

Среди пружин, применяемых в машиностроении, можно выделить несколько основных типов их конструктивного исполнения: витые (цилиндрические, конические, фасонные), плоские, плоские спиральные, тарельчатые (Бельвилля), кольцевые, торсионы.

В системе управления самолетом наиболее часто применяются цилиндрические витые пружины из проволоки круглого сечения, работающие на сжатие (растяжение). Наиболее ходовые из них нормализованы.

С целью повышения несущей способности витые пружины статического ограниченно-кратного динамического действия целесообразно заневоливать.

Расчет пружин ведется по эксплуатационным нагрузкам (напряжениям). Расчетные формулы для основных типов пружин сведены в таблицу I.

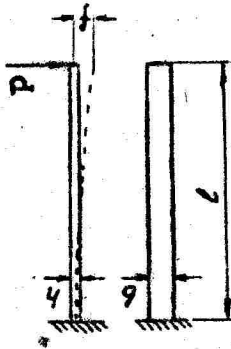
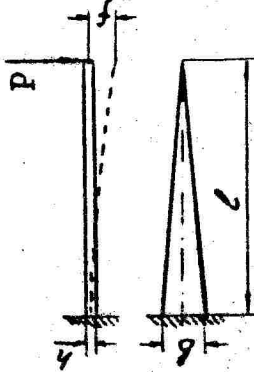
000.00.0000.017. МР - 74

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Сахно И.В.	04.01.75	ИВ	25.11.74
Пров.	Голуб В.М.		ВМ	
Н. контр.	Гусев Б.В.		БВ	25.11.74
Утв.				

Расчет пружин и
торсионов.

Лит.	Лист	Листов
1	2	15

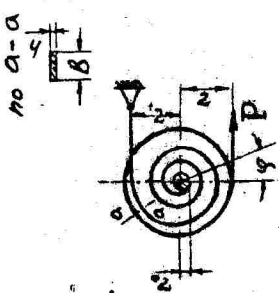
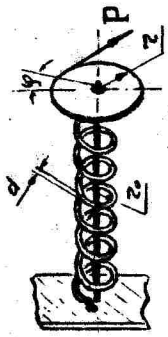
Таблица I.

Напряжения и работа		Прогноз пружины		Усилия		Пружина, работающие на изгиб	
Тип пружины и нагрузка							
 Прямоугольная пластинчатая пружина	$\sigma = \frac{6Pl}{bh^2}$ $A = \frac{Pl^3}{24E} = \frac{\sigma^2 bhl}{18E}$	$f = \frac{Pl^3}{3EI} = \frac{2}{3} \frac{l^2}{h} \frac{\sigma}{E}$		$P = \frac{bh^2}{6} \frac{\sigma}{l}$			
	 Треугольная пластинчатая пружина	$\sigma = \frac{6Pl}{bh^2}$ $A = \frac{Pl^3}{24E} = \frac{\sigma^2 bhl}{6E}$	$f = \frac{Pl^3}{2EI} = \frac{l^2}{h} \frac{\sigma}{E}$		$P = \frac{bh^2}{6} \frac{\sigma}{l}$		

000.00.0000. 017 MP - 74

Лист
3

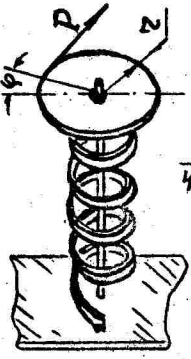
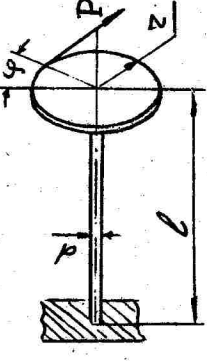
Изм.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																</
------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

