ДЗ №1

1) Подобрать двигатель.

Вариант №11

Дано:

мин. погрешностей

$n_{вых} = 15$ об/мин.

$M_{вых} = 1$ Н·м.

$I_н = 1{,}1$ кг·м²

$\varepsilon_{вых} = 1{,}2$

$\varphi = \pm 160°$

7F

Решение

I. подбор двигателя по расчетной мощности

1. $P_р \geq \frac{P_н}{\eta_0}$, где $\eta_0 = 0{,}8$

$P_н = M_н \cdot W_н = \frac{\pi n_{вых} M_{вых}}{30} =$

$= \frac{\pi \cdot 15 \cdot 1}{30} = 1{,}57$ [Вт]

$P_р \geq \frac{1{,}57}{0{,}8} = 1{,}96$ [Вт]

2. $\xi = \frac{P_т}{P_р} \Rightarrow$

$P_р \cdot \xi_{min} \leq P_т \leq P_р \xi_{max}$

назначим $\xi = 2{,}5 \ldots 5$, тогда:

$1{,}96 \cdot 2{,}5 \leq P_т \leq 1{,}96 \cdot 5$

$4{,}9 \leq P_т \leq 9{,}8$

3. предварительно назначим двигатель (ЭМ-8) с данными параметрами:

$U_в = 115$ В, $P_н = 8$ Вт, $n = 4000$ об/мин.,

$I_р = 0{,}021$ кг·м², $M_{нач} = 20$ Н·мм

$M_{ном} \geq M_{Σпр}$

$M_{Σпр} = M_{ст}^{пр} + M_{дв}^{пр}$

$M_{ст}^{пр} = \frac{M_н}{i_0 \cdot \eta_0}$, где $i_0 = \frac{n_{дв}}{n_н} = \frac{4000}{15} = 267$.

$M_{ст}^{пр} = \frac{1000}{267 \cdot 0{,}8} = 4{,}7$ Н мм

$M_{дв}^{пр} = \left[(1 + K_н) J_р + \frac{J_н}{i_0^2}\right] \xi \cdot i_0$, где $K_н = 0{,}4 \ldots 1$

$M_{дв}^{пр} = \left[(1 + 0{,}4)\, 0{,}021 + \frac{11 \cdot 10^{-4}}{267^2}\right] \cdot 1{,}2 \cdot 267 = 9{,}38$ Н мм

$M_{Σпр} = 14{,}08 < M_{ном}$

$14{,}08 < 20$ Н мм. $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ двигатель подходит. (+)

2) Выполнить кинематический расчет механизма.

II. кинематический расчет.

1. Т.к. задан критерий min погрешностей, то:

$n = \frac{\lg i_0}{\lg i}$, где $i = 8$, $i_0 = 267$

$n = \frac{\lg 267}{\lg 8} = 2{,}7 \longrightarrow n = 3$

Назначим $i_{56} = 8$, тогда $i_{ост} = \frac{267}{8} = 33{,}375$

пусть $i_{34} = 6$, $i_{12} = 5{,}6$.

$i_0 = 7 = 8 \cdot 6 \cdot 5{,}6 = 268{,}8$

$\Delta i_0^1 = \left|\frac{268{,}8 - 267}{267}\right| \cdot 100\% = 0{,}67\%$.

2. Определение числа зубьев

Назначим число зубьев всех шестерен одинаковыми и равными $z_1 = z_3 = z_5$, тогда:

$z_2 = z_1 \cdot i_{12} = 25 \cdot 5{,}6 = 140$

$z_4 = z_3 \cdot i_{34} = 25 \cdot 6 = 150$

$z_6 = z_5 \cdot i_{56} = 25 \cdot 8 = 200$

Данные значения соответствуют стандартному ряду:

$\Delta i_0^2 = \Delta i_0^1 = 0{,}67\%$.

$\left(i_0 = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} = 268{,}8\right)$ (+)

3) Провести силовой расчет редуктора. Рассчитать передачи на прочность, предварительно выбрав материалы и установив допустимые напряжения.

