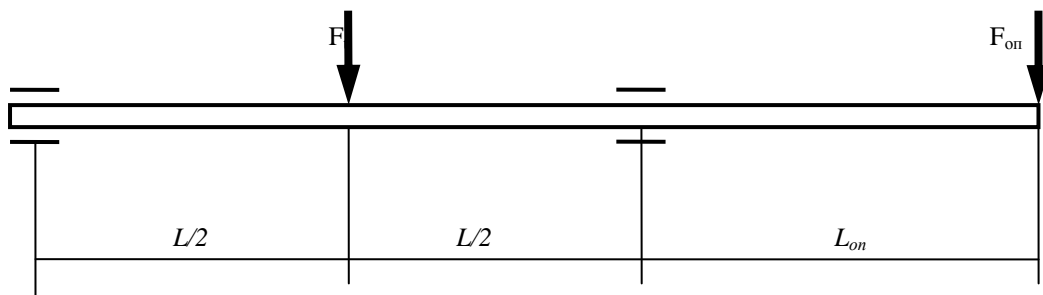
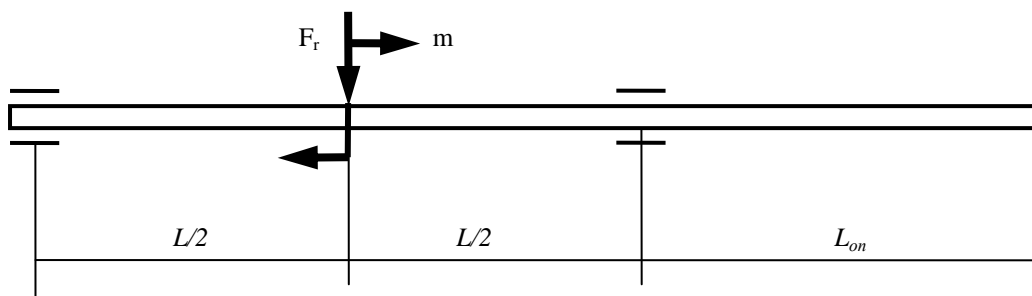


Схема нагружения в горизонтальной плоскости



Варианты для задач:

Вариант	Нагрузки				Размеры	
	$F_t$ (кН) Окружная сила	$F_{оп}$ (кН) Сила от открытой передачи	$F_r$ (кН) Радиальная сила	$m$ (кНм) момент	$L$ (мм) Расстояние между подшипниками	$L_{оп}$ (мм) Длина участка вала под деталь открытой передачи
1, 16	0,4	0,3	0,3	0,02	300	100
2, 17	0,6	0,4	0,4	0,1	400	150
3, 18	0,2	0,1	0,1	0,06	200	80
4, 19	0,4	0,3	0,3	0,08	200	200
5, 20	0,6	0,4	0,4	0,05	100	100
6, 21	0,2	0,1	0,1	0,2	400	100
7, 22	0,4	0,2	0,2	0,08	300	150
8, 23	0,7	0,3	0,3	0,04	500	100
9, 24	0,2	0,1	0,1	0,05	240	120
10, 25	0,5	0,2	0,2	0,06	150	80
11, 26	0,6	0,3	0,3	0,1	180	100
12, 27	0,2	0,1	0,1	0,2	140	50
13, 28	0,8	0,4	0,4	0,4	300	120
14, 29	0,6	0,4	0,4	0,04	200	80
15, 30	0,5	0,4	0,4	0,06	100	100

#### Пример решения задачи 3

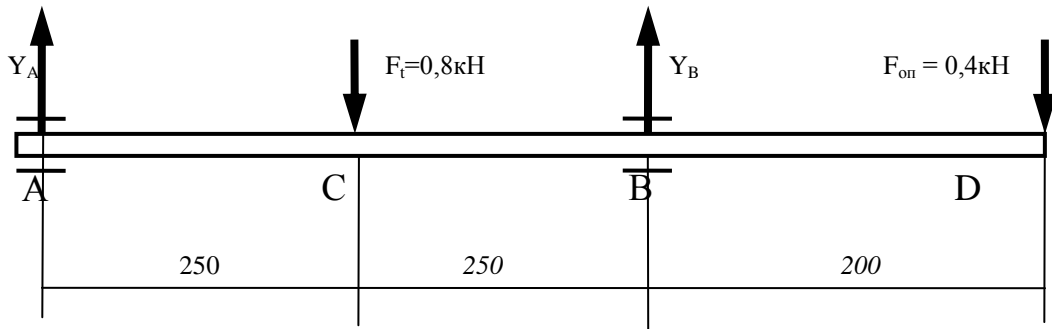
Дано:

Вертикальная плоскость:  $F_t=0,8\text{кН}$        $F_{оп}=0,4\text{кН}$        $L=500\text{мм}$        $L_{оп}=200\text{мм}$

Горизонтальная плоскость:  $F_r=0,2\text{кН}$        $m=0,3\text{кН}\cdot\text{м}=300\text{кН}\cdot\text{мм}$        $L=500\text{мм}$        $L_{оп}=200\text{мм}$

## Решение

- 1) На схеме указываем реакции опор  $Y_A$  и  $Y_B$ . Определяем реакции в опорах (подшипниках) в вертикальной плоскости.