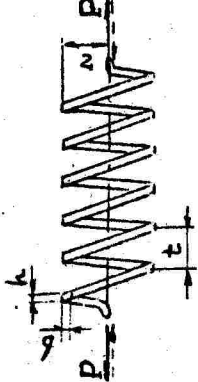
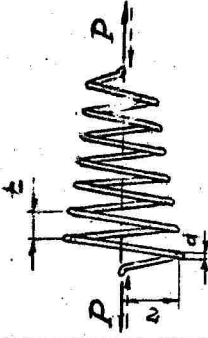
Тип пружины и нагрузка	Усилие	Прогиб пружины	Напряжение и работа
 <p>Спиральная пружина прямоугольного сечения $\ell \approx \pi n (r_0 + r_1)$ n - число витков спирали</p>	$P = \frac{bh^2}{8} \frac{\sigma}{r}$	$f = r \varphi = \frac{Pr^2}{EJ} = 2 \frac{r \ell}{h} \frac{\sigma}{E}$	$\sigma = \frac{6Pr}{bh^2}$ $A \approx \frac{Prf}{2} = \frac{\sigma^2}{6E} V,$ $2de V = 6h\ell$
 <p>Винтовая пружина круглого сечения $\ell = 2\pi r n \sqrt{1 + (\frac{r}{2.5r_0})^2}$ n - число витков; r_0 - радиус по оси винто вой линии пружины t - шаг винтовой линии</p>	$P = \frac{\pi d^3}{32} \frac{\sigma}{r}$	$\varphi = \frac{26\ell}{dE}$	$\sigma = \frac{32 Pr}{\pi d^3}$ $A = \frac{Prf}{2} = \frac{\sigma^2}{8E} V,$ $2de V = \frac{\pi d^2}{4} \ell$

000.00.0000. 017. МР - 74

Лист
4

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Тип пружины и нагрузка	Усилие	Прогиб пружины	Напряжение и работа
 <p>Винтовая пружина прямоугольного сечения $\ell = 2\pi z_0 n \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2\pi z_0}\right)^2}$ n — число витков; z — шаг винтовой ли- нии; z_0 — радиус по оси винтовой линии</p>	$P = \frac{6 P \tau}{6} \frac{\sigma}{z}$	$f = z \varphi = \frac{P \ell^2 z^2}{E J} = 2 \frac{\tau \ell}{h} \frac{\sigma}{E}$	$\sigma = \frac{6 P \tau}{8 h^2}$ $A = \frac{P f}{2} = \frac{\sigma^2}{6 E} V,$ $2 \partial e V = 8 h \ell$
Пружины, работающие на кручение			
 <p>Стержень круглого сечения</p>	$P = \frac{\pi}{16} \frac{d^3}{z} \tau = 0,1963 \frac{d^3}{z} \tau$	$f = z \varphi$ $\varphi = \frac{32}{\pi} \frac{\tau \ell}{d^4} \frac{P}{\sigma} = \frac{2 \tau \ell}{d} \frac{\sigma}{G}$	$\tau = \frac{16 P \tau}{\pi d^3}$ $A = \frac{P f}{2} = \frac{\tau^2}{4 G} V,$ $2 \partial e V = \frac{\pi d^2}{4} \ell$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подпись и дата	Тип пружины и нагрузка	Усилие	Прогиб пружины	Напряжение и работа
										<p>$b < h$</p>  <p>Цилиндрическая винтовая пружина прямоугольного сечения</p> $\ell = n \sqrt{(2.5\pi r)^2 + t^2}$ <p>n - число витков</p>	$P = k_2 \frac{\delta^2 h}{\tau} \tau$	$f = \frac{2.5 \pi r^3}{k_1 h \delta^3 G} P = \frac{1}{k_1} \frac{\tau^2 P}{h \delta^3 G} =$ $= \frac{k_2}{k_1} \frac{\tau \ell}{\delta G}$ <p>коэффициенты k см. в выписке "Справочные материалы..." № 000 00 0000 004 МР-74, стр 12</p>	$\tau = \frac{P \tau}{k_2 \delta^2 h}$ $A = \eta \frac{\tau^2}{G} V,$ $2 \partial e V = \delta h \ell$ $\eta = \frac{k_2^2}{2 k_1}$
										 <p>Коническая винтовая пружина круглого сечения</p> $\ell = n \sqrt{(\pi r)^2 + t^2}$ <p>n - число витков</p>	$P = \frac{\pi}{16} \frac{d^3}{\tau} \tau = 0.1963 \frac{d^3}{\tau} \tau$	$f = \frac{16 \pi^2 \ell}{\pi d^4 G} P = 16 \pi \frac{\tau^3 P}{d^4 G} =$ $= \frac{\tau \ell}{d G} = \pi n \frac{\tau^2}{d G} \frac{\tau}{G}$	$\tau = \frac{16 P \tau}{\pi d^3}$ $A = \frac{P f}{2} = \frac{\tau^2}{8 G} V,$ $2 \partial e V = \frac{\pi d^2}{4} \ell$

000.00.0000.017. МР - 74

Лист

7

Пример расчета цилиндрической пружины.