• Силовой расчет

1) Силовой расчет элементов кин. цепи

$$M_{n-1} = \frac{M_n}{i_{\frac{n-1}{n}} \cdot \eta_{\frac{n-1}{n}} \cdot \eta_{подш}}$$

$M_{IV} = 1000$ Н·мм

$M_{III} = \frac{1000}{0{,}99 \cdot 0{,}98 \cdot 8} = 128{,}8$ Н·мм

$M_{II} = \frac{128{,}8}{0{,}99 \cdot 0{,}98 \cdot 6} = 22{,}1$ Н·мм

$M_{I} = \frac{22{,}1}{0{,}99 \cdot 0{,}98 \cdot 5{,}6} = 4{,}1$ Н·мм

$M_I < M_n|_{15}$ Н·мм

=> двигатель выбран верно

• Расчет зубчатых передач

1) назначим материалы для шестерни СТ40Х для колеса СТ40

2) определение допускаемого контактного напряжения

$$[\sigma_H]_{1,2} = \frac{\sigma_{HR1,2} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_{HL1,2}}{S_{H1,2}}, \text{ где}$$

$Z_R = Z_V = 1$

$K_{HL} = 1$

$S_H = 1{,}2$

$\sigma_{HR} = 2HB + 70$

$\sigma_{HR1} = 2 \cdot 230 + 70 = 530$ МПа

$\sigma_{HR2} = 2 \cdot 200 + 70 = 400$ МПа.

$[\sigma_H]_1 = \frac{530 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1{,}2} = 442$ МПа

$[\sigma_H]_2 = \frac{470 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1{,}2} = 392$ МПа

3) определение допускаемого напряжения изгиба.

$$[\sigma_F]_{1,2} = \frac{\sigma_{FR1,2} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL}}{S_F}, \text{ где}$$

$K_{FC} = 1$

$K_{FL} = 1$

$S_F = 2{,}2$

$\sigma_{FR} = 1{,}84$ HB

$\sigma_{FR} = 1{,}84 \cdot 230 = 423$ МПа.

$\sigma_{FR} = 1{,}84 \cdot 200 = 368$ МПа

$[\sigma_F]_1 = \frac{423 \cdot 1 \cdot 1}{2{,}2} = 192$ МПа

$$[\sigma_F]_2 = \frac{368 \cdot 1,1}{2,2} = 167 \text{ МПа}.$$

4) Рассчитаем модуль З/П из $[\sigma_F]$

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{M \cdot Y_F \cdot k \cdot 2}{\psi_{bm} \cdot z \cdot [\sigma_F]}}$$

$m_{min} = 0,3$

$k = 1,25$

$\psi_{bm} = 8$

$z_1 = z_3 = z_5 = 25 \rightarrow Y_F = 3,98$

• для пары $z_1 - z_2$:

$z_1 = 25$; $Y_F = 3,98$

$z_2 = 140$ $Y_F = 3,6$

$\frac{Y_{F1}}{[\sigma_{F1}]} = \frac{3,98}{192} = 0,0207$. $\frac{Y_{F2}}{[\sigma_{F2}]} = \frac{3,6}{167} = 0,021$

$$m_{56} \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1238 \cdot 1,25 \cdot 3,6}{167 \cdot 140^2 \cdot 8}} = 0,18 \text{ мм}.$$

$m_{56} = 0,3$ мм.

• для $z_3 - z_4$: $z_3 = 25$ $Y_F = 3,98$

$z_4 = 150$ $Y_F = 3,6$.

$$m_{34} \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 22,1 \cdot 1,25 \cdot 3,6}{167 \cdot 150^2 \cdot 8}} = 0,095 \text{ мм} \Rightarrow m_{34} = 0,3 \text{ мм}.$$

• для $z_5 - z_6$:

$z_5 = 25$ $Y_F = 3,98$

$z_6 = 200$ $Y_F = 3,6$.

$$m_{12} \geq 3\sqrt{\frac{4,1 \cdot 2 \cdot 1,25 \cdot 3,6}{167 \cdot 200^2 \cdot 8}} = 0,05 \text{ мм},$$

$m_{12} = 0,3$ мм.