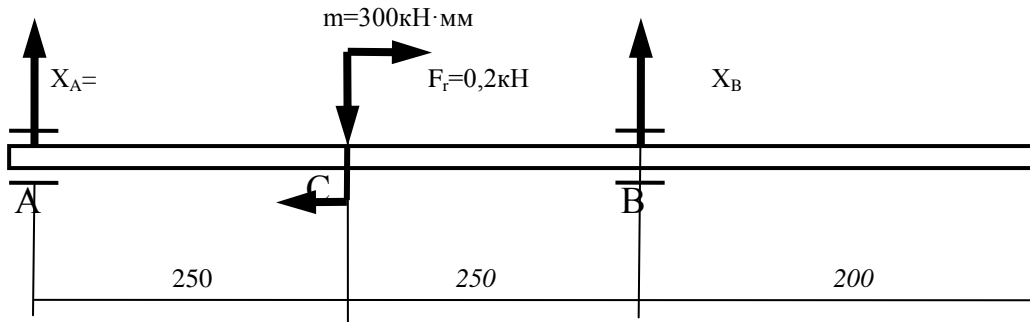


- 2) Составляем уравнения равновесия

$$\Sigma m_A = 0; F_{\text{оп}} \cdot (L + L_{\text{оп}}) - Y_B \cdot L + F_t \cdot L/2 = 0; \text{откуда } Y_B = \frac{F_{\text{оп}} \cdot (L + L_{\text{оп}}) + F_t \cdot L/2}{L} = \frac{0,4 \cdot 700 + 0,8 \cdot 250}{500} = 0,96 \text{ кН}$$

$$\Sigma Y = 0; Y_A - F_t + Y_B - F_{\text{оп}} = 0, \text{откуда } Y_A = F_t - Y_B + F_{\text{оп}} = 0,8 - 0,96 + 0,4 = 0,24 \text{ кН}$$

- 3) На схеме указываем реакции опор  $X_A$  и  $X_B$ . Определяем реакции в опорах (подшипниках).



- 4) Составляем уравнение равновесия для горизонтальной плоскости

$$\Sigma m_A = 0; -X_B \cdot L + F_t \cdot L/2 + m = 0; \text{откуда } X_B = \frac{F_t \cdot L/2 + m}{L} = \frac{0,2 \cdot 250 + 300}{500} = 0,7 \text{ кН}$$

$$\Sigma X = 0; X_A - F_t + X_B = 0, \text{откуда } X_A = F_t - X_B = 0,2 - 0,7 = -0,5 \text{ кН (направление противоположно выбранному)}$$

- 5) Определяем суммарные реакции:

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,24^2} = 0,555 \text{ кН}$$

$$R_B = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2} = \sqrt{0,7^2 + 0,96^2} = 1,188 \text{ кН}$$

Ответ:  $R_A = 0,555 \text{ кН}$

$R_B = 1,188 \text{ кН}$

## Контрольная работа № 2

«Растяжение и сжатие» Расчеты на прочность

### Задача 1

#### Проектный расчет

Задана система двух стержней, составленных из равнобоких уголков. При заданном значении силы  $F$  определить требуемые площади поперечных сечений стержней и подобрать по ГОСТ 8509-72 соответствующий номер профиля. Определить процент пере- или недогрузки наиболее нагруженного стержня при принятых стандартных размерах сечения. Принять  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

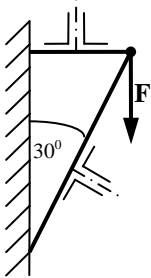


Рисунок 2.5 –  
Схема к заданию

Таблица – Варианты заданию

Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)	Вариант	F (кН)
1	65	7	130	13	210	19	220	25	120
2	80	8	140	14	215	20	200	26	115
3	95	9	145	15	250	21	175	27	105
4	150	10	155	16	265	22	160	28	90
5	110	11	165	17	230	23	150	29	85
6	125	12	170	18	245	24	135	30	70

1. Методами статики определяем усилия в стержнях  $R_1$  и  $R_2$  (решение в ДКР №1)

$$\Sigma F_{kx} = 0; -R_1 - R_2 \cos 60^\circ = 0, \Rightarrow -R_1 - R_2 \cdot 0,5 = 0$$

$$\Sigma F_{ky} = 0; -R_2 \sin 60^\circ - F = 0 \Rightarrow -R_2 \cdot 0,866 - 100 = 0$$

$$R_2 = -\frac{100}{0,866} = -115 \text{ кН}$$

$$\Sigma F_{kx}=0: R_1 = -R_2 \cdot 0,5 = -(-115 \cdot 0,5) = 58 \text{ кН}$$

2. Расчет ведем по наиболее нагруженному стержню  $R_{max} = R_2 = 115 \text{ кН} = 115000 \text{ Н} = N$  – стержень сжат.

Определяем площадь сечения сдвоенных уголков

$$A_{\perp} = \frac{N}{[\sigma]} = \frac{115000 \text{ Н}}{160 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}} = 718,75 \text{ мм}^2$$

$[\sigma]$  – допустимое напряжение, заданное по условию, Н/мм<sup>2</sup>.

3. Определяем требуемую площадь поперечного сечения одного уголка

$$A = \frac{A_{\perp}}{2} = \frac{718,75}{2} = 359,375 \text{ мм}^2 = 3,59 \text{ см}^2$$

4. По ГОСТ 8509-72, (приложение Б), определяем ближайшее значение площади сечения  $A_{ГОСТ} 3,48 \text{ см}^2 = 348 \text{ мм}^2$  и номер профиля равнобокого уголка №4,5. Площадь сдвоенного уголка  $A_{\perp ГОСТ} = 348 \cdot 2 = 696 \text{ мм}^2$

5. Определяем фактическое напряжение  $\sigma = \frac{N}{A_{ГОСТ}} = \frac{115000}{696} = 165 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$

6. Определяем процент перегрузки:  $\frac{|[\sigma] - \sigma|}{[\sigma]} \cdot 100\% = \frac{|160 - 165|}{160} \cdot 100 = 3,125\%$

7 Так как процент перегрузки допускается до 5%, оставляем профиль данного сечения.

Ответ: профиль угловой № 4,5.

## Задача 2

### Расчет допускаемой нагрузки

Определить допускаемое значение силы  $F$ , действующей на брус, подвешенный на трех стержнях, считая, что стержни имеют одинаковое поперечное сечение, состоящее из двух равнобоких уголков заданных размеров. Принять  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ . Весом балки пренебречь.

1. Методами статики определяем усилия в стержнях, как функцию от  $F$  (решение в ДКР №1)

$$\Sigma F_{kx} = 0; -R_1 \cdot \cos 60^\circ + R_2 \cdot \cos 45^\circ = 0$$

$$\Sigma F_{ky} = 0; R_1 \cdot \cos 30^\circ + R_2 \cdot \cos 45^\circ - F + R_3 = 0$$

$$\Sigma M_A = 0; F \cdot 0,6 - R_3 \cdot (0,6 + 1,2) = 0$$

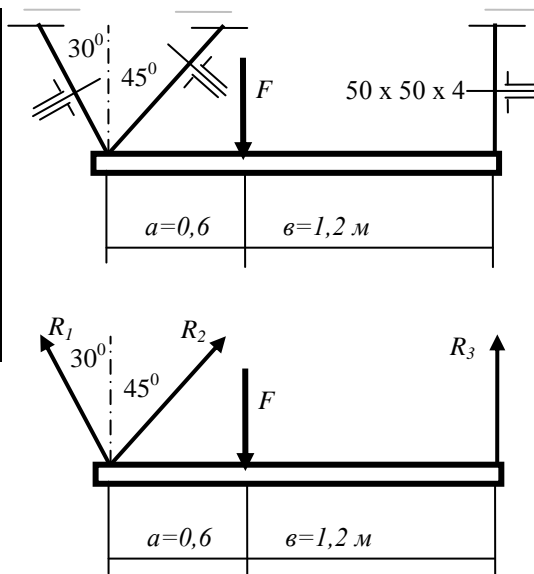
Наибольшая реакция:  $R_{max} = 0,49F$

2 По ГОСТ 8509-72 (приложение Б) определяем площадь заданного номера профиля, равнобокого уголка 50 x 50 x 4:

$$A_{ГОСТ} = 3,89 \text{ см}^2 = 389 \text{ мм}^2, \text{ для двух уголков } A_{ГОСТ} = 778 \text{ мм}^2$$

Таблица 1 – Размеры двоянных уголков для вариантов

Вариант	Профиль	Вариант	Профиль	Вариант	Профиль
1	25x25x4	11	28x28x3	21	36x36x4
2	28x28x3	12	32x32x4	22	40x40x4
3	32x32x4	13	36x36x4	23	45x45x4
4	36x36x4	14	40x40x4	24	50x50x4
5	40x40x4	15	45x45x4	25	56x56x4
6	45x45x4	16	50x50x4	26	63x63x4
7	50x50x4	17	56x56x4	27	25x25x4
8	56x56x4	18	63x63x4	28	40x40x4
9	63x63x4	19	25x25x4	29	45x45x4
10	25x25x4	20	32x32x4	30	50x50x4



3 Определяем допускаемую продольную силу:

$$[N] = A_{ГОСТ} \cdot [\sigma] = 778 \cdot 160 = 121600 \text{ Н} = 121,6 \text{ кН},$$

где  $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$  по условию.