В качестве примера взята пружина из нормали 6567Ас параметрами: материал 65С2ВА, $G = 7,85 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2$,

$d = 2 \text{ мм}$; $D = 18 \text{ мм}$; $H = 44,2 \text{ мм}$; $n = 8$

$$\tau = \frac{D - d}{2} = \frac{18 - 2}{2} = 8 \text{ мм}$$

Пружина работает при температуре $\pm 60^\circ \text{C}$. Максимальная эксплуатационная нагрузка, действующая на пружину

$$P^3 = 14 \text{ кг}$$

Максимальное эксплуатационное напряжение в витке пружины

$$\tau = \frac{16 \cdot P^3 \cdot \tau}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 14 \cdot 0,8}{\pi \cdot 0,2^3} = 7120 \text{ кг/см}^2$$

Определяем $[\tau]$ в зависимости от рабочей температуры и конструкции пружины

$$\text{При } C = \frac{2 \tau}{d} = \frac{2 \cdot 8}{2} = 8, \quad K = 1,175 \text{ и}$$

$$[\tau] = \frac{\tau_2}{K} = \frac{8400}{1,175} = 7150 \text{ кг/см}^2$$

(см. нормаль 6567А).

Расчет пружины на устойчивость.

Критическую силу определяем по формуле

$$P_{кр} = F_{кр} \cdot Z$$

Осадка (прогиб) пружины

$$F_{кр} = \frac{5}{6} H \left(1 - \sqrt{1 - 6,5 \left(\frac{2 \tau}{H} \right)^2} \right) =$$

$$= \frac{5}{6} 44,2 \left(1 - \sqrt{1 - 6,5 \left(\frac{2 \cdot 8}{44,2} \right)^2} \right) = 22,7 \text{ мм} = 2,27 \text{ см}$$

Нач.	Нач.	Нач. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

000.00.0000.017 MP - 74

Копировал

Формат 11

Лист
10

$$Z = \frac{G d^4}{64 \cdot \tau^3 n} = \frac{7,85 \cdot 10^5 \cdot 0,2^4}{64 \cdot 0,8 \cdot 6} = 6,4 \text{ кг/см}$$

$$P_{кр} = 2,27 \cdot 6,4 = 14,5 \text{ кг}$$

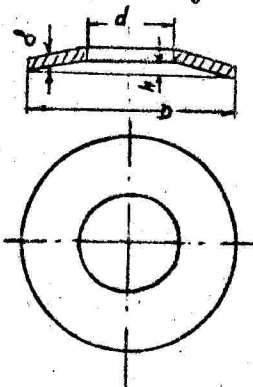
$$\eta_{уст} = \frac{P_{кр}}{P_{э}} = \frac{14,5}{14} < 2,$$

следовательно, данную пружину необходимо ставить на оправку или в гильзу.

Тарельчатые пружины Бельвилля

Пружины Бельвилля предназначены для восприятия больших усилий и используются главным образом как мощные буферные пружины во всякого рода амортизаторах. Для получения нужного осевого перемещения пружины состоят из ряда секций, каждая из которых образуется двумя тарелками, соприкасающимися наружными кромками.

Для повышения несущей способности пружины Бельвилля за-
неволиваются путем обхатия до полного сплющивания.



Наибольшее нормальное напряжение развивается в меридиальном сечении конической оболочки, у внутренней кромки.

Их величина может быть определена по формуле

$$\sigma_{max} = \frac{4 E \lambda_0}{K D^2} (h K_0 - \lambda_0 K_1 + \delta)$$

где λ_0 - осадка при P_{max}

$$(\lambda_{0max} \leq 0,8 h)$$

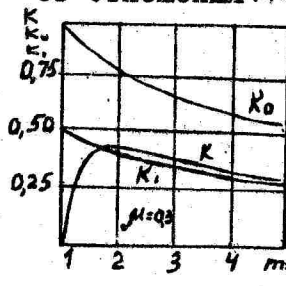
Изм.	Изм. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Или. № дубл.	Подпись и дата
Исх.					

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

000.00.0000.017 МР - 74

Лист
II

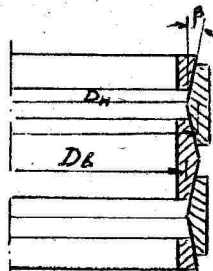
Коэффициенты K , K_o и K_i определяются по графику в зависимости от отношения $m = \frac{D}{d}$.



Нормальные напряжения в окружных сечениях оболочки незначительны.

Кольцевые пружины.

Кольцевые пружины состоят из внутренних и внешних колец поперечного сечения специальной формы, опирающимися друг на друга своими конусными поверхностями. Осевое усилие, воспринимаемое пружиной, создает на поверхностях соприкосновения колец большие силы давления, под действием которых наружные кольца растягиваются, внутренние — сжимаются.



Для внутренних колец

$$\sigma_b = \frac{P_{max}}{\pi F_n \operatorname{tg}(\beta + \gamma)}$$

для наружных колец

$$\sigma_n = \frac{P_{max}}{\pi F_n \operatorname{tg}(\beta + \gamma)}$$

где F_b и F_n — площади поперечных сечений внутреннего и наружных колец;

γ — угол трения.

Осевое перемещение торцов пружины, состоящей из n колец (два из них торцевые — односторонние либо полные, но работающие одной стороной):

$$\lambda = \frac{(n-1) P}{2 \pi E \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg}(\beta + \gamma)} \cdot \left(\frac{D_b}{F_b} + \frac{D_n}{F_n} \right),$$

где F_b и F_n — площади поперечных сечений внутреннего и наружного

Если при установке торсиона не удастся исключить изгиба, расчет торсиона производится по приведенным нормальным напряжениям с учетом изгиба. Методику расчета см. в выпуске "Справочные материалы ..." № 000.00.0000.003 МР - 74.

Методику расчета вала на устойчивость при кручении см. в
выпуске "Справочные материалы ..." № 000.00.0000.013 МР - 74.

Значение критического крутящего момента, при котором происходит потеря устойчивости вала определяется по формуле:

$$M_{\text{крит}} = \frac{2HEJ}{l}$$

Особенностью работы торсиона является воздействие переменных нагрузок, связанных с колебаниями температуры.

При конструировании торсионов следует избегать концентраторов напряжений; поверхность торсионов должна иметь высокую частоту обработки; рекомендуется поверхностное упрочнение.

Пример расчета торсионна.

Расчитать торсион на прочность при следующих параметрах:
Материал торсиона 65с2ВА ГОСТ 2052-52, длина торсиона $l = 2770$ мм,
максимальный крутящий эксплуатационный момент $M_{кр} = 14500$ кг см,
Сечение торсиона $d = 22$ мм.

Максимальное эксплуатационное напряжение кручения

$$\tau_{kp} = \frac{M_{kp}^3}{W_{kp}} = \frac{14500}{2 \cdot 1,045} = 6950 \text{ кг/см}^2$$

Допустимое напряжение

$$[\tau] = 84 \text{ кг/мм}^2$$

$$\eta = \frac{8400}{6950} = 1,21$$

[illegible]

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

000.00.0000.017. MP - 74

Лист
Т4

Угол закрутки торсиона

$$\varphi = \frac{M_{кр}^3 \cdot l}{G J_{кр}} = \frac{14500 \cdot 277}{2 \cdot 8,7 \cdot 10^5 \cdot 2,3} = 1 \text{ рад.} = 57^{\circ} 43'$$

Величина критического момента, при котором происходит потеря устойчивости вала на кручение

$$M_{кр} = 2 \frac{J E Y}{e} = \frac{2 \cdot J \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 2,3}{277,0} = 109000 \text{ кг см}$$

$$M_{крит} > M_{кр}^3$$

Литература

1. Энциклопедический справочник машиностроения.
том 2, 1948 г.
2. М.Ф. Астахов и др. Справочная книга по расчету
самолета на прочность.

Нач.	Нач.	Инж. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

000.00.0000.017 МР - 74

Лист
15

Копировал

Формат II