• Проверочный расчет на прочность

$$a \geq k_a (u + 1) \sqrt[3]{\frac{M \cdot k}{[\sigma_H]^2 \cdot \psi_{ba}}}$$

$K_a = 43,5$ МПа $k = 1,25$ $\psi_{ba} = 0,4$

• для $z_6 - z_5$:

$$a_{56} \geq 43,5 (3 + 1) \sqrt[3]{\frac{1000 \cdot 1,25}{8^2 \cdot 392^2 \cdot 0,4}}$$

$a_{56} \geq 25,8 \Rightarrow a_{56} = 30$ мм.

$m_{56} = 0,3$ мм.

$$m_{56} = \frac{2 a_{56}}{z_5 + z_6} = \frac{2 \cdot 30}{25 + 200} = 0,26.$$

• для $z_4 - z_3$:

$$a_{34} \geq 43,5 (6 + 1) \sqrt[3]{\frac{128,3 \cdot 1,25}{6^2 \cdot 392^2 \cdot 0,4}}$$

$a_{34} \geq 14,2$ $a_{34} = 15$ мм

$m_{34} = 0,3$ мм

$$m_{34} = \frac{2 \cdot a_{34}}{z_4 + z_3} = \frac{2 \cdot 15}{25 + 120} = 0,17.$$

• для $z_2 - z_1$:

$$a_{12} \geq 43,5 (5,6 + 1) \sqrt[3]{\frac{22,1 \cdot 1,25}{5,6^2 \cdot 392^2 \cdot 0,4}}$$

$a_{12} \geq 7,7$ $a_{12} = 8$ мм

$$m_{12} = \frac{2 a_{12}}{z_1 + z_2} = \frac{2 \cdot 8}{25 + 140} = 0,03$$

$m_{12} = 0,3$ мм

m_1	$[\sigma_F]$	$[\sigma_h]$	$[\sigma_\Sigma]$	
m_{12}	0,3	0,3	0,3	
m_{34}	0,3	0,3	0,3	
m_{56}	0,3	0,3	0,3	мм

· Геометрический расчет

1) $d = mz$

$d^a = m(z + 2ha^*)$

$d^f = m(z - 2(ha^* + c^*)$, где

$ha^* = 1$, $c^* = 0,5$,

т.к $m < 0,5$

$z_1 = z_3 = z_5$ и $m_{12} = m_{34} = m_{56}$, то

$$\begin{cases} d_1 = d_3 = d_5 = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ мм} \\ d_1^a = d_3^a = d_5^a = 0,3(25 + 2(1)) = 8,1 \text{ мм} \\ d_1^f = d_3^f = d_5^f = 0,3(25 - 2(1 + 0,5)) = 6,6 \text{ мм} \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_2 = 0,3 \cdot 140 = 42 \text{ мм} \\ d_2^a = 0,3 \cdot 142 = 42,6 \text{ мм} \\ d_2^f = 0,3 \cdot 137 = 41,1 \text{ мм} \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_4 = 0,3 \cdot 150 = 4,5 \text{ мм} \\ d_4^a = 0,3 \cdot 152 = 45,6 \\ d_4^f = 0,3 \cdot 147 = 44,1 \text{ мм} \end{cases}$$

2) $b_{n+1} = m\psi_{bm}$ $\quad b_n = b_{n+1} + 1,5m$

$b_6 = 0,3 \cdot 8 = 2,4$ мм

$b_6 = b_4 = b_2$, т.к. $m_{12} = m_{34} = m_{56} = 0,3$ $\quad \psi_{bm} = 8$

$b_1 = b_3 = b_5 = 2,4 + 1,5 \cdot 0,3 = 2,85$ мм

3) $a_w = 0,5m(z_i + z_j)$

$a_{56} = 0,3 \cdot 0,5(25 + 200) = 33,75$ мм

$a_{34} = 0,3 \cdot 0,5 \cdot (25 + 150) = 26,25$ мм

$a_{12} = 0,3 \cdot 0,5(25 + 140) = 24,75$ мм

· Расчет на быстродействие.

Примем, что $t_p = 3T_{эм}$, где

$T_{эм} = \frac{J_{пр} \cdot W_{пон}}{M_{sb} - M_{пр}}$

$J_p = \frac{M_{sm}}{\varepsilon} = \frac{M_{sm}}{\varepsilon_{вых} \cdot i_0} = \frac{9 \cdot 30}{1,2 \cdot 267} = 0,03$ Н·мм·с²

$W_{пон} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{пон} = \frac{\pi}{30} \cdot 4000 = 418,8$ рад/с

$T_{эм} = \frac{0,03 \cdot 418,8}{20 \cdot 4,7} = 0,82$ с.