4 Считая  $R_{max} = [N]$ , определяем допустимое значение силы  $F$

$$R_{max} = 0,49F = 121,6 \text{ кН}, \text{ откуда } F = 248,2 \text{ кН}.$$

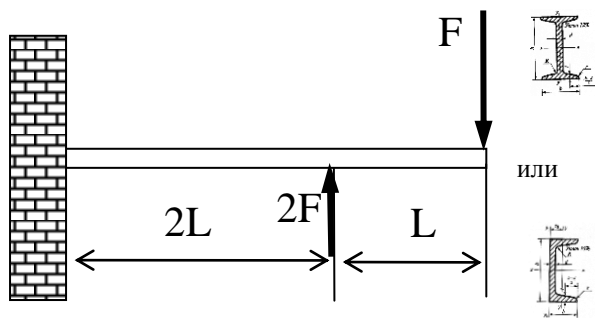
Ответ: допускаемое значение силы  $F = 248,2 \text{ кН}$ .

«Изгиб» Расчеты на прочность

## Задача 3

### Проектный расчет на изгиб

Из условия прочности на изгиб подобрать прокатный профиль двутавр или швеллер по варианту. Допускаемое напряжение  $[\sigma_{из}] = 160 \text{ МПа}$ .



вариант	F кН	L м	профиль
1	100	1	Двутавр
2	90	2	швеллер
3	50	4	Двутавр
4	60	2	швеллер
5	120	1	двутавр
6	110	2	швеллер
7	80	3	двутавр
8	65	1	швеллер
9	40	2	двутавр
10	30	3	швеллер
11	85	1	двутавр
12	60	3	швеллер
13	30	2	двутавр
14	25	1	швеллер
15	150	1	двутавр

Пример решения

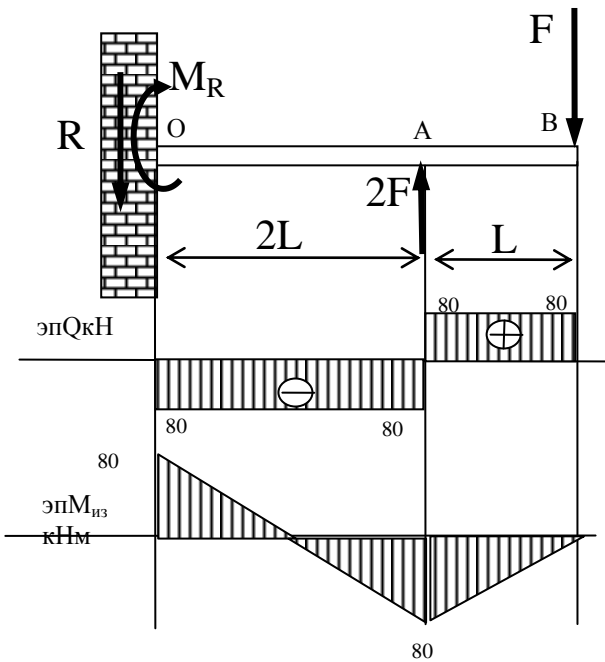
Дано:  $F = 80 \text{ кН}$ ;  $L = 1 \text{ м}$ ;  $[\sigma_{из}] = 160 \text{ МПа}$ . Подобрать двутавр.

Решение

- 1) Определяем реакции в защемлении.  
 $\sum F_{kx}=0; \quad 2F - F - R=0$   
 $\sum M_o=0; \quad M_R + F \cdot 3L - 2F \cdot 2L = 0$
- 2) Строим эпюры

$$R=2F - F \quad R=F=80\text{кН}$$

$$M_R = 4F \cdot L - 3F \cdot L \quad M_R = F \cdot L = 80 \cdot 1=80\text{кНм}$$



Эпюра поперечных сил Q

$$Q_O=0 \quad Q_O'=R = -80\text{кН}$$

$$Q_A = -80 \quad Q_A' = -80 + 2 \cdot 80 = 80\text{кН}$$

$$Q_B = 80 \quad Q_B' = 80 - F = 80 - 80 = 0$$

Эпюра моментов

$$M_O=0 \quad M_O'=M_R=80\text{кНм}$$

$$M_A=80 - 80 \cdot 2L=80-80 \cdot 2 = -80$$

$$M_B = -80 + 80 \cdot L = -80 + 80 = 0$$

Максимальный момент для расчетов

$$M_{из} = 80\text{кНм} = 80 \cdot 10^6 \text{ Нмм}$$

- 3) Определяем осевой момент сопротивления

$$W = \frac{M_{из}}{[\sigma_{из}]}$$

$$W = \frac{M_{из}}{[\sigma_{из}]} = \frac{80 \cdot 10^6}{160} = 500000 \text{ мм}^2 = 500 \text{ см}^2$$

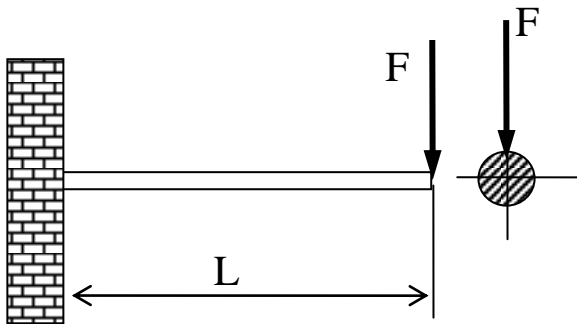
- 4) По ГОСТу подбираем ближайшее значение  $W=518 \text{ мм}^2$ , № 30.

Ответ: Двутавр №30

#### Задача 4

##### Определение нагрузки при изгибе

Из условия прочности на изгиб, определить допустимую нагрузку F на защемленную балку круглого сечения. Допускаемое напряжение  $[\sigma_{из}] = 160 \text{ МПа}$ . Значение диаметра d и длины L, принять по варианту.



Пример решения

Дано:  $L=2\text{м}$ ;  $D=0,05\text{м}$ ;  $[\sigma_{из}] = 160 \text{ МПа}$

Решение

- 1) Переводим единицы измерения

$$L=2\text{м} = 2 \cdot 10^3 \text{ мм}$$

$$D=0,05\text{м} = 50 \text{ мм}$$

$$[\sigma_{из}] = 160 \text{ МПа} = 160 \text{ Н/мм}^2$$

Вариант	Длина L(м)	Диаметр D (м)
1	3	0,1
2	1	0,02
3	1	0,05
4	3	0,05
5	2	0,02
6	4	0,1
7	5	0,3
8	6	0,5
9	10	0,5
10	4	0,02
11	5	0,05
12	6	0,1
13	8	0,02
14	10	0,3
15	6	0,5

- 2) Для представленной схемы максимальный момент в опасном месте (в защемлении)

$$M_{из} = M_{max} = F \cdot L, \text{ откуда } F = M_{из} / L$$

- 3) Определяем осевой момент сопротивления для круглого сечения по формуле:  $W = 0,1D^3$

$$W = 0,1 \cdot 50^3 = 12500 \text{ мм}^3$$

4) Определяем изгибающий момент  $M_{из} = W \cdot [\sigma_{из}]$   
 $M_{из} = 12500 \cdot 160 = 2000000 = 2 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$

5) Определяем допустимую нагрузку  $F = M_{из} / L$   
 $F = 2 \cdot 10^6 : 2 \cdot 10^3 = 1000 \text{ Н} = 1 \text{ кН}$   
 Ответ:  $F = 1 \text{ кН}$

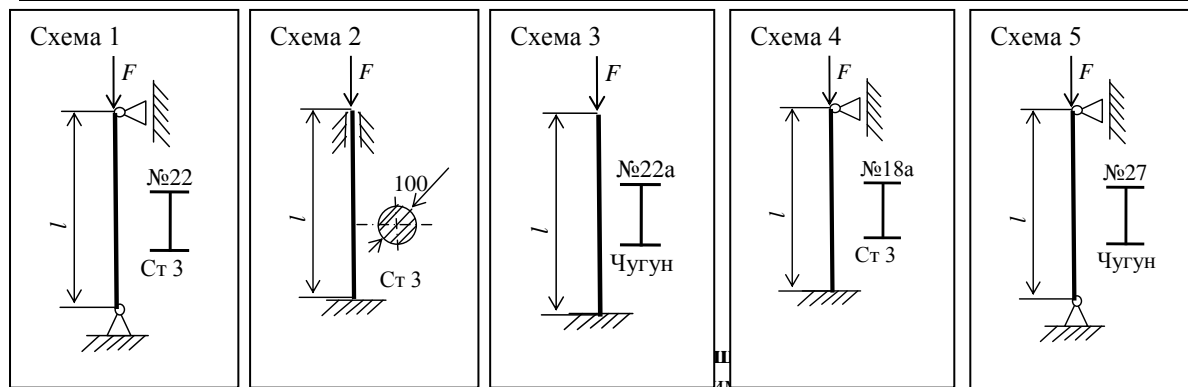
### Задача 5

#### Расчеты на устойчивость

Для заданной стойки определить значение критической силы, критического напряжения и допускаемой сжимающей нагрузки. Указание: значение предельной гибкости для стали Ст3  $\lambda_{пред} = 100$ , для чугуна  $\lambda_{пред} = 80$ . Формулы Ясинского для стали Ст3:  $\sigma_{кр} = 310 - 1,14 \cdot \lambda$ , для чугуна:  $\sigma_{кр} = 762 - 11,8 \cdot \lambda + 0,052 \cdot \lambda^2$ . Модуль упругости стали  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ , чугуна  $E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$

Таблица – Варианты к задаче

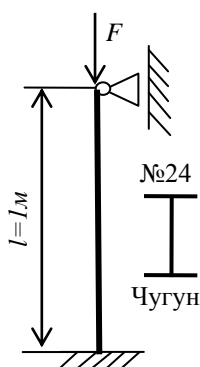
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
схема	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
l, м	2	1	1,6	1,5	1,6	2	3	2,1	2	3	2,1	2	3	2	1,7	2,1	2	3	2	1,8



1 Определяем гибкость стержня по формуле

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{\sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}}$$

где  $J_{\min} = 198 \text{ см}^4 = 198 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$  – минимальный момент инерции;  $A = 34,8 \text{ см}^2 = 3480 \text{ мм}^2$  – площадь поперечного сечения для двутавра №24 (приложение Г);



$\mu = 0,7$  – коэффициент приведения длины, для данного способа крепления;  
 $l = 1000 \text{ мм}$  – длина стержня по заданию, откуда гибкость данного стержня

$$\lambda = \frac{0,7 \cdot 1000}{\sqrt{\frac{1980000}{3480}}} = \frac{700}{23,85} = 29$$

2 Предельная гибкость для чугуна  $\lambda_{пред} = 80$ . поскольку  $29 < 80$  воспользуемся эмпирической формулой Ясинского

$$\sigma_{кр} = 762 - 11,8\lambda + 0,052\lambda^2 = 762 - 11,8 \cdot 29 + 0,052 \cdot 29^2 = 463,5 \text{ Н/мм}^2$$

3 Определяем критическую силу

$$F_{кр} = \sigma_{кр} \cdot A_p = 463,5 \cdot 3480 = 1612980 \text{ Н} = 1613 \text{ кН}$$

4 Определяем допускаемую сжимающую нагрузку

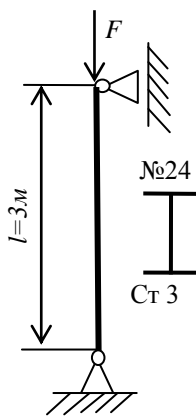
$$[F] = \frac{F_{кр}}{[s_y]}$$

где  $[s_y] = 4 \dots 5$  – коэффициент запаса устойчивости для чугуна;

$$[F] = \frac{1613}{5} = 322 \text{ кН}.$$



Ответ:  $F_{кр}=1613кН$ ;  $\sigma_{кр}=464Н/мм^2$ ;  $[F]=322кН$



### Пример 2

1 Определяем гибкость стержня по формуле

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{\sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}}$$

где  $J_{\min}=198\text{см}^4=198 \cdot 10^4\text{мм}^4$  – минимальный момент инерции;

$A=34,8\text{см}^2=3480\text{мм}^2$  – площадь поперечного сечения для двутавра №24 (приложение Г);

$\mu=1$  – коэффициент приведения длины, для данного способа крепления;

$l=3000\text{мм}$  – длина стержня по заданию, откуда

$$\text{гибкость данного стержня } \lambda = \frac{1 \cdot 3000}{\sqrt{\frac{1980000}{3480}}} = \frac{3000}{23,85} = 126$$

2 Предельная гибкость для стали Ст 3  $\lambda_{пред} = 100$ , при  $\lambda \geq \lambda_{пред}$  справедлива формула Эйлера

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 E \cdot J_{\min}}{(\mu \cdot l)^2};$$

$$F_{кр} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 198 \cdot 10^4}{(1 \cdot 3000)^2} = 433822\text{H} = 434\text{кН}.$$

3 Определяем критическое напряжение

$$\sigma_{кр} = \frac{F_{кр}}{A}$$

$$\sigma_{кр} = \frac{434000\text{H}}{3480\text{мм}^2} = 125\text{H} / \text{мм}^2$$

4 Определяем предельную сжимающую силу

$$[F] = \frac{F_{кр}}{[s_y]}$$

где  $[s_y]=1,8 \dots 3$  – коэффициент запаса устойчивости для стали,

$$[F] = \frac{434}{2,4} = 180\text{кН},$$

Ответ:  $F_{кр}=434кН$ ;  $\sigma_{кр}=125Н/мм^2$ ;  $[F]=180кН$

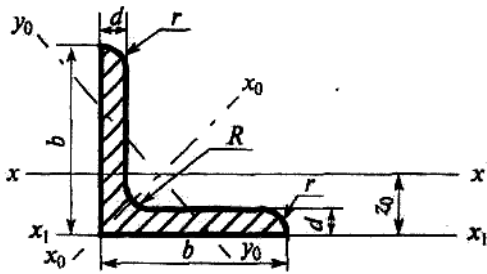
## Приложение А

Значение тригонометрических функций некоторых углов

Значение Углов (градусы)	Sin	Cos	Tg	Ctg
0	0,0000	1,0000	0,0000	
5	0,0872	0,9962	0,0875	11,43
10	0,1736	0,9846	0,1763	5,671
15	0,2588	0,9659	0,2679	3,732
20	0,3420	0,9397	0,3640	2,747
25	0,4226	0,9063	0,4663	2,145
30	0,5000	0,8660	0,5774	1,732
35	0,5736	0,8192	0,7002	1,4281
40	0,6428	0,7660	0,8391	1,1918
45	0,7071	0,7071	1,0000	1,0000
50	0,7660	0,6428	1,1918	0,8391
55	0,8192	0,5736	1,4281	0,7002
60	0,8660	0,5000	1,732	0,5774
65	0,9063	0,4226	2,145	0,4663
70	0,9397	0,3420	2,747	0,3640
75	0,9659	0,2588	3,732	0,2679
80	0,9846	0,1736	5,671	0,1763
85	0,9962	0,0872	11,43	0,0875
90	1,0000	0,0000		0,0000

## Приложение Б

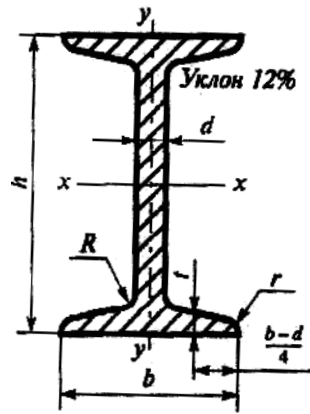
**Сталь прокатная, угловая равнополочная. Сортамент ГОСТ 8509-72  
(извлечение).**



Номер профиля	Размер, мм <sup>2</sup>		Площадь сечения см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей						Z <sub>0</sub> см	
	b	d			J <sub>x</sub> см <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> см	J <sub>x0</sub> см <sup>4</sup>	i <sub>x0</sub> см	J <sub>y0</sub> см <sup>4</sup>	i <sub>y0</sub> см		J <sub>x1</sub> см <sup>4</sup>
2	20	4	1,46	1,15	0,50	0,58	0,78	0,73	0,22	0,38	1,09	0,64
2,5	25	4	1,86	1,46	1,03	0,74	1,62	0,93	0,44	0,48	2,11	0,76
2,8	28	3	1,62	1,27	1,16	0,85	1,84	1,07	0,48	0,55	2,20	0,80
3,2	32	4	2,43	2,91	2,26	0,96	3,58	1,21	0,94	0,62	4,39	0,94
3,6	36	4	2,75	2,16	3,29	1,09	5,21	1,38	1,36	0,70	6,24	1,04
4	40	4	3,08	2,42	4,58	1,22	7,26	1,53	1,90	0,78	8,58	1,31
4,5	45	4	3,48	2,73	6,63	1,38	10,50	1,74	2,74	0,89	12,10	1,26
5	50	4	3,89	3,05	9,21	1,54	14,60	1,94	3,80	0,99	16,60	1,38
5,6	56	4	4,38	3,44	13,10	1,73	20,80	2,18	5,41	1,11	23,30	1,52
6,3	63	4	4,96	3,90	18,90	1,95	29,90	2,45	7,81	1,25	33,10	1,69
7	70	5	6,86	5,38	31,90	2,16	50,70	2,72	13,20	1,39	56,70	1,90
7,5	75	6	8,78	6,89	46,60	2,30	73,90	2,90	19,30	1,48	83,90	2,06
8	80	6	9,38	7,36	57,00	2,47	90,40	3,11	23,50	1,58	102,00	2,19
9	90	7	12,30	9,64	94,30	2,77	150,00	3,49	38,90	1,78	169,00	2,47
10	100	8	15,60	12,20	147,00	3,07	233,00	3,87	60,90	1,98	265,00	2,75
11	110	8	17,20	13,50	198,00	3,39	315,00	4,28	81,80	2,18	353,00	3,00
12,5	125	9	22,00	17,30	327,00	3,86	520,00	4,86	135,00	2,48	582,00	3,40
14	140	9	24,70	19,40	466,00	4,34	739,00	5,47	192,00	2,79	818,00	3,78
16	160	10	31,40	24,70	744,00	4,96	1229,00	6,25	319,00	3,19	1356,00	4,30
18	180	11	38,80	30,50	1216,00	5,60	1733,00	7,06	500,00	3,59	2128,00	4,85
20	200	12	47,10	37,00	1823,00	6,22	2896,00	7,84	749,00	3,99	3182,00	5,37

## Приложение В

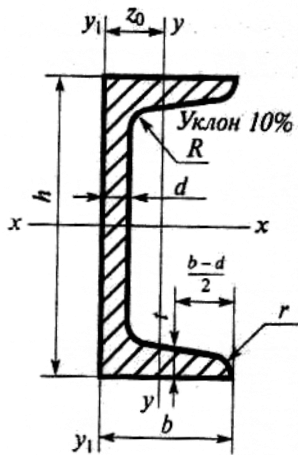
### Сталь горячекатаная. Балки двутавровые. ГОСТ 8239-72



Номер балки	Масса 1м, кг	Размеры						Площадь A, см <sup>3</sup>	Справочные величины для осей						
		h	b	d	t	R	r		x-x				y-y		
									J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>
		мм							см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>3</sup>	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см
10	9,46	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	11,5	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	13,7	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	15,9	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,70
18	18,4	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	19,9	180	100	5,1	8,3	9,0	3,5	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	21,0	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	1840	184	8,28	104,0	115	23,1	2,07
20a	22,7	200	110	5,2	8,6	9,5	4,0	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	24,0	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	25,8	220	120	5,4	8,9	10,0	4,0	32,8	2790	254	9,22	143	143	34,3	2,50
24	27,3	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	29,4	240	125	5,6	9,8	10,5	4,0	37,5	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,63
27	31,5	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27a	33,9	270	135	6,0	10,2	11,0	4,5	43,2	5500	407	11,3	229	337	50,0	2,80
30	36,5	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30a	39,2	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	42,2	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	48,6	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	57,0	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	66,5	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	78,5	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	92,6	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	108	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

## Приложение Г

### Сталь прокатная горячекатаная. Швеллеры с уклоном внутренних граней волокон. ГОСТ 8240-72



Номер швеллера	Масса, 1м, кг	Размеры						Площадь, сечения, А, см <sup>2</sup>	Справочные величины для осей							
		h	b	d	t	R	r		x-x				y-y			z <sub>0</sub> см
		мм							J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	S <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	
									см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>3</sup>	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	
5	4,84	50	32	4,4	7,0	6	2,5	6,16	22,8	9,10	1,92	5,59	5,61	2,75	0,954	1,16
6,5	5,90	65	36	4,4	7,2	6	2,5	7,51	48,6	15,0	2,54	9,00	8,70	3,68	1,08	1,24
8	7,05	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	8,59	100	46	4,5	7,6	7	3	10,9	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	10,4	120	52	4,8	7,8	7,5	3	13,3	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	12,3	140	58	4,9	8,1	8	3	15,6	491	70,2	5,60	40,8	45,4	11,0	1,70	1,67
14a	13,3	140	62	4,9	8,7	8	3	17,0	545	77,8	5,66	45,1	57,5	13,3	1,84	1,87
16	14,2	160	64	5,0	8,4	8,5	3,5	18,1	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,80
16a	15,3	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	19,5	823	103	6,49	59,4	78,8	16,4	2,01	2,00
18	16,3	180	70	5,1	8,7	9	3,5	20,7	1090	121	7,24	69,8	86,0	17,0	2,04	1,94
18a	17,4	180	74	5,1	9,3	9	3,5	22,2	1190	132	7,32	76,1	105	20,0	2,18	2,13
20	18,4	200	76	5,2	9,0	9,5	4	23,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,20	2,07
20a	19,8	200	80	5,2	9,7	9,5	4	25,2	1670	167	8,15	95,9	139	24,2	2,35	2,28
22	21,0	220	82	5,4	9,5	10	4	26,7	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
22a	22,6	220	87	5,4	10,2	10	4	28,8	2330	212	8,99	121	187	30,0	2,55	2,46
24	24,0	240	90	5,6	10,0	10,5	4	30,6	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,60	2,42
24a	25,8	240	95	5,6	10,7	10,5	4	32,9	3180	265	9,84	151	254	37,2	2,78	2,67
27	27,7	270	95	6,0	10,5	11	4,5	35,2	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	31,8	300	100	6,5	11,0	12	5	40,5	5810	387	12,0	224	327	43,6	2,84	2,52
33	36,5	330	105	7,0	11,7	13	5	46,5	7980	484	13,1	281	410	51,8	2,97	2,59
36	41,9	360	110	7,5	12,6	14	6	53,4	10820	601	14,2	350	513	61,7	3,10	2,68
40	48,3	400	115	8,0	13,5	15	6	61,5	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75