$t_p = 3 \cdot 0,82 = 2,46$ сек.

· Расчет на точность.

степень точности редуктора: 7F

угол пов. вых. вала: ±160 => 320°

$\Delta\Sigma = \Delta u_{x\Sigma} + \Delta_{i0\Sigma}$

1) $F_i = F_p + F_f$

$F_i = F_p' + F_f' = 22 + 9 = 31$ мкм

$F_1 = F_3 = F_5 = 31$ мкм.

$F_2 = 30 + 9 = 39$ мкм.

$F_4 = 30 + 9 = 39$ мкм.

$F_6 = 35 + 9 = 44$ мкм.

$\Delta\varphi_i = \frac{6{,}88 \cdot F_i}{m_i z_i}$

$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_3 = \Delta\varphi_5 = \frac{6{,}88 \cdot 31}{0{,}3 \cdot 25} = 28{,}4'$

$\Delta\varphi_2 = \frac{6{,}88 \cdot 39}{0{,}3 \cdot 140} = 6{,}4'$

$\Delta\varphi_4 = \frac{6{,}88 \cdot 39}{0{,}3 \cdot 150} = 5{,}9'$

$\Delta\varphi_{i0\Sigma} = \sum_{j=1}^{n} \frac{\Delta\varphi_{ij} \cdot K\varphi}{j - N}$ $\Delta\varphi_6 = \frac{6{,}88 \cdot 44}{0{,}3 \cdot 100} = 5{,}1'$

$\Delta\varphi_{i0\Sigma} = \frac{\Delta\varphi_1 \cdot 1}{i_I - i_{IV}} + \frac{\Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3 \cdot 1}{i_{III} - i_{IV}} + \frac{\Delta\varphi_4 + \Delta\varphi_5 \cdot 1}{i_{III} - i_{IV}} + \frac{\Delta\varphi_6}{1} \cdot K\varphi$

$i_{I-IV} = \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_2}{z_1} = \frac{200 \cdot 150 \cdot 140}{253} = 268{,}8$

$i_{II-IV} = \frac{z_6}{z_5} = \frac{200}{25} = 8$

$K\varphi = \frac{0{,}93 + 0{,}98}{2}$ (т.к. табл. зам. для 300 и 330)

$K\varphi = 0{,}955$

$\Delta\varphi_{i0\Sigma} = \frac{28{,}4}{268{,}8} + \frac{28{,}4 + 6{,}4}{48} + \frac{28{,}4 + 5{,}9}{8} + 5{,}1 \cdot 0{,}955 = 9{,}9'$

$\Delta M_X = \Delta\varphi_n + \Delta\varphi_{MX}$

$a_{12} = 24{,}75$ мм $j_{nmin}^{12} = 9$ мкм.

$a_{34} = 26{,}25$ мм $j_{nmin}^{34} = 9$ мкм

$a_{56} = 33{,}75$ мм $j_{nmin}^{56} = 11$ мкм.

$\Delta\varphi_n = \frac{7{,}33 \cdot j_{nmax}}{mz}$

$j_{nmax} = j_{nmin} + \sqrt{0{,}5(T_{H1}^2 + T_{H2}^2) + 2fa^2}$

1-2: $F_{H1} = 16$ мкм. $T_{H1} = 36$ мкм

$F_{H2} = 22$ мкм. $T_{H2} = 42$ мкм.

$fa^{12} = 25$ мкм.

$j_{max}^{1-2} = 9 + \sqrt{0{,}5(36^2 + 42^2) + 2 \cdot 25^2} = 61{,}7$ мкм.

3-4: $F_{r3} = 16$ мкм $T_{H3} = 36$ мкм

$F_{r4} = 22$ мкм $T_{H4} = 42$ мкм.

$f_a^{34} = 25$ мкм

$j_{max}^{3-4} = 9 + \sqrt{0{,}5(36^2+42^2) + 2\cdot 25^2} = 61{,}7$ мкм

5-6: $F_{r5} = 16$ мкм $T_{H5} = 36$ мкм

$F_{r6} = 26$ мкм $T_{H6} = 50$ мкм.

$f_a^{56} = 32$ мкм.

$j_{max}^{56} = 11 + \sqrt{0{,}5(36^2+50^2) + 2\cdot 32^2} = 73{,}8$ мкм

$$\varphi_n = \frac{7{,}38 \cdot j_{max}}{m z}$$

С учетом того, что $z_1 = z_3 = z_5 = 25$

$m_{12} = m_{34} = m_{56} = 0{,}3$

$$\varphi_n^{1-2} = \frac{7{,}33 \cdot 61{,}7}{0{,}3 \cdot 25} = 60{,}3'$$

$$\varphi_n^{3-4} = \frac{7{,}33 \cdot 61{,}7}{0{,}3 \cdot 25} = 60{,}3'$$

$$\varphi_n^{5-6} = \frac{7{,}33 \cdot 73{,}8}{0{,}3 \cdot 25} = 72{,}1'$$

$$\Delta\varphi_{nz} = \frac{\Delta\varphi_n^{1-2}}{i_{I-II}} + \frac{\Delta\varphi_n^{3-4}}{i_{II-III}} + \frac{\Delta\varphi_n^{5-6}}{i_{III-IV}}$$

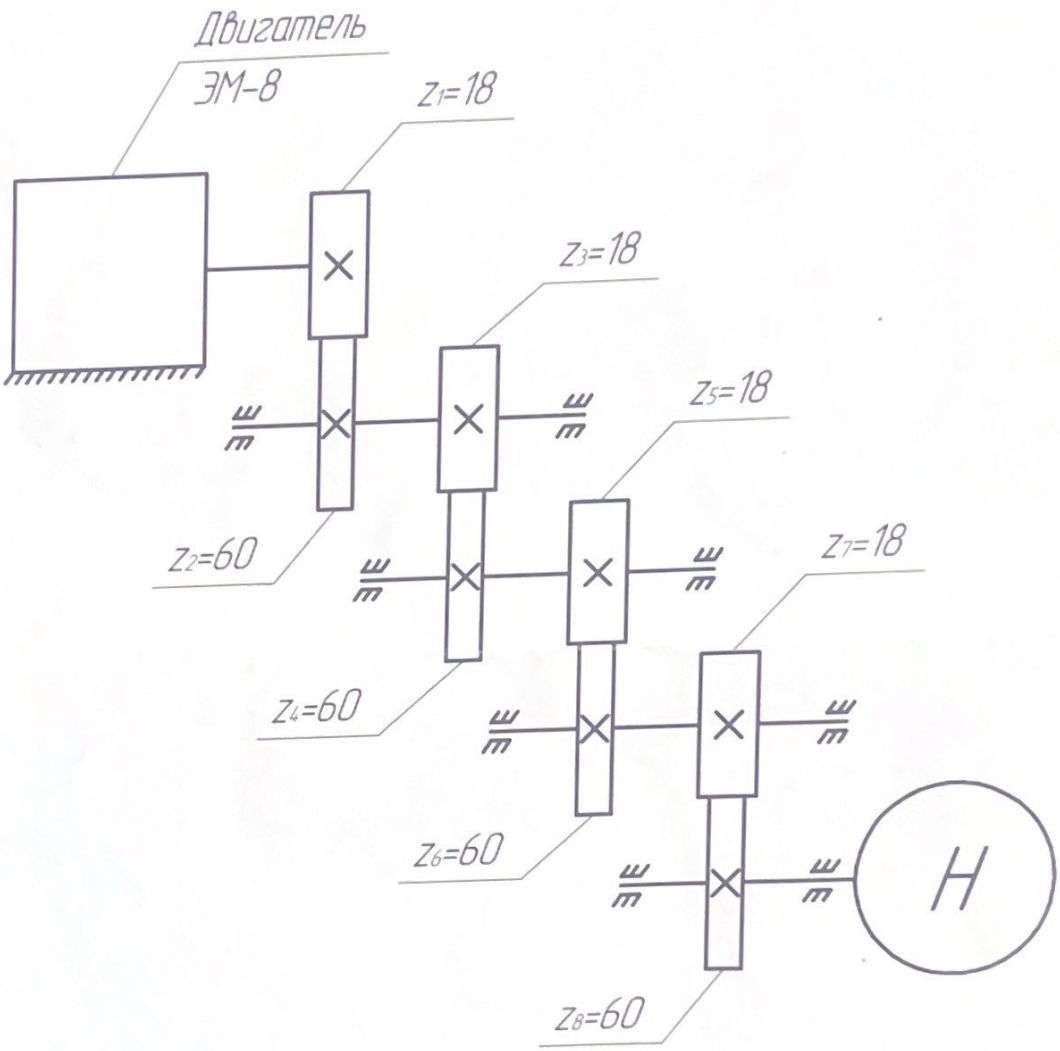
$$\Delta\varphi_{nz} = \frac{60{,}3}{263{,}8} + \frac{60{,}3}{43} + \frac{72{,}1}{8} = 10{,}5'$$

$\Delta\Sigma = \Delta\varphi_{n\Sigma} + \Delta\varphi_{i0\Sigma}$

$\Delta\Sigma = 10{,}5' + 9{,}9' = 20{,}4'$

Расчет окончен.

ИУ251.123456.001 КЗ



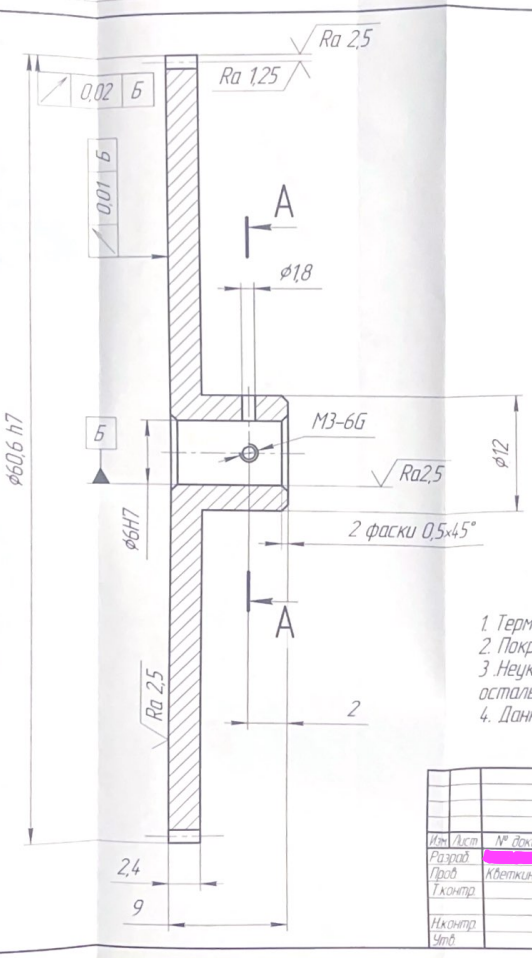
					ИУ251.123456.001 КЗ		
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.								1:1
Пров.		Кветкин Г.А.				Лист	Листов 1
Т.контр.					Вариант 11	МГТУ им. Баумана каф. РЛ5	
Н.контр.							
Утв.							

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал

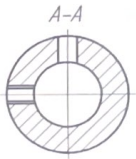
Формат А4

Р15.XX.XX.XX.XX



Rz 20 (√)

Модуль	m	0,3
Число зубьев	z	200
Исходный контур	–	ГОСТ 9587-81
Коэффициент смежения исходного контура	x	0
Степень точности по ГОСТ 9178-81	–	7 – F
Диаметр делительной окружности	d	60
Тощина зуба по делительной окружности		0.785



1. Термообработка 190–220 НВ
2. Покрытие хим. окс., кроме поверхности зубьев
3. Неуказанные предельные отклонения валов h11, отверстий H11, остальные ±IT11/2, фаски 0,5x45°
4. Данные для контроля зубьев по нормам точности СТП

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Р15.XX.XX.XX.XX	
Разраб.		[redacted]		13.12	Зубчатое колесо	Лит. / Масса / Масштаб: 4:1
Пров.		Кветкин				Лист / Листов: 1
Т.контр.						
Н.контр.					Сталь 40 ГОСТ 1050-74	МГТУ им. Н.Э.Баумана [redacted]
Утв.						

Копировал — Формат А3

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № подл. | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата