

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Основы проектирования машин»

ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов направления подготовки 23.03.02
«Наземные транспортно-технологические комплексы»
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.81
ББК 34.44
Д92

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Основы проектирования машин» «26» апреля 2023 г.,
протокол № 3

Составитель д-р техн. наук, доц. А. М. Даньков

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Изложены цель, задачи, содержание и порядок выполнения лабораторных работ.

Учебное издание

ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Ответственный за выпуск	А. М. Даньков
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Расчет открытой цилиндрической зубчатой передачи.....	5
2 Расчет открытой конической прямозубой передачи.....	12
3 Основные положения методики конструирования.....	17
4 Требования к оформлению пояснительной записки.....	26
5 Общие требования к оформлению графической части.....	33
6 Основные требования к чертежам проекта.....	37
Список литературы.....	48

Введение

Курсовой проект по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» выполняется после завершения изучения блока общеобразовательных и общетехнических дисциплин и направлен на приобретение студентами первичных инженерных навыков по расчету и конструированию типовых деталей и узлов машин и механизмов, простых механических приводов. Курсовой проект по деталям машин представляет собой совокупность графических и текстовых конструкторских документов, оформление которых должно производиться в строгом соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и других нормативных документов.

При оформлении документации по курсовому проекту студент четко представляет предстоящий объем работ, требования к организации и проведению курсового проектирования, а также к содержанию и оформлению проекта.

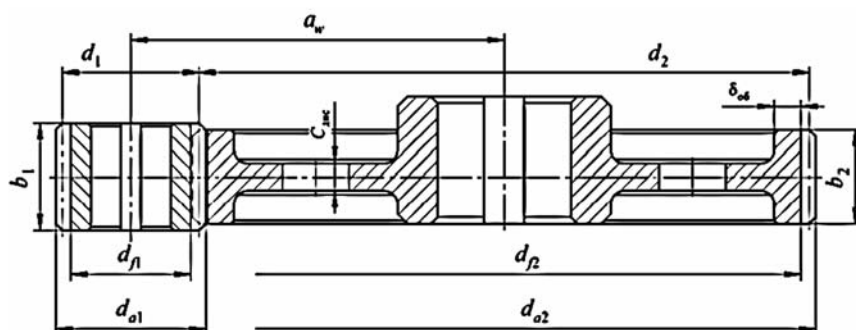
Методические рекомендации содержат правила оформления пояснительной записки и других текстовых документов курсового проекта по дисциплине «Детали машин и основы конструирования», что должно способствовать повышению качества курсового проектирования. Достаточное внимание уделено оформлению спецификаций сборочных единиц с учетом требований ЕСКД.

1 Расчет открытой цилиндрической зубчатой передачи

1.1 Исходные данные

Необходимо произвести расчет открытой, цилиндрической передачи, схема которой представлена на рисунке 1.1. Исходными данными для расчета являются:

- вращающий момент на колесе – $T_2 = 624,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- передаточное число $u = 4,9$;
- тип передачи – открытая, горизонтальная, цилиндрическая;
- срок службы передачи – длительный;
- режим работы – постоянный, работа нереверсивная;
- требования к размерам передачи – отсутствуют.



a_w – межосевое расстояние; d_1, d_2 – делительные диаметры шестерни и колеса; d_{a1}, d_{a2} – диаметры выступов шестерни и колеса; $d_{ф1}, d_{ф2}$ – диаметры впадин шестерни и колеса; b_1 – ширина шестерни; b_2 – ширина колеса

Рисунок 1.1 – Схема открытой зубчатой передачи

Так как передача открытая, то производим для нее расчет на выносливость по напряжениям изгиба с учетом износа зубьев в процессе эксплуатации. В этом случае достаточно проверить выносливость зубьев по контактным напряжениям, т. к. абразивный износ поверхностей зубьев предотвращает их выкрашивание от переменных контактных напряжений.

1.2 Выбор материалов, термообработки и определение допускаемых напряжений для зубчатых колес

Для изготовления колеса и шестерни в соответствии с [1] выбираем материал сталь 40Х ГОСТ 4543–71 ($\sigma_b = 950 \text{ МПа}$, $\sigma_m = 700 \text{ МПа}$).

Назначаем термообработку:

- для колеса – улучшение до твердости 230...250 НВ;
- для шестерни – улучшение до твердости 270...290 НВ.

Определим среднюю твердость HB_i материала зубчатых колес по шкале Бринелля:

$$HB_i = (HB_{\min} + HB_{\max}) / 2,$$

где HB_{\min} , HB_{\max} – минимальное и максимальное значения в назначенном интервале твёрдости для выбранного материал, МПа.

Таким образом, получаем среднюю твердость:

– для шестерни

$$HB_1 = (270 + 290) / 2 = 280 \text{ МПа};$$

– для колеса

$$HB_2 = (230 + 250) / 2 = 240 \text{ МПа}.$$

Определяем пределы контактной выносливости $\sigma_{H\lim i}$ по формуле

$$\sigma_{H\lim i} = 2 \cdot HB + 70.$$

Тогда для шестерни

$$\sigma_{H\lim 1} = 2 \cdot 280 + 70 = 630 \text{ МПа},$$

а для колеса

$$\sigma_{H\lim 2} = 2 \cdot 240 + 70 = 550 \text{ МПа}.$$

Значения коэффициента безопасности S_H выбираем в зависимости от вида термообработки, при назначенном для шестерни и колеса улучшении $S_H = 1,1$.

Базовое число циклов перемены напряжений для шестерни и колеса, соответствующее пределу выносливости, рассчитывается по формуле

$$N_{HG_i} = 30 \cdot HB_i^{2,4}.$$

Тогда для шестерни

$$N_{HG1} = 30 \cdot HB_1^{2,4} = 30 \cdot 280^{2,4} = 2,24 \cdot 10^7 \text{ циклов},$$

а для колеса

$$N_{HG2} = 30 \cdot HB_2^{2,4} = 30 \cdot 240^{2,4} = 1,55 \cdot 10^7 \text{ циклов}.$$

Эквивалентное (соответствующее сроку службы t_Σ) число циклов перемены напряжений для шестерни и колеса вычисляется по формуле

$$N_{HEi} = \mu_H \cdot 60 \cdot c \cdot n \cdot t_\Sigma,$$

где μ_H – коэффициент режима работы, для постоянного режима работы $\mu_H = 1$;

c – число зацеплений зуба за один оборот колеса (в данном случае $c = 1$);

n – частота вращения шестерни или колеса, мин^{-1} .

Тогда для шестерни при $n = n_1 = 56,43 \text{ мин}^{-1}$

$$N_{HE1} = 1 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 56,43 \cdot 60000 = 20,3 \cdot 10^7 \text{ циклов},$$

для колеса при $n = n_2 = 22,13 \text{ мин}^{-1}$

$$N_{HE2} = 1 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 22,13 \cdot 60000 = 7,97 \cdot 10^7 \text{ циклов.}$$

Коэффициент долговечности определяется по формуле

$$Z_{Ni} = \sqrt[6]{N_{HG_i} / N_{HE_i}}.$$

Тогда для шестерни получаем $Z_{N1} = \sqrt[6]{2,24 \cdot 10^7 / 20,3 \cdot 10^7} = 0,11$, принимаем $Z_{N1} = 1$, а для колеса $Z_{N2} = \sqrt[6]{1,55 \cdot 10^7 / 7,97 \cdot 10^7} = 0,76$, принимаем $Z_{N2} = 1$.

Допускаемые контактные напряжения $[\sigma_H]_i$ для шестерни и колеса находятся по формуле

$$[\sigma_H]_i = \frac{\sigma_{H \text{ lim } i}}{S_H} \cdot Z_{Ni},$$

компоненты которой определены были ранее, поэтому имеем для шестерни $[\sigma_H]_1 = (630/1,1) \cdot 1 = 572,7 \text{ МПа}$, а для колеса $[\sigma_H]_2 = (550/1,1) \cdot 1 = 500 \text{ МПа}$.

В качестве расчетных напряжений $[\sigma_H]$ принимаем допускаемые контактные напряжения для колеса как наименьшие, т. е.

$$[\sigma_H] = [\sigma_H]_2 = 500 \text{ МПа}.$$

Определяем пределы изгибной выносливости для зубчатых колес передачи по формуле

$$\sigma_{F \text{ lim } i} = 1,8 HB_i,$$

где HB_i – среднее арифметическое крайних значений интервалов твердости шестерни и колеса (определены ранее).

Предел изгибной выносливости для шестерни

$$\sigma_{F \text{ lim } 1} = 1,8 \cdot HB_1 = 1,8 \cdot 280 = 504 \text{ МПа,}$$

для колеса

$$\sigma_{F \text{ lim } 2} = 1,8 \cdot HB_2 = 1,8 \cdot 240 = 432 \text{ МПа.}$$

При расчетах допускаемых напряжений изгиба базовое число циклов для всех сталей $N_{FG} = 4 \cdot 10^6$ циклов, а эквивалентные числа циклов для шестерни и колеса определяются по формуле

$$N_{FE_i} = \mu_F \cdot 60 \cdot c \cdot n \cdot t_{\Sigma},$$

где μ_F – коэффициент режима работы, при постоянном режиме работы $\mu_F = 1$.

Параметры c , n , t_{Σ} определены ранее.

Тогда для шестерни

$$N_{FE1} = 1 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 56,43 \cdot 60000 = 20,3 \cdot 10^7 \text{ циклов,}$$

а для колеса

$$N_{FE2} = 1 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 22,13 \cdot 60000 = 7,97 \cdot 10^7 \text{ циклов.}$$

Коэффициент долговечности для шестерни и колеса при твердости рабочей поверхности зубьев менее 350 НВ вычисляется по формуле

$$Y_{Ni} = \sqrt[6]{N_{FG} / N_{FEi}}.$$

Тогда для шестерни

$$Y_{N1} = \sqrt[6]{N_{FG} / N_{FE1}} = \sqrt[6]{4 \cdot 10^6 / 20,3 \cdot 10^7} = 0,52,$$

а для колеса

$$Y_{N2} = \sqrt[6]{N_{FG} / N_{FE2}} = \sqrt[6]{4 \cdot 10^6 / 7,97 \cdot 10^7} = 0,607.$$

Принимаем для шестерни и для колеса $Y_{N1} = Y_{N2} = Y_N = 1$.

Полагаем работу привода нереверсивной (односторонняя нагрузка), поэтому коэффициент, учитывающий влияние двустороннего приложения нагрузки, принимаем $Y_A = 1$.

Коэффициент безопасности при назначенных материале и термообработке зубчатых колес будет $S_F = S_{F1} = S_{F2} = 1,75$.

Допускаемые напряжения изгиба для зубчатых колес рассчитываются по формуле

$$[\sigma_F]_i = \frac{\sigma_{F \text{ lim } i}}{S_F} Y_A \cdot Y_N.$$

Тогда для шестерни имеем

$$[\sigma_F]_1 = \frac{\sigma_{F \text{ lim } 1}}{S_{F1}} Y_A \cdot Y_{N1} = \frac{504}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 288 \text{ МПа,}$$

а для колеса

$$[\sigma_F]_2 = \frac{\sigma_{F \text{ lim } 2}}{S_{F2}} Y_A \cdot Y_{N2} = \frac{432}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 = 246,86 \text{ МПа.}$$

Износ открытых передач обычно допускается до 25 % первоначальной делительной толщины зубьев. Прочность на изгиб при этом уменьшается в 2 раза.

Поэтому рассчитанные допускаемые напряжения $[\sigma_F]_i$ также следует уменьшить в 2 раза:

$$[\sigma_F]_1 = 144 \text{ МПа};$$

$$[\sigma_F]_2 = 123 \text{ МПа}.$$

1.3 Проектный расчёт цилиндрической открытой передачи

Используя рекомендации [1], определяем передаточное число передачи как отношение частот вращения зубчатых колес по формуле

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{56,43}{22,13} = 2,55.$$

Зададимся числом зубьев шестерни z_1 : оно должно быть не меньше z_{\min} по условию отсутствия подрезания. В нашем случае для прямозубых колес $z_{\min} = 17$, однако в открытых передачах целесообразно назначать число зубьев шестерни значительно превосходящее минимальное.

Принимаем $z_1 = 100$, тогда число зубьев колеса $z_2 = u \cdot z_1 = 2,55 \cdot 100 = 255$, причем передаточное отношение осталось неизменным.

Находим модуль открытой передачи по формуле

$$m = \sqrt[3]{\frac{3T_1 \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot Y_{FS}}{z_1 \cdot \psi_m \cdot [\sigma_F]}},$$

где T_1 – момент на шестерне открытой передачи, $T_1 = 307,246 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

$K_{F\beta}$ – коэффициент концентрации нагрузки, определяемый по графику при $\psi_{bd} = 0,7$ и симметричном расположении зубчатых колес, $K_{F\beta} = 1,03$;

Y_{FS} – коэффициент формы зуба, выбираемый по графику в зависимости от чисел зубьев зубчатых колес, для шестерни $Y_{FS1} = 3,74$, $Y_{FS2} = 3,76$;

ψ_m – коэффициент модуля, $\psi_m = 20$;

$K_{F\alpha}$ – коэффициент распределения нагрузки между зубьями при расчетах по изгибной прочности и равный аналогичному коэффициенту при расчетах по контактной прочности, $K_{F\alpha} = K_{H\alpha}$.

$$K_{H\alpha} = 1 + 0,06 \cdot (n_{cm} - 5) = 1 + 0,06(8 - 5) = 1,18 \leq 1,25,$$

где n_{cm} – степень точности изготовления колес, $n_{cm} = 8$.

Для шестерни и для колеса находим отношения:

$$[\sigma_F]_1 / Y_{FS1} = 144 / 3,74 = 38,5;$$

$$[\sigma_F]_2 / Y_{FS2} = 123 / 3,76 = 32,7,$$

сопоставляя которые констатируем, что дальнейшие расчеты следует вести по колесу, для которого отношение имеет меньшее значение, и в них использовать коэффициент $Y_{FS} = Y_{FS2} = 3,76$ и допускаемые напряжения $[\sigma_F] = [\sigma_F]_2 = 123$ МПа.

Подставляя полученные данные в расчетную формулу, получаем

$$m = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 307,246 \cdot 10^3 \cdot 1,18 \cdot 1,03}{100 \cdot 20 \cdot 123}} = 1,66 \text{ мм.}$$

Принимаем $m = 2$ мм и определяем ширину колеса по формуле

$$b_2 = b_w = \psi_m \cdot m = 20 \cdot 2 = 40 \text{ мм,}$$

при которой не требуется корректировка определенных выше величин.

Ширина шестерни будет равна

$$b_1 = b_2 + 4 = 44 \text{ мм.}$$

Определим межосевое расстояние по формуле

$$a_w = m \cdot (z_1 + z_2) / 2 = 2 \cdot (100 + 255) / 2 = 355 \text{ мм.}$$

Делительные диаметры шестерни и колеса находим по формуле

$$d_i = m \cdot z_i.$$

Тогда для шестерни получаем

$$d_1 = m \cdot z_1 = 2 \cdot 100 = 200 \text{ мм,}$$

а для колеса

$$d_2 = m \cdot z_2 = 2 \cdot 255 = 510 \text{ мм.}$$

Для определения диаметров вершин зубьев зубчатых колес воспользуемся формулой

$$d_{ai} = d_i + 2 \cdot m$$

и в результате получим для шестерни

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m = 200 + 2 \cdot 2 = 204 \text{ мм,}$$

а для колеса

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m = 510 + 2 \cdot 2,5 = 515 \text{ мм.}$$

1.4 Проверочные расчеты цилиндрической прямозубой передачи

Для выполнения проверочного расчета по критерию контактной прочности предварительно определяем:

– окружную скорость зубчатых колес

$$v = \pi \cdot d_1 \cdot n_1 / 60 = \pi \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 56,43 / 60 = 0,6 \text{ м/с};$$

- коэффициент динамической нагрузки, выбираемый в зависимости от степени точности, твердости поверхности зубьев и окружной скорости, $K_{Hv} = 1,01$;
- коэффициент расчетной нагрузки

$$K_H = K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv} = 1,18 \cdot 1,04 \cdot 1,01 = 1,24.$$

Найдем рабочие контактные напряжения из условия контактной прочности передачи

$$\sigma_H = 1,18 \cdot \sqrt{\frac{E_{ПП} \cdot T_1 \cdot K_H}{d_1^2 \cdot b_w \cdot \sin(2\alpha)} \left(\frac{u+1}{u} \right)} \leq [\sigma_H].$$

Подставив в расчетную формулу полученные выше результаты, получаем

$$\begin{aligned} \sigma_H &= 1,18 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 307,246 \cdot 1,24}{(200 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 40^\circ} \left(\frac{2,55+1}{2,55} \right)} = \\ &= 293,3 \cdot 10^6 \text{ Па} = 293,3 \text{ МПа} < [\sigma_H] = 500 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Очевидно, что передача значительно недогружена, причем недогрузка составляет

$$\Delta_{\sigma_H} = \left\{ ([\sigma_H] - \sigma_H) / [\sigma_H] \right\} \cdot 100 \% = \left[(500 - 293,3) / 500 \right] \cdot 100 \% = 41,34 \%.$$

С учетом того, что критерий контактной прочности является для открытых передач второстепенным, а в первую очередь при проектировании таких передач необходимо обеспечивать работоспособность изношенной передачи, корректировку ширины зубчатых колес не производим.

Выполняем проверочный расчёт передачи по критерию изгибной прочности, для чего предварительно определяем:

- коэффициент концентрации нагрузки, зависящий от твердости поверхности зубьев, расположения зубчатых колес относительно опор и уточненного коэффициента ψ_{bd} , в данном случае $K_{F\beta} = 1,03$;

- коэффициент динамической нагрузки, зависящий от окружной скорости зубчатых колес, степени точности и твердости поверхности зубьев, $K_{Fv} = 1,03$;

- коэффициент расчетной нагрузки

$$K_F = K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} = 1,18 \cdot 1,03 \cdot 1,03 = 1,25;$$

- окружную силу в зацеплении

$$F_t = 2 \cdot T_1 / d_1 = 2 \cdot 307,246 / 200 \cdot 10^{-3} = 3072,46 \text{ Н}.$$

Теперь представляется возможным определить рабочие напряжения изгиба в передаче из условия прочности зубьев на изгиб:

$$\sigma_F = Y_{FS} \cdot K_F \cdot F_t / (b_w \cdot m) \leq [\sigma_F].$$

Подставив в расчетную формулу найденные значения величин, имеем

$$\sigma_F = 3,76 \cdot 1,25 \cdot 3072,46 / (40 \cdot 2) = 180,5 \text{ МПа} > [\sigma_F]_2 = 123 \text{ МПа}.$$

Поскольку условие прочности не соблюдается, увеличим ширину зубчатых колес до $b_w = 59$ мм (ширина колеса $b_2 = 59$ мм, ширина шестерни $b_1 = 63$ мм). Тогда получим

$$\sigma_F = 3,76 \cdot 1,25 \cdot 3072,46 / (59 \cdot 2) = 122,38 \text{ МПа} < [\sigma_F]_2 = 123 \text{ МПа}.$$

Изгибная прочность изношенной передачи обеспечена.

2 Расчет открытой конической прямозубой передачи

2.1 Исходные данные

Выполнить расчет открытой конической прямозубой передачи (рисунок 2.1) при следующих исходных данных:

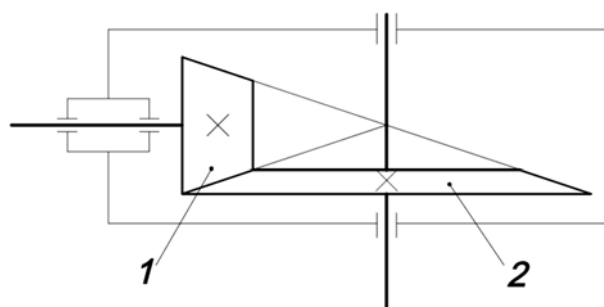
– момент на ведомом валу
 $T_2 = 248 \text{ Н}\cdot\text{м};$

– частота вращения ведущего вала
 $n_1 = 1460 \text{ об / мин};$

– частота вращения ведомого вала
 $n_2 = 368 \text{ об / мин};$

– допускаемые контактные напряжения для передачи $[\sigma_H] = 580 \text{ МПа};$

– допускаемые напряжения изгиба для шестерни и колеса $[\sigma_F]_1 = 265 \text{ МПа}, [\sigma_F]_2 = 255 \text{ МПа}.$



1 – шестерня; 2 – колесо

Рисунок 2.1 – Схема конической передачи

2.2 Проектный расчет передачи

Руководствуясь приведенным в [1] алгоритмом расчета, определим передаточное число передачи как отношение частот вращения валов по формуле

$$u = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1460}{368} = 3,97.$$

В то же время передаточное число ортогональной конической передачи может быть вычислено по формуле

$$u = \operatorname{tg} \delta_2 = \operatorname{ctg} \delta_1,$$

из которой найдем углы делительных конусов шестерни и колеса:

$$\delta_2 = \operatorname{arctg} u = \operatorname{arctg} 3,97 = 75,86^\circ,$$

тогда

$$\delta_1 = 90^\circ - 75,86^\circ = 14,14^\circ.$$

Число зубьев шестерни принимаем равным $z_1 = 24$, тогда число зубьев колеса

$$z_2 = z_1 \cdot u = 24 \cdot 3,97 = 95,28.$$

Принимаем $z_2 = 96$.

Уточняем:

– передаточное число передачи

$$u = z_2 / z_1 = 96 / 24 = 4;$$

– углы делительных конусов

$$\delta_2 = \operatorname{arctg} u = \operatorname{arctg} 4 = 75,96^\circ,$$

тогда

$$\delta_1 = 90^\circ - 75,96^\circ = 14,04^\circ.$$

Определяем эквивалентные числа зубьев шестерни и колеса:

$$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos \delta_1} = \frac{24}{\cos 14,04^\circ} = 24,73;$$

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos \delta_2} = \frac{96}{\cos 75,96^\circ} = 395,7.$$

Рассчитаем коэффициенты формы зуба для шестерни и колеса

$$Y_{FS1} = 3,97; Y_{FS2} = 3,75.$$

Из условия прочности конической передачи на изгиб

$$\sigma_F = \frac{Y_{FS} \cdot F_t \cdot K_F}{\theta_F \cdot b \cdot m_m} \leq [\sigma_F],$$

где F_t – окружная сила в зацеплении;

K_F – коэффициент расчетной нагрузки;

θ_F – опытный коэффициент, характеризующий понижение изгибной прочности конической прямозубой передачи по сравнению с цилиндрической, $\theta_F = 0,85$;

b – ширина зубчатого венца;

m_m – модуль зацепления в среднем сечении зуба, предварительно сделав соответствующие преобразования, найдем модуль зацепления в среднем сечении зуба по формуле

$$m_m \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot T_2 \cdot 10^3 \cdot K_{F\beta} \cdot Y_{FS1}}{0,85 \cdot z_1 \cdot \psi_m \cdot [\sigma_F]_1}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 248 \cdot 10^3 \cdot 1,15 \cdot 3,97}{0,85 \cdot 24 \cdot 8 \cdot 265}} = 4,28 \text{ мм},$$

где ψ_m – коэффициент модуля, $\psi_m = b / m_m \leq 10$, принимаем $\psi_m = 8$;

$K_{F\beta}$ – коэффициент концентрации нагрузки, назначаем $K_{F\beta} = 1,15$.

Рассчитываем основные геометрические параметры зубчатых колёс открытой передачи:

– ширину зубчатого венца

$$b = \psi_m \cdot m_m = 8 \cdot 4,28 = 34,24 \text{ мм},$$

принимаем $b = 35$ мм;

– среднее конусное расстояние

$$R_m = \frac{d_{m1}}{2 \cdot \sin \delta_1} = \frac{102,72}{2 \cdot \sin 14,04^\circ} = 211,7 \text{ мм};$$

– внешнее конусное расстояние

$$R_e = R_m + 0,5 \cdot b = 211,7 + 17,5 = 229,2 \text{ мм};$$

– модуль зацепления во внешнем торцовом сечении

$$m_e = m_m \cdot \frac{R_e}{R_m} = 4,28 \cdot \frac{229,2}{211,7} = 4,63 \text{ мм},$$

принимаем $m_e = 5$ мм;

– внешние делительные диаметры:

а) шестерни

$$d_{e1} = m_e \cdot z_1 = 5 \cdot 24 = 120 \text{ мм};$$

б) колеса

$$d_{e2} = m_e \cdot z_2 = 5 \cdot 96 = 480 \text{ мм}.$$

Уточняем:

– значение среднего нормального модуля

$$m_m = \frac{m_e \cdot R_m}{R_e} = \frac{5 \cdot 211,7}{229,2} = 4,62 \text{ мм};$$

– значение делительного диаметра в среднем сечении зуба шестерни

$$d_{m1} = m_m \cdot z_1 = 4,62 \cdot 24 = 110,88 \text{ мм};$$

– значение делительного диаметра в среднем сечении зуба шестерни

$$d_{m2} = m_m \cdot z_2 = 4,62 \cdot 96 = 443,52 \text{ мм}.$$

2.3 Проверочный расчет передачи

Для выполнения проверочного расчета по критерию контактной прочности предварительно определяем:

– окружную скорость зубчатых колес

$$V = \frac{\pi \cdot d_{m1} \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 110,88 \cdot 1460}{60 \cdot 1000} = 8,5 \text{ м/с}$$

и назначаем 8-ю степень точности передачи;

– уточненный коэффициент концентрации нагрузки $K_{H\beta} = 1,16$;

– коэффициент динамической нагрузки $K_{Hv} = 1,49$;

– коэффициент расчетной нагрузки $K_H = K_{H\beta} \cdot K_{Hv} = 1,16 \cdot 1,49 = 1,73$;

– КПД передачи (с учетом подшипников) $\eta = 0,96$;

– момент на ведущем валу

$$T_1 = T_2 / (\eta \cdot u) = 248 / (0,96 \cdot 4) = 64,58 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Находим рабочие контактные напряжения из условия контактной прочности передачи

$$\sigma_H = 1,18 \sqrt{\frac{E_{np} \cdot T_1 \cdot K_H \cdot \sqrt{u^2 + 1}}{\theta_H \cdot d_{m1}^2 \cdot b \cdot \sin 2\alpha \cdot u}} \leq [\sigma_H].$$

Подставив в расчетную формулу полученные выше результаты, получаем

$$\sigma_H = 1,18 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 64,58 \cdot 1,73 \cdot \left(\frac{\sqrt{4^2 + 1}}{4}\right)}{0,85 \cdot (110,88 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 40^\circ}} = 320,55 \text{ МПа} < [\sigma_H] = 580 \text{ МПа}.$$

По второстепенному критерию прочности передача значительно недогружена, но меры по устранению недогрузки рассмотрим ниже.

Выполняем проверочный расчёт передачи по критерию изгибной прочности, для чего предварительно определяем:

– отношение $[\sigma_F]_i / Y_{FSi}$ для шестерни и колеса:

$$[\sigma_F]_1 / Y_{FS1} = 265 / 3,97 = 66,75;$$

$$[\sigma_F]_2 / Y_{FS2} = 255 / 3,75 = 68$$

и делаем вывод, что дальнейший расчет выполняем для элемента с наименьшим значением отношения, т. е. для шестерни;

– опытный коэффициент, характеризующий понижение изгибной прочности конической прямозубой передачи по сравнению с цилиндрической $\theta_F = 0,85$;

– коэффициент концентрации нагрузки по длине зуба при изгибе

$$K_{F\beta} = 1 + 1,5 \cdot (K_{H\beta} - 1) = 1 + 1,5 \cdot (1,16 - 1) = 1,24;$$

– коэффициент динамической нагрузки $K_{Fv} = 1,9$;

– коэффициент расчетной нагрузки при изгибе

$$K_F = K_{F\beta} \cdot K_{Fv} = 1,24 \cdot 1,9 = 2,356;$$

– окружную силу в зацеплении

$$F_t = \frac{2T_1}{d_{m1}} = \frac{2 \cdot 64,58 \cdot 10^3}{110,88} = 1164,86 \text{ Н.}$$

Из условия прочности передачи на изгиб

$$\sigma_F = \frac{Y_{FS1} \cdot F_t \cdot K_F}{\theta_F \cdot b \cdot m_m} \leq [\sigma_F]$$

определяем рабочие напряжения изгиба

$$\sigma_F = \frac{3,97 \cdot 1164,86 \cdot 2,356}{0,85 \cdot 35 \cdot 4,62} = 79,27 \text{ МПа} \leq [\sigma_F] = 265 \text{ МПа.}$$

Очевидно, что передача значительно недогружена, причем недогрузка составляет

$$\Delta_{\sigma_F} = \left\{ \left([\sigma_F] - \sigma_F \right) / [\sigma_F] \right\} \cdot 100 \% = \left[(265 - 79,27) / 265 \right] \cdot 100 \% = 70 \%,$$

что превышает допустимую недогрузку и требует корректировки величины b_w в соответствии с формулой

$$b'_w = \left(\sigma_H / [\sigma_H] \right)^2 \cdot b_w = (79,27 / 265)^2 \cdot 35 = 10,47 \text{ мм.}$$

Приняв ширину зубчатых колес $b = 11$, мм после перерасчетов получаем $\sigma_F = 252,22$ МПа при приемлемой недогрузке по основному критерию работо-

способности 4,8 %. При этом величина рабочих контактных напряжений составит $\sigma_H = 572$ МПа при более, чем приемлемой недогрузке по второстепенному критерию работоспособности 1,4 %.

Установим окончательные значения:

– среднего конусного расстояния

$$R_m = \frac{d_{m1}}{2 \cdot \cos \delta_1} = \frac{110,88}{2 \cdot \sin 14,04^\circ} = 228,5 \text{ мм};$$

– внешнего конусного расстояния

$$R_e = R_m + 0,5 \cdot b = 228,5 + 0,5 \cdot 11 = 234 \text{ мм}.$$

3 Основные положения методики конструирования

3.1 Основные определения

Для выполнения производственных процессов в машиностроительном производстве, как и в большинстве других отраслей народного хозяйства, используются машины.

Машина состоит из деталей, механизмов, узлов, сборочных единиц, агрегатов и элементов, обеспечивающих соединение составных частей в многофункциональное изделие.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятиях. ГОСТ 2.101–68 устанавливает следующие виды изделий:

- 1) детали;
- 2) сборочные единицы;
- 3) комплексы;
- 4) комплекты.

Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, делятся:

- на неспецифицированные (детали) – не имеющие составных частей;
- на специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) – состоящие из двух и более составных частей.

Составными частями машины являются: деталь, сборочная единица (узел), комплекс и комплект.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций.

Узел – изделие, представляющее собой законченную сборочную единицу, состоящую из ряда деталей, имеющих общее функциональное назначение (подшипник качения, муфта, редуктор и т. п.).

Сборочная единица – изделие, составные части которого подлежат соедине-

нию между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, с натягом, клепкой, сваркой, пайкой и др.).

Комплекс – два и более специфицированных изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (поточная линия станков, автоматическая телефонная станция и т. п.).

Комплект – два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект запасных частей, комплект инструмента и принадлежностей и т. п.).

Машина – устройство, выполняющее движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью облегчения физического и умственного труда человека, увеличения его производительности.

Техника – это созданные человеком материальные средства, используемые им для расширения его функциональных возможностей в различных областях деятельности с целью удовлетворения материальных и духовных потребностей.

По характеру рабочего процесса все многообразие машин можно разделить на классы: энергетические, технологические, транспортирующие и информационные.

Энергетические машины – это устройства, предназначенные для преобразования энергии любого вида (электрической, паровой, тепловой и т. п.) в механическую.

Транспортирующие машины преобразуют энергию двигателя в энергию перемещения масс (продукции, изделий).

Информационные (вычислительные) машины предназначены для получения и преобразования информации.

Технологические машины предназначены для преобразования обрабатываемого предмета (продукта), состоящего в изменении его размеров, формы, свойства или состояния.

Механизм – система сопряженных тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других твердых тел. Механизмы, входящие в состав машины, весьма разнообразны.

По функциональному назначению механизмы машин принято делить на:

- передаточные;
- исполнительные;
- управления, контроля и регулирования;
- подачи, транспортирования и сопротивления.

Агрегат – укрупненный унифицированный элемент машины, обладающий полной взаимозаменяемостью и выполняющий определенные функции в технологическом процессе (в автомобиле: двигатель, коробка передач, дифференциал и т. п.).

Узел – часть машины, механизма, установки и т. п., состоящая из нескольких более простых элементов (деталей), имеющих общее функциональное назначение (подшипник качения, муфта, редуктор и т. п.).

3.2 Основные показатели оценки машин

Важнейшими характеристиками при оценке машин являются: надежность, работоспособность, производительность, экономическая эффективность, металлоемкость, энергоемкость, степень автоматизации, простота и безопасность обслуживания, удобство управления сборки и разборки.

Надежность по ГОСТ 27.002–89 характеризуется как свойство машины сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих ее способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать такие категории, как отказ, безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или в определенном их сочетании.

В зависимости от причин возникновения отказы подразделяются на конструкционные, производственные, эксплуатационные. На стадии конструирования они обуславливаются ошибками конструктора, несовершенством принятых методов расчета и конструирования. При изготовлении – нарушением принятой технологии, а также ее несовершенством. В эксплуатации – нарушением правил эксплуатации, внешним воздействием, несвойственным нормальным условиям эксплуатации.

Надежность деталей машин, механизмов и приборов во многом зависит от того, насколько близки предельные запасы основных расчетных критериев работоспособности (прочность, скорость, температура, износостойкость и др.) к действительным рабочим режимам.

Главнейшими критериями надежности машин и других систем являются:

- частота отказов, интенсивность отказов;
- вероятность безотказной работы в течение заданного пробега или заданного промежутка времени.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Для этого свойства характерным является непрерывность сохранения работоспособного состояния объекта в течение его применения по назначению. Долговечность (ресурс) – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта. Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения (или) транспортирования. Работоспособность – состояние изделия (привода, узла, детали, машины), при котором оно способно нормально выполнять заданные функции в соответствии с параметрами, установленными нормативно-технической документацией. Основными критериями работоспособности машин являются:

прочность, жесткость, износостойкость, виброустойчивость, теплостойкость и стойкость против коррозии и старения. Эти критерии обеспечивают безотказное функционирование машины в пределах заданного ресурса.

3.3 Общие требования к современным машинам, их деталям и сборочным единицам

Несмотря на большое многообразие современных машин, отличающихся друг от друга назначением, производительностью, скоростью движения рабочих органов и т. д., установлены общие требования, предъявляемые к конструкции самих машин, а также к их сборочным единицам и деталям. Такими требованиями к машинам являются:

- соответствие производительности заданным объемам и темпам выполнения работы;
- обеспечение высокой надежности и долговечности, а также срока службы машины, соответствующего сроку гарантии в заданных условиях эксплуатации;
- правильность выбора материала и рациональных способов обработки;
- соответствие конструкции машины ее назначению;
- обеспечение наименьших габаритных размеров машины, затрат труда и материально-денежных средств;
- удобство доставки к потреблению;
- привлекательность формы и отделки внешнего вида машины.

К конструкциям сборочных единиц предъявляются требования легкой сборки и разборки, легкой замены относительно быстро изнашивающихся частей и т. д. Детали должны иметь минимальную массу при достаточной прочности и быть надежными в эксплуатации, т. к. их поломка может привести к авариям в машине. Прочность детали обеспечивается выбором материала и правильно рассчитанными размерами. Уменьшение массы деталей достигается применением более прочных и экономичных материалов.

Деталим должна быть придана достаточная износостойкость. Это требование выполняется применением специальных материалов и различными способами поверхностного упрочнения. Детали должны быть как можно более простыми по форме и экономичными в изготовлении. Это требование может быть выполнено при условии тесного содружества конструкторов и технологов, обеспечивающего применение наиболее рациональных конструкций, прогрессивной технологии, более дешевых материалов и т. д. Одним из существенных критериев оценки конструкций изделия является его технологичность и экономичность. Существуют следующие виды технологичности конструкций: производственная; эксплуатационная; технического обслуживания; ремонтная и др.

Производительность машины – это объем работ, производимых ею в единицу времени. Она измеряется отношением получаемого эффекта (в виде роста объема выпускаемой продукции или работ, снижением их себестоимости, роста прибыли) к затратам на создание и внедрение машины. Большой экономический эффект дают унификация, стандартизация деталей и сборочных единиц, модифицирование, агрегатирование и универсализация машин.

Унификация состоит в многократном применении в конструкции одних и тех же элементов, что способствует сокращению номенклатуры деталей и уменьшению стоимости изготовления, упрощению эксплуатации и ремонта машин.

Стандартизация – есть регламентирование конструкции и типоразмеров широко применяемых машиностроительных деталей и сборочных единиц. Стандартизация ускоряет конструирование, облегчает изготовление, эксплуатацию и ремонт машин.

Модифицированием называют переделку машины с целью приспособить ее к иным условиям работы, операциям и видам продукции без изменения основной конструкции.

Агрегатирование – метод конструирования машин на основе применения унифицированных и стандартных составных частей. Агрегатирование сокращает трудоемкость конструирования и изготовления машин, упрощает их эксплуатацию.

Универсализация характеризуется расширением функций машин, увеличением диапазона выполняемых ими операций, расширением номенклатуры обрабатываемых деталей.

Технологичной называется конструкция машины, которая обеспечивает заданные эксплуатационные качества и позволяет при данной серийности изготавливать ее с наименьшими затратами труда и материалов. Основные условия обеспечения технологичности связаны со способами получения заготовки, механической обработки и с точностью изготовления деталей и сборки. Литые детали должны обеспечивать легкость формовки, сочетание толщин стенок, плавные закругления, литейные уклоны, правильное расположение ребер, удобство для базирования и механической обработки. Детали, получаемые ковкой, штамповкой, прокаткой, не должны иметь острых внутренних углов, резких перепадов толщин стенок, обеспечивать хорошее «растекание» металла в штампе и уклоны, обеспечивающие удаление детали из штампа. Методом литья получают детали практически неограниченной сложности, а посредством штамповки изготавливают детали сравнительно простой конфигурации, но с применением сварки из штампованных элементов выполняют изделия весьма сложной формы. Таким образом, под технологичностью конструкций и их деталей подразумевается придание им соответствующих конструктивных форм и применение для их изготовления таких материалов и приемов, которые обеспечивают наименьшие в требуемых пределах массу и размеры конструкции, минимальный расход материалов, наибольшую простоту и экономичность производства.

Технико-экономические расчеты наряду с техническими величинами учитывают также и экономические категории – затраты материалов, энергии, труда и других средств. Особый интерес представляет выполнение таких расчетов на первых этапах конструирования, особенностью которых является многовариантность. Сущность технико-экономического подхода при конструировании заключается в поисках наиболее рациональной конструкции машины с учетом совокупности всех особенностей производства и эксплуатации. Экономический эффект возрастает пропорционально увеличению долговечности машины, а также за счет снижения стоимости затрат рабочей силы при эксплуатации и повышении производительности машины.

Экономическое обоснование выбора варианта конструкции связано с оценкой материалоемкости, трудоемкости и себестоимости изготовления машины. При оценке различных вариантов конструкции используют удельные характеристики привода по наиболее характерному для него параметру (мощности, вращающему моменту, производительности, грузоподъемности). Общая трудоемкость – нормированная сумма затрат труда (в единицах времени) на изготовление деталей, сборочных единиц и машины в целом – в наибольшей степени определяет себестоимость проектируемого изделия. Расчет себестоимости машины по стоимости единицы массы основан на принципе подобия. Однако чаще и более строго принцип подобия выдерживается не для машины в целом, а для отдельных агрегатов и деталей. В себестоимости современных машин большую часть составляют комплектующие изделия. Экономический эффект унификации выражается в сокращении количества технической документации и технической оснастки. Выбирая материал для деталей конструируемого привода наряду с другими соображениями следует учитывать трудности, вызываемые большой номенклатурой используемых материалов и по возможности сокращать ее, учитывая, что на себестоимость детали оказывает способ ее изготовления. Сравнительный анализ показывает, что детали простой формы из проката дороже деталей из стали Ст3 в 2–5 раз, литые и кованные – в 5–10 раз; обработка на строгальных и долбежных станках дороже токарной в 2–5 раз, а на револьверных и автоматических станках дешевле в 2–10 раз. Таким образом, экономические аспекты в процессе конструирования проявляются при выборе материала, термообработки, упрочняющей технологии, способа изготовления. Постоянное стремление к увеличению ресурса машин является важнейшей задачей создателей машин, наиболее эффективным результатом работы в деле повышения качества и экономической эффективности их труда.

Основным содержанием проектирования является материализация, «овеществление» научно-технических идей и знаний, использование их при создании нового технического объекта, обладающего наилучшими или заранее обусловленными параметрами, свойствами и технико-экономическими показателями. Качественно новый технический объект обязательно включает новое техническое решение, но не исчерпывается им. Создание нового объекта – это, прежде всего, результат органического синтеза нового технического решения и элементов прежних решений в целом.

3.4 Основные критерии работоспособности машин

Надежность работы машины и ее долговечность связаны с обеспечением основных критериев работоспособности ее деталей и узлов.

Прочность – способность детали, сборочной единицы или машины сопротивляться разрушению под влиянием внешних нагрузок. Различают прочность объемную и поверхностную (контактную). При недостаточной объемной прочности деталь разрушается по всему сечению (поломка зуба шестерни, вала, разрыв стержня болта), при недостаточной контактной прочности происходит раз-

рушение поверхности контакта (выкрашивание поверхности зуба шестерни, рабочей поверхности колец подшипников качения). Различают разрушение под действием однократного нагружения и при действии переменных нагрузок, что свидетельствует о недостаточной статической, малоцикловой и усталостной прочности. Оценка прочности обеспечивается проведением соответствующих расчетов по определению напряжений и сравнения их с допускаемыми (пределом прочности, текучести или выносливости).

Жесткость – способность детали, сборочной единицы или машины сопротивляться изменению положения и формы под влиянием внешних нагрузок. Жесткость влияет на величину внутренних силовых факторов в статически неопределимых конструкциях, а контактная – на точность работы машины. Недостаточная жесткость приводит к неравномерному распределению нагрузок (по длине зубьев колес при изгибе и кручении валов) и к снижению долговечности отдельных узлов машины (подшипников качения при относительном перекосе их колец). Оценка жесткости обеспечивается проведением расчетов по определению линейных и угловых деформаций при изгибе, угла закручивания при кручении, удлинения при растяжении и сравнения их с допускаемыми.

Износостойкость – способность контактирующих деталей при их относительном перемещении сопротивляться изменению формы и размеров рабочих поверхностей вследствие их изнашивания в процессе трения. Износ удорожает эксплуатацию машин, увеличивает простои в связи с ремонтом и регулировкой, снижает точность и КПД, повышает шум и может служить причиной их поломки. В зависимости от характера происходящих процессов различаются следующие виды изнашивания: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое.

Механическое изнашивание является результатом механических процессов – срезание и пластическое деформирование микронеровностей (шероховатостей), повреждение поверхностей абразивными частицами, повреждение в результате усталостных трещин.

Абразивное изнашивание и пластическое деформирование в зоне сопряжения деталей предотвращается по возможности: точным определением действующих нагрузок; учетом свойств материала, влияния погрешностей и деформаций на распределение давлений в зоне контакта.

Усталостное изнашивание (выкрашивание) проявляется в отслаивании отдельных частиц металла с увеличением числа циклов нагружений и проявляется в наибольшей мере на отстающей поверхности (ножка зуба в зубчатой передаче, дорожка качения внутреннего кольца подшипника качения) и представляет значительную опасность при поверхностном упрочнении (азотирование, цементация и др.), поскольку в результате развития трещин под упрочненным слоем с поверхности трения отделяются крупные частицы металла. Для предотвращения усталостного выкрашивания проводится расчет с целью оценки величины контактных напряжений (оценка контактной прочности).

Молекулярно-механическое изнашивание проявляется при разрушении защитных пленок на контактирующих поверхностях, что вызывает действие сил

молекулярного сцепления в зоне контакта их микронеровностей (явление схватывания), следствием чего является процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения – заедание. С увеличением контактных напряжений, скорости скольжения и температуры в зоне контакта возможно проявление большого числа локально расположенных очагов схватывания с интенсивным переносом материала с более мягкой поверхности на более твердую. Опасной формой заедания является задир – повреждение зоны контакта при высокой твердости контактирующих поверхностей в виде борозд глубиной до 100...200 мкм в направлении вектора скорости относительного движения. Уменьшение схватывания имеет место для поверхностей трения при большой разнице их твердости (стальной червяк и бронзовый венец червячного колеса, стальная шейка вала и бронзовые или латунные втулки в подшипниках скольжения), а также при применении смазок с антизадирами присадками. Одним из критериев оценки возможности проявления заедания является температура в зоне контакта, сравниваемая с допускаемой.

Коррозионно-механическое изнашивание возникает при наличии в зоне контакта трения с поверхностно-активными присадками в условиях высоких местных давлений и относительно высоких локальных температур. Одним из видов такого изнашивания является окислительное – разрушение непрерывно возобновляющихся окисных пленок на поверхности металла (узлы пищевого, нефтехимического оборудования). Коррозионно-механическое изнашивание, возникающее вследствие малых колебательных относительных перемещений сопряженных поверхностей, обусловленных деформациями и зазорами (люфтами), называется фреттинг-коррозией. Этот вид изнашивания, нарушающий прочность соединения, характерен для заклепочных, шпоночных и шлицевых соединений, соединений с натягом, зубчатых муфт, рессор.

Виброустойчивость – способность конструкции работать в заданном диапазоне режимов без недопустимых амплитуд колебаний. Повышение амплитуд колебаний под действием возмущающей силы может вызвать на частотах, близких к резонансным, напряжения, превышающие предел прочности (выносливости) для деталей и их поломку. Более того, расходуемая на колебания энергия снижает передаваемую мощность и КПД конструкции. Вибрация деталей передач (зубчатых колес, валов, подшипниковых узлов) является причиной снижения точности машины и появления шума. При эксплуатации агрегатов машин, их узлов и деталей наиболее возможными являются вынужденные колебания и автоколебания. Вынужденные колебания вызываются внешними периодическими возмущениями из-за неуравновешенности вращающихся деталей, погрешностей изготовления и т. д. При расчетах на виброустойчивость для предупреждения возникновения резонанса должно быть установлено соотношение между частотами собственных колебаний и возмущающей силы.

Автоколебания, являющиеся самовозбуждающимися, возникают при равенстве энергий демпфирования и возбуждения, что является, например, причиной фрикционных автоколебаний. При опасности возникновения автоколебаний производится расчет динамической устойчивости.

Теплостойкость – это способность машины, ее деталей и узлов работать при

заданных тепловых режимах без снижения защитной способности масляного слоя и изменения свойств трущихся поверхностей, без чрезмерного изменения зазоров в подвижных соединениях, без снижения прочностных характеристик материалов.

Повышенное трение может служить причиной выхода из строя деталей и узлов машин. Трение скольжения – трение движения двух соприкасающихся твердых тел, при котором их скорости в точках касания различны по значению и направлению. Трение качения – трение движения двух твердых тел, при котором их скорости в точках касания одинаковы по значению и направлению. Сила трения – сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, направленной по касательной к общей границе между этими телами. Скорость скольжения – разность скоростей тел в точках касания при скольжении. Коэффициент трения – отношение силы трения двух тел к нормальной силе, прижимающей эти тела одно к другому. Коэффициент сцепления – отношение неполной силы трения покоя двух тел к нормальной составляющей поверхностей трения силе, прижимающей тела одно к другому. С трением связана одна из самых острых проблем современности – изнашивание машин и механизмов. Расходы на восстановление машин огромны, причем ежегодно они увеличиваются. Удлинение срока службы машин и оборудования даже в небольшой степени равносильно вводу значительных новых производственных мощностей. Большинство машин (85 %...90 %) выходит из строя из-за изнашивания деталей. Затраты на ремонт и техническое обслуживание машины в несколько раз превышают ее стоимость для автомобилей в 6 раз, для самолетов до 5 раз, для станков до 8 раз. Создание узлов с минимальными потерями на трение равносильно высвобождению огромных ресурсов рабочей силы и различных материальных затрат, в том числе ремонтных предприятий, которые сейчас в среднем по машиностроению составляют не менее 60 %...80 % основного производства. На базе науки о трении и изнашивании (триботехники) в настоящее время решаются прикладные инженерные (триботехнические) задачи в области трения, формообразования деталей, обработки материалов разрушающими и деформирующими способами, возможности достижения требуемых свойств поверхностей трения, узлов и деталей за счет упрочняющих воздействий и нанесения специальных покрытий и т. п. Для обеспечения малой силы трения и минимального изнашивания необходимо обеспечивать положительный градиент механических свойств, при котором прочность возникающих молекулярных связей на поверхности меньше прочности нижележащих слоев. Это условие соблюдается при введении жидкого или пластичного смазочного материала, т. к. прочность при сдвиге смазочного материала значительно ниже, чем металла, на который он нанесен. В паре трения такой градиент может быть достигнут нанесением пленки (металлической, неметаллической), применением самосмазывающегося монокристаллического материала, который в процессе трения также обеспечивает положительный градиент механических свойств за счет активного наполнителя или путем введения смазочного материала в зону трения.

4 Требования к оформлению пояснительной записки

4.1 Основные положения

Пояснительная записка выполняется по формам 5 и 5а ГОСТ 2.106-68 на писчей нелинованной бумаге формата А4 с одной стороны одним из следующих способов:

- рукописным – чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Цифры и буквы необходимо писать четко черной тушью;
- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004–88).

Расстояние от рамки формы до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм.

Опечатки, опiski и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графика) черными чернилами, пастой или тушью рукописным способом.

Повреждения листов пояснительной записки, помарки и следы не полностью удаленного прежнего текста (графика) не допускаются.

Сокращения слов или словосочетаний допускается только общепринятые (по ГОСТ 7.12–93).

4.2 Построение записки

Текст записки при необходимости разделяют на разделы и подразделы.

В соответствии с [2] разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей записки, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Если документ не имеет подразделов, то нумерация пунктов в нем должна быть в пределах каждого раздела, и номер пункта должен состоять из номеров раздела и пункта, разделенных точкой. В конце номера пункта точка не ставится.

Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, он также нумеруется.

Если текст документа подразделяется только на пункты, они нумеруются порядковыми номерами в пределах документа.

Пункты, при необходимости, могут быть разбиты на подпункты, которые должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого пункта, например: 4.2.1.1, 4.2.1.2, 4.2.1.3 и т. д.

Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления.

Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис или при необходимости ссылки в тексте документа на одно из перечислений, строчную букву,

после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений необходимо использовать арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа.

Каждый пункт, подпункт и перечисление записывают с абзацного отступа.

Разделы, подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют.

Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов.

Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Каждый раздел текста записки рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

В записке на первом (заглавном) листе приводят содержание, включающее номера и наименования разделов и подразделов с указанием номеров листов (страниц).

Содержание включают в общее количество страниц.

Слово «Содержание» записывают в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы.

В конце записки приводится список литературы, которая была использована при ее составлении. Выполнение списка и ссылки на него в тексте – по ГОСТ 7.32–91. Список литературы включают в содержание документа.

Нумерация страниц документа и приложений, входящих в состав этого документа, должна быть сквозная.

4.3 Изложение текста пояснительной записки

Полное наименование изделия на титульном листе, в основной надписи и при первом упоминании в тексте записки должно быть одинаковым с наименованием его в основном конструкторском документе.

В последующем тексте порядок слов в наименовании должен быть прямой, т. е. на первом месте должно быть определение (имя прилагательное), а затем – название изделия (имя существительное); при этом допускается употреблять сокращенное наименование изделия.

Наименования, приводимые в тексте документа и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми.

Текст записки должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований.

При изложении обязательных требований в тексте должны применяться слова – «должен», «следует», «необходимо», «требуется», «чтобы», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует». При изложении других положений следует применять слова – «могут быть», «как правило», «при необходимости», «может быть», «в случае» и т. д.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста документа, например, «применяют», «указывают» и т. п.

В записке должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии – общепринятые в научно-технической литературе.

Если в записке принята специфическая терминология, то в конце ее (перед списком литературы) должен быть перечень принятых терминов с соответствующими разъяснениями. Перечень включают в содержание записки.

В тексте записки не допускается:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- применять произвольные словообразования;
- применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственными стандартами;
- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в головках и боковиках таблиц, и в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы и рисунки.

В тексте записки, за исключением формул, таблиц и рисунков, не допускается:

- применять математический знак минус (–) перед отрицательными значениями величин (следует писать слово «минус»);
- применять знак «Ø» для обозначения диаметра (следует писать слово «диаметр»). При указании размера или предельных отклонений диаметра на чертежах, помещенных в тексте записки, перед размерным числом следует писать знак «Ø»;
- применять без числовых значений математические знаки, например $>$ (больше), $<$ (меньше), $=$ (равно), \geq (больше или равно), \leq (меньше или равно), \neq (не равно), а также знаки № (номер), % (процент);
- применять индексы стандартов, технических условий и других документов без регистрационного номера.

Перечень допускаемых сокращений слов установлен в ГОСТ 2.316–68.

Условные буквенные обозначения, изображения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах. В тексте записки перед обозначением параметра дают его пояснение, например «Временное сопротивление разрыву σ_s ».

При необходимости применения условных обозначений, изображений или знаков, не установленных действующими стандартами, их следует пояснять в тексте или в перечне обозначений.

В записке следует применять стандартизованные единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417.

Наряду с единицами СИ, при необходимости, в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению. Применение в одной записке разных систем обозначения физических величин не допускается.

В тексте записки числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры

1 Провести испытания пяти труб, каждая длиной 5 м.

2 Отобрать 15 труб для испытаний на давление.

Единица физической величины одного и того же параметра в пределах одной записки должна быть постоянной. Если в тексте приводится ряд числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то ее указывают только после последнего числового значения, например, 1,50; 1,75; 2,00 м.

Если в тексте записки приводят диапазон числовых значений физической величины, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы).

Приводя наибольшие или наименьшие значения величин, следует применять словосочетание «должно быть не более (не менее)».

Приводя допустимые значения отклонений от указанных норм, требований, следует применять словосочетание «не должно быть более (менее)».

Например, по принятым в машиностроении нормам допускается перегрузка по контактным напряжениям не более 5 %.

Числовые значения величин в тексте следует указывать со степенью точности, которая необходима для обеспечения требуемых свойств изделия, при этом в ряду величин осуществляется выравнивание числа знаков после запятой.

Округление числовых значений величин до первого, второго, третьего и т. д. десятичного знака для различных типоразмеров, марок и т. п. изделий одного наименования должно быть одинаковым. Например, если градация толщины стальной горячекатаной ленты 0,25 мм, то весь ряд толщин ленты должен быть указан с таким же количеством десятичных знаков, например 1,50; 1,75; 2,00.

Дробные числа необходимо приводить в виде десятичных дробей, за исключением размеров в дюймах, которые следует записывать $\frac{1}{4}$ "; $\frac{1}{2}$ " (но не $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$).

При невозможности выразить числовое значение в виде десятичной дроби, допускается записывать в виде простой дроби в одну строчку через косую черту, например, 5 / 32; (50А – 4С) / (40В + 20).

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности,

в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример – Напряжение в поперечных сечениях бруса σ , МПа, вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A},$$

где N – продольная сила, Н;

A – площадь поперечного сечения бруса, м².

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×».

Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу обозначают – (1).

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, в формуле (1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например формула (В.1).

4.4 Оформление иллюстраций

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту записки (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1».

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например – Рисунок А.3.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2».

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисовочный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных.

4.5 Оформление таблиц

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание,

быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

На все таблицы должны быть ссылки. При ссылке следует писать слово «Таблица» с указанием ее номера.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист (страницу). При переносе части таблицы на другой лист (страницу) слово «Таблица» и номер ее указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы, например: «Продолжение таблицы 1».

4.6 Ссылки

Ссылки на документы (книги, справочники, ГОСТ и т. п.) следует указывать порядковым номером по списку использованных источников, выделяя их квадратными скобками. При необходимости после номера источника указываются уточняющие данные (страница, рисунок, таблица и т. п.). Например: [5, с. 4, таблица 1.1], [1, с. 12, рисунок 2.2].

Ссылки на разделы, подразделы, пункты и т. п. следует указывать их порядковым номером, например: «...в разд. 2», «...по п. 2.3.1», «... по формуле (3)» и т. д.

4.7 Спецификация

Спецификацию составляют на отдельных листах на каждую сборочную единицу на формах 1 и 1а ГОСТ 2.106–2019.

В спецификацию вносят составные части, входящие в специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям.

Спецификация в общем случае состоит из разделов, которые располагают в следующей последовательности:

- документация;
- сборочные единицы;
- детали;
- стандартные изделия;
- прочие изделия;
- материалы;
- комплекты.

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия. Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают.

Допускается объединять разделы «Стандартные изделия» и «Прочие изделия» под наименованием «Прочие изделия».

В раздел «Документация» вносят документы, составляющие основной комплект конструкторских документов специфицируемого изделия.

В разделы «Сборочные единицы» и «Детали» вносят сборочные единицы и детали, непосредственно входящие в специфицируемое изделие.

В разделе «Стандартные изделия» записывают изделия, примененные по стандартам:

- межгосударственным;
- государственным;
- отраслевым;
- предприятий (для вспомогательного производства, инициативных разработок или если их применение установлено договором на разработку изделия).

В пределах каждой категории стандартов запись рекомендуется производить по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению (например, крепежные изделия, подшипники, электротехнические изделия и т. п.), в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий, в пределах каждого наименования – в порядке возрастания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Прочие изделия» вносят изделия, примененные по техническим условиям. Запись изделий рекомендуется производить по группам, объединенным по их функциональному назначению, в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Материалы» вносят все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. Материалы рекомендуется записывать в алфавитном порядке наименований, а в пределах каждого наименования – по возрастанию размеров или других технических параметров.

В раздел «Материалы» не записывают материалы, необходимое количество которых не может быть определено конструктором по размерам элементов изделия и вследствие этого устанавливается технологом. К таким материалам относятся, например: лаки, краски, клей, смазки, замазки, припой, электроды. Указание о применении таких материалов дают в технических требованиях на поле чертежа.

Графы спецификации заполняют следующим образом:

- в графе «Формат» указывают форматы документов, обозначения которых записывают в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе «Формат» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» перечисляют все форматы в порядке их увеличения.

Для документов, записанных в разделе «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы», графу «Формат» не заполняют.

Для деталей, на которые не выпущены чертежи, в графе «Формат» указывают БЧ.

Для документов, изданных типографским, литографским и подобными способами на форматах, предусмотренных соответствующими государственными стандартами для типографских изданий, в графе «Формат» ставят прочерк;

– в графе «Зона» указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции записываемой составной части (при разбивке поля чертежа на зоны по ГОСТ 2.104).

Если имеются повторяющиеся номера позиций, то в спецификации в графе «Зона» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» указывают все зоны;

– в графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие, в последовательности записи их в спецификации. Для раздела «Документация» графу «Поз.» не заполняют;

– в графе «Обозначение» указывают:

а) в разделе «Документация» – обозначение записываемых документов;

б) в разделе «Сборочные единицы», «Детали» – обозначение основных конструкторских документов на записываемые в эти разделы изделия. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, – присвоенное им обозначение.

В разделах «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы» графу «Обозначение» не заполняют. Если для изготовления стандартного изделия выпущена конструкторская документация, в графе «Обозначение» указывают обозначение выпущенного основного конструкторского документа;

– в графе «Наименование» указывают:

а) в разделе «Документация» для документов, входящих в основной комплект документов специфицируемого изделия и составляемых на данное изделие, – только наименование документов, например: «Сборочный чертеж»;

б) в разделах спецификации «Сборочные единицы», «Детали» – наименования изделий в соответствии с основной надписью на основных конструкторских документах этих изделий. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, указывают наименование, материал и другие данные, необходимые для изготовления;

в) в разделе «Стандартные изделия» – наименования и обозначения изделий в соответствии со стандартами на эти изделия;

г) в разделе «Прочие изделия» – наименования и условные обозначения изделий в соответствии с документами на их поставку с указанием обозначений этих документов;

д) в разделе «Материалы» – обозначения материалов, установленные в стандартах или технических условиях на эти материалы.

5 Общие требования к оформлению графической части проекта

5.1 Форматы

ГОСТ 2.301–68 устанавливает основные и дополнительные форматы (рисунок 5.1). Основные форматы обозначаются: А0, А1, А2, А3, А4, А5.

Форматы А0 и А5 допускается применять при необходимости. Допускается использовать для чертежей дополнительные форматы А2×3, А2×4, А3×3, А4×3, А4×4 и др.

Форматы листов определяются размерами внешней рамки, выполненной тонкими линиями, или кромки листа. Внутри внешней рамки или кромки листа сплошной линией, равной толщине основной линии чертежа, проводится внутренняя рамка на расстоянии 5 мм справа, сверху и снизу и 20 мм слева для брошюровки.

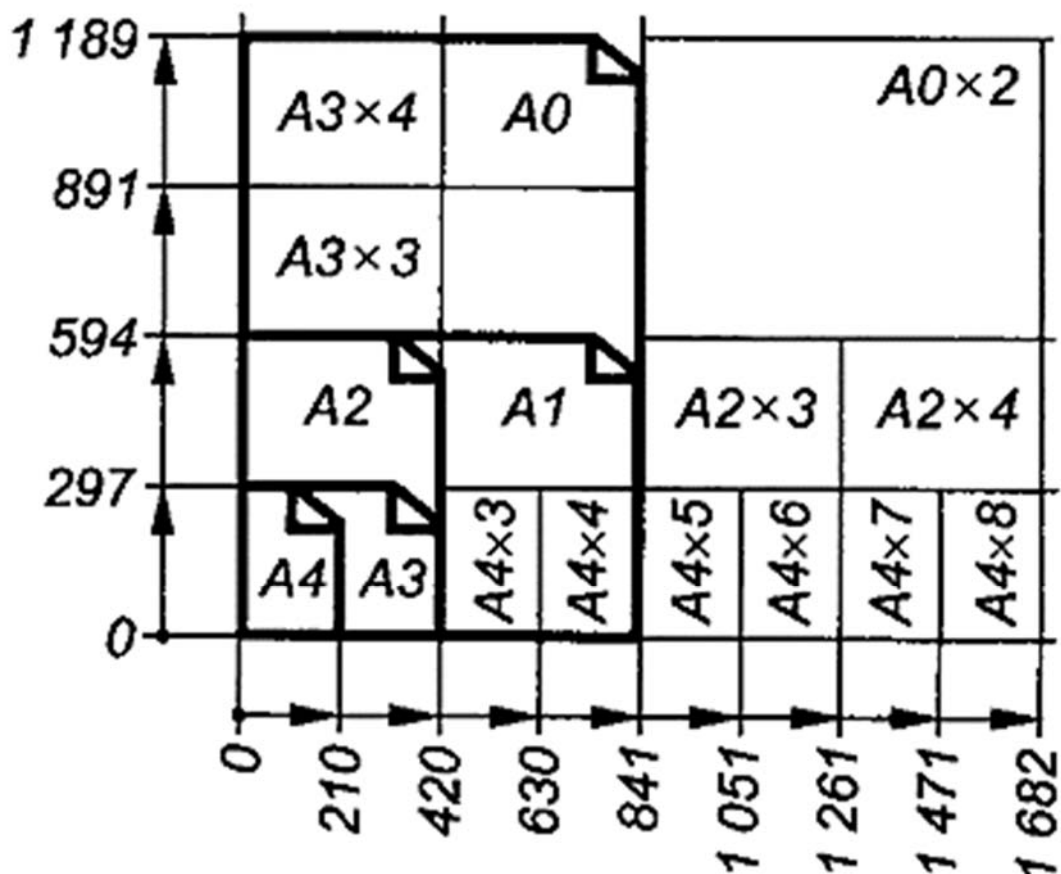


Рисунок 5.1 – Форматы чертежей

5.2 Масштабы

Масштабом называется отношение линейных размеров изображения предмета на чертеже к его действительным размерам.

По ГОСТ 2.302–68 установлены следующие масштабы.

Масштабы уменьшения: 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000.

Масштабы увеличения: 2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1.

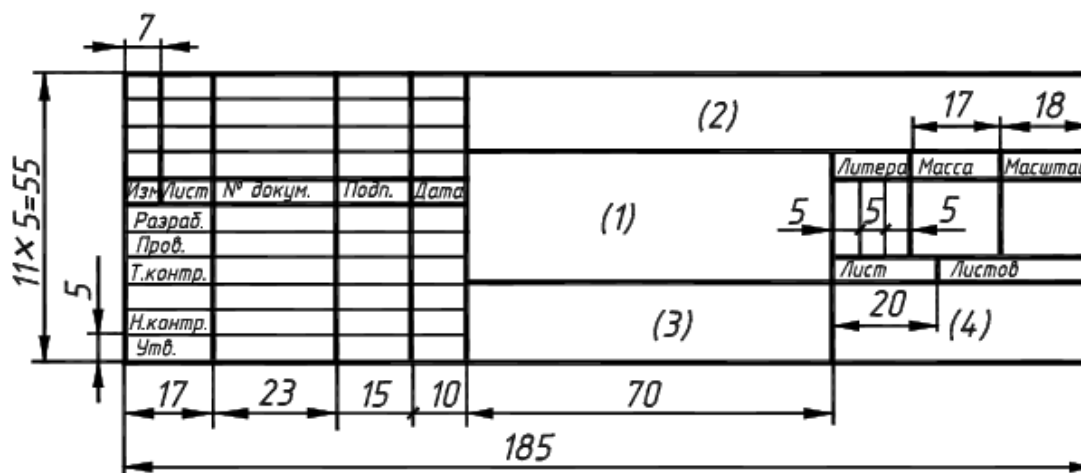
В графе основной надписи масштаб обозначается цифрами: 1:1; 1:2; 2:1 и т. д., в остальных случаях – М 1:1; М 2:1 и т. д.

При выполнении чертежей изделий, сборочных единиц и их деталей рекомендуется применять масштаб изображения 1:1, т. к. он позволяет лучше

представлять действительные размеры элемента. Применение других масштабов согласовывается с руководителем проекта.

5.3 Основная надпись

На всех листах графических документов в правом нижнем углу (на листах формата А4 вдоль короткой стороны листа) располагают основные надписи. Для чертежей, схем и других листов графической части основные надписи выполняют по форме 1 ГОСТ 2.104–68 (рисунок 5.2).



(1) – наименование изделия; (2) – обозначение документа; (3) – обозначение материала детали; (4) – индекс предприятия

Рисунок 5.2 – Основная надпись для чертежей и схем

Если сборочный чертеж представлен на нескольких листах, основную надпись по форме 1 выполняют на листе с главной проекцией, а на остальных – по форме 2а (рисунок 5.3).

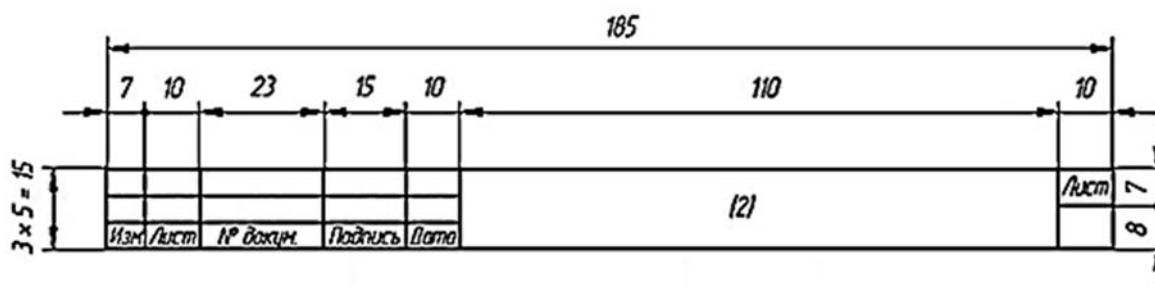


Рисунок 5.3 – Основная надпись для последующих листов чертежей, схем и текстовых документов

На текстовых документах, состоящих из нескольких листов (пояснительная записка, спецификация и др.), основную надпись на заглавных листах необходимо выполнять по форме 2 (рисунок 5.4), а на последующих – по

форме 2а. На листах стандартных форматов с иллюстрационным материалом основную надпись выполняют по форме 2.

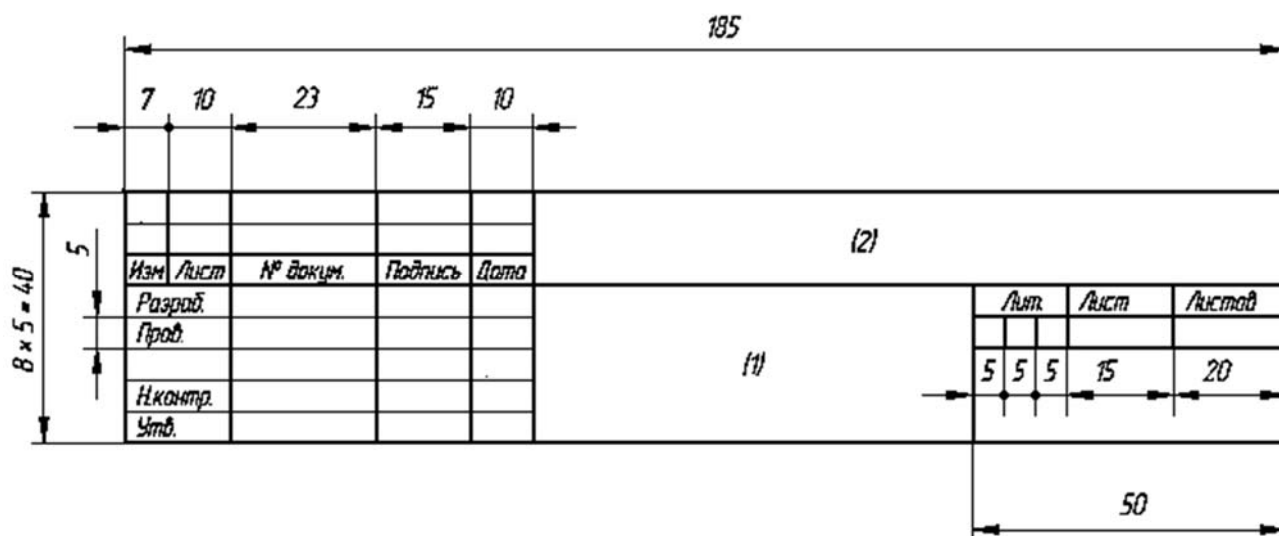


Рисунок 5.4 – Основная надпись заглавного листа для оформления текстовых документов

Заполнение граф основных надписей делают чертежным шрифтом 3,5 или 5 строчными буквами. Первая буква начала надписи в графе должна быть прописной.

В графах основной надписи (номер графы на рисунке показан в скобках) указывают следующее.

В графе 1 – наименование изделия (листа графической части проекта). Наименование изделия (листа) записывается в именительном падеже в единственном числе. В наименовании, состоящем из нескольких слов, должен быть прямой порядок слов, например: «Вал распределительный», «Схема грузопотока», «Планировка центральной ремонтной мастерской» и т. д.

В графе 2 – обозначение документа (чертежа, графика, схемы, спецификации и т. д.) (см. раздел 3).

В графе 3 – обозначение материала детали (заполняется только на чертежах деталей). Обозначение металла в конструкторской документации должно соответствовать его обозначению, приведенному в стандарте, с той полнотой, которая необходима в каждом отдельном случае. Если сортамент металла не устанавливается, обозначение должно содержать наименование материала, марку и номер стандарта или технических условий, например: СЧ15 ГОСТ 1412–85, сталь 45 ГОСТ 1050–88. Если деталь должна быть изготовлена из сортового материала определенного вида обработки, состояния материала, профиля и размера, то в графе 3 материал такой детали записывается в соответствии с обозначением, присвоенным ему в стандарте на сортамент. Например, сталь калиброванная диаметром 20 мм, класса точности 4 по ГОСТ 7417–75, марки 35, нагартованная, пятой категории, качество поверхности группы В по ГОСТ 1050–88 обозначают следующим образом:

$$\text{Круг} \frac{20 - 4 \text{ ГОСТ } 7417 - 75}{35 - H - 5 - B \text{ ГОСТ } 1050 - 88}.$$

Сталь горячекатаная обычной точности прокатки *B* диаметром 50 мм, марки 30, 2-й категории, подгруппы *б*:

$$\text{Круг} \frac{B - 50 \text{ ГОСТ } 2591 - 71}{30 - 2 - б \text{ ГОСТ } 1050 - 88}.$$

То же, полосовая, толщиной 36 мм, шириной 90 мм, марки 45, 4-й категории, диаметр заготовки 60 мм, подгруппы *б*, термически обработанная *T*:

$$\text{Полоса} \frac{36 \times 90 \text{ ГОСТ } 103 - 76}{45 - 4(60) - б - T \text{ ГОСТ } 1050 - 88}.$$

Прокатная угловая неравнополочная сталь размером 63 × 40 × 4 мм, марки Ст2сп, обычной точности прокатки (*B*):

$$\text{Уголок} \frac{B - 63 \times 40 \times 4 \text{ ГОСТ } 8510 - 86}{Ст 2сп \text{ ГОСТ } 535 - 88}.$$

Допускается в условном обозначении материала не указывать класс точности, категорию, качество поверхности и другие параметры, если они не влияют на эксплуатационные качества детали. Например:

$$\text{Круг} \frac{20 \text{ ГОСТ } 7417 - 75}{35 \text{ ГОСТ } 1050 - 88}.$$

В графе 4 – наименование учебного заведения (аббревиатура), специальность и группа.

6 Основные требования к чертежам

6.1 Чертеж общего вида

Чертежи общего вида являются проектным документом и служат исходным материалом для детализации – выполнения рабочих чертежей деталей и сборочных чертежей. Чертеж общего вида должен определять конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей и пояснять принцип работы

изделия. Поэтому чертеж должен содержать изображение изделия с необходимым количеством видов, сечений и разрезов, а также текстовую часть и надписи для понимания устройства изделия.

6.2 Сборочный чертеж

Сборочные чертежи выполняются для изделий и сборочных единиц, в том числе и для сварных конструкций. Основные требования к выполнению сборочных единиц установлены ГОСТ 2.109–73.

Сборочный чертеж должен содержать:

- минимум изображений сборочной единицы, дающих представление о расположении и связи составных частей и обеспечивающих возможность осуществления сборки;
- размеры, предельные отклонения, посадки, другие параметры и требования, которые должны быть выполнены (проконтролированы) по данному чертежу;
- указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);
- номера позиций составных частей, входящих в изделие (сборочную единицу);
- габаритные, установочные, присоединительные размеры, координаты центра тяжести (при необходимости);
- техническую характеристику изделия (при необходимости), если она не приведена на другом конструкторском документе.

На сборочном чертеже допускается изображать перемещающиеся части изделия в крайнем положении тонкими штрихпунктирными линиями, а также помещать изображение пограничных (соседних) изделий («обстановку») в тонких линиях. Предметы «обстановки» изображают упрощенно. Наименование или обозначение предмета «обстановки» при необходимости указывают непосредственно на изображении «обстановки» или на полке линии выноски.

На сборочном чертеже допускается не указывать фаски, скругления, проточки, углубления, выступы, накатки, зазоры между стержнем и отверстием, надписи на табличках, шкалах приборов и т. д. На разрезах изображают нерассеченные составные части, на которые оформлены самостоятельные сборочные чертежи. Типовые, покупные и другие широко применяемые изделия изображают внешними упрощенными очертаниями, не изображая мелких уступов и т. п.

На сборочных чертежах, включающих изображение нескольких одинаковых составных частей (колес, опорных катков и т. д.), допускается выполнять полное изображение одной части, а изображение остальных – упрощенно в виде внешних очертаний.

Сварные, паяные и клеевые изделия из однородного металла в сборе с другими изделиями в разрезах и сечениях штрихуют как монолитное тело (в одну сторону и с одинаковым шагом), изображая границы между деталями изделия сплошными основными линиями.

На сборочном чертеже изделия, включающего детали, на которые

не выполняются рабочие чертежи, на изображении или в технических требованиях приводят дополнительные данные к сведениям, указанным в спецификации, необходимые для изготовления деталей (шероховатость поверхности, отклонения формы и т. д.).

6.3 Чертеж детали

Основные требования к чертежам детали установлены ГОСТ 2.109–73. Чертеж должен содержать необходимое количество видов, сечений и все данные для изготовления детали: размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости поверхностей.

На чертеже указывают технические требования на термообработку, твердость и другие данные, которым деталь должна соответствовать перед сборкой. Исключение представляют те элементы деталей, которые получаются в результате обработки в процессе сборки или после нее. Для них все данные указывают на сборочном чертеже.

Число изображений на чертеже детали должно быть достаточным для раскрытия формы всех конструктивных ее элементов.

Размеры без допусков, характеризующие несопрягаемые или сопрягаемые размеры относительно низкой точности, принимаются по 12–17-му квалитетам. Их можно не указывать, а оговаривать общей записью.

Чертежи шестерен, звездочек и шлицевых деталей должны сопровождаться таблицей по ГОСТ 2.403–75, 2.409–74, в которую заносят данные, необходимые для изготовления.

В технических условиях при необходимости указывают покрытие поверхности детали при изготовлении. Обозначения покрытий установлены ГОСТ 9.306–85, а их выбор оговаривается ГОСТ 9.303–84.

Примеры обозначения покрытий:

1) «*Покрытие: Хим.Окс.Прм*» (рекомендуется как защитно-декоративное по стали) – химическое оксидирование с промасливанием, толщина покрытия до 1 мкм, дополнительная обработка – пропитка маслом;

2) «*Покрытие: Цб.хр.ч*» (защитно-декоративное по стали) – цинковое, толщина покрытия 6 мкм, дополнительная обработка – хромирование, черного цвета;

3) «*Покрытие: эмаль ПФ-133, темно-серая, ГОСТ 996–82, II У2*» – покрытие эмалью пента-фталевой марки ПФ-133, темно-серого цвета, II класс по качеству поверхности, эксплуатируется в условиях умеренного климата (защита от прямого воздействия солнечного излучения).

На каждом чертеже помещают основную надпись по форме 1 (ГОСТ 2.104–68), графы которой заполняются с учетом требований, изложенных в подразделе 4.3. В основной надписи чертежа указывается материал детали. Если для изготовления детали предусматривается использование заменителей материала, то их указывают в технических требованиях или технических условиях на изделие.

Рабочие чертежи в дипломных и курсовых проектах не выполняются на:

– детали, изготавливаемые из фасонного или сортового материала отрезкой под прямым углом, из листового материала отрезкой по окружности или по периметру прямоугольника без последующей обработки;

– детали изделий с неразъемными соединениями (сварных, паяных, клепаных, клеевых и т. п.), если конструкция этой детали определяется размерами, указанными на сборочном чертеже;

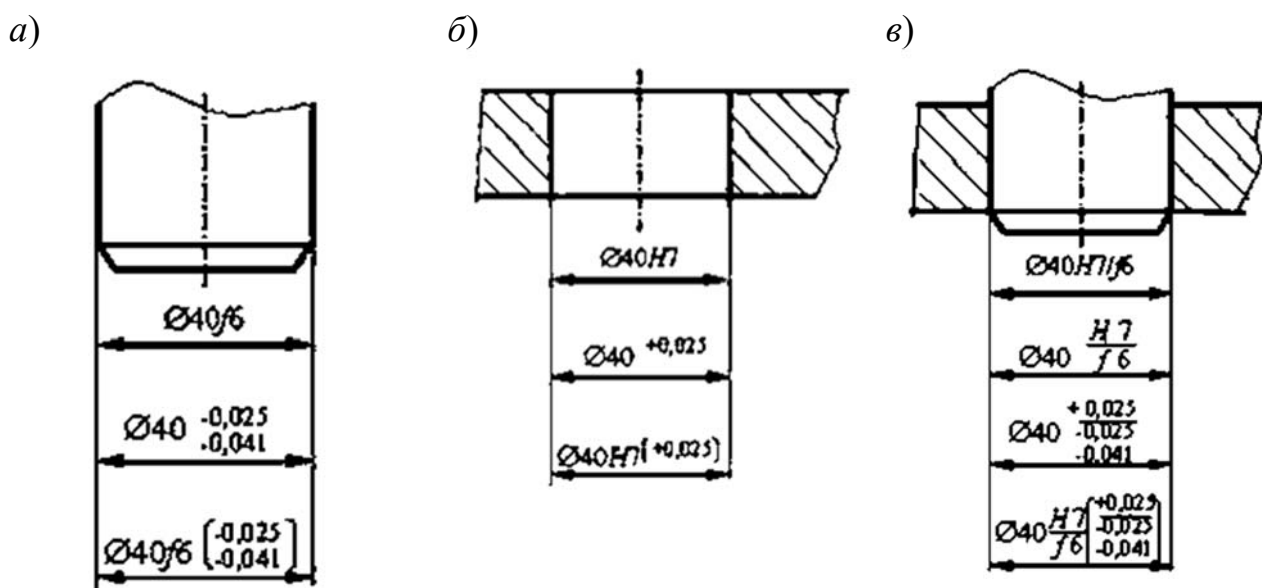
– детали, форма и размеры которых (длина, радиус сгиба и т. п.) устанавливаются по месту.

Данные для изготовления деталей, на которые не выполняются чертежи, указывают на сборочном чертеже и в спецификации.

6.4 Обозначение предельных отклонений и посадок на чертежах

Предельные отклонения размеров указывают на чертежах непосредственно после номинальных размеров одним из трех способов:

- 1) условными буквенными обозначениями полей допусков (рисунок 6.1);
- 2) числовыми значениями предельных отклонений (см. рисунок 6.1);
- 3) условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений (см. рисунок 6.1).



a – предельные отклонения вала; *б* – предельные отклонения отверстия; *в* – предельные отклонения посадок

Рисунок 6.1 – Примеры обозначения на чертежах предельных отклонений

В графической части проекта (работы) рекомендуется применять преимущественно второй способ обозначения предельных отклонений. При указании предельных отклонений условными буквенными обозначениями их числовое значение необходимо обязательно указывать в следующих случаях:

- для размеров, не включенных в ряды номинальных линейных размеров,

например: 41,5H8^(+0,039));

– при назначении предельных отклонений уступов с несимметричным полем допуска.

Предельные отклонения угловых размеров записывают только числовым значением. При этом градусы и минуты не должны быть дробными числами.

Предельные отклонения следует назначать для всех размеров, проставленных на чертежах деталей, не исключая и несопрягаемые размеры. Предельные отклонения линейных размеров относительно низкой точности (от 12-го качества и грубее), как правило, не указывают непосредственно после номинальных размеров, а оговаривают общей записью в технических требованиях чертежа при условии, что эта запись однозначно определяет значения и знаки предельных отклонений.

Примеры общих записей, соответствующие вариантам по ГОСТ 25670–83 для 14-го качества и (или) класса точности «средний», приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Варианты условных обозначений неуказанных предельных отклонений

Номер варианта	Пример записи условными обозначениями
1	$H14, h14, \pm \frac{t_2}{2}$ или $H14, h14 \pm \frac{IT14}{2}$
2	$+t_2, -t_2, \pm \frac{t_2}{2}$
3	$\pm \frac{t_2}{2}$ или $\pm \frac{IT14}{2}$
4	$\varnothing H14, \varnothing h14, \pm \frac{t_2}{2}$ или $\varnothing H14, \varnothing h14 \pm \frac{IT14}{2}$

Неуказанные предельные отклонения радиусов закруглений, фасок и углов не указываются отдельно, а должны соответствовать приведенным в ГОСТ 25670–83 требованиям в соответствии с качеством или классом точности неуказанных предельных отклонений линейных размеров.

На чертежах графической части дипломных и курсовых проектов рекомендуется обозначать:

– симметричные предельные отклонения, назначаемые по качествам – $\pm \frac{IT}{2}$ (с указанием номера качества, например, $\pm \frac{IT14}{2}$);

– односторонние предельные отклонения по качествам, назначаемые только для круглых отверстий и валов – $\varnothing H14, \varnothing h14$; внутренние (охватывающие) и наружные (охватываемые) элементы – $H14, h14$.

Записи о неуказанных предельных отклонениях допускается дополнять поясняющими словами, например: «1. Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий $H14$, валов $h14$, остальных $\pm \frac{IT14}{2}$ ».

Если технические требования на чертеж состоят из одного пункта, содержащего записи о неуказанных предельных отклонениях размеров, то они должны обязательно сопровождаться поясняющими словами. В случае отсутствия размеров какого-либо вида с неуказанными предельными откло-

нениями (например, отверстий) в общей записи соответствующие отклонения опускаются (т. е. $H14$ не записывается).

Посадки сопрягаемых деталей обозначаются на сборочных чертежах. В обозначение посадки (см. рисунок 6.1, в) входит номинальный размер и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в сборке (посадки), которые наносят в виде дроби одним из трех способов:

1) в числителе – условное обозначение поля допуска отверстия, в знаменателе – условное обозначение поля допуска вала;

2) в числителе – числовые значения предельных отклонений отверстия, в знаменателе – числовые значения предельных отклонений вала;

3) в числителе – условное обозначение поля допуска отверстия с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений отверстия, в знаменателе – условное обозначение поля допуска вала с указанием справа в скобках его числовых значений. При выполнении сборочных чертежей рекомендуется применять первый способ обозначения посадки.

Подшипники качения соединяются с валами по системе отверстия с полем допуска малого диаметра внутреннего кольца L , а с корпусом по системе вала с полем допуска наружного диаметра наружного кольца l . Поля допусков деталей для установки радиальных подшипников качения устанавливаются по ГОСТ 25347–82 в зависимости от вида нагружения (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Поля допусков деталей для установки радиальных подшипников качения

Вид нагружения	Поле допуска по ГОСТ 25347–82	
	вала под внутреннее кольцо	отверстия корпуса под наружное кольцо
Местное	$h5, h6, js5, js6, g6, f6$	$H6, H7, H8, Js6, Js7, G7$
Циркуляционное	$n6, m6, k6, js6, n5, m5, k5, js5$	$K7, M7, N7, P7, K6, M6, N6$
Колебательное	$js6, js5$	$Js7, Js6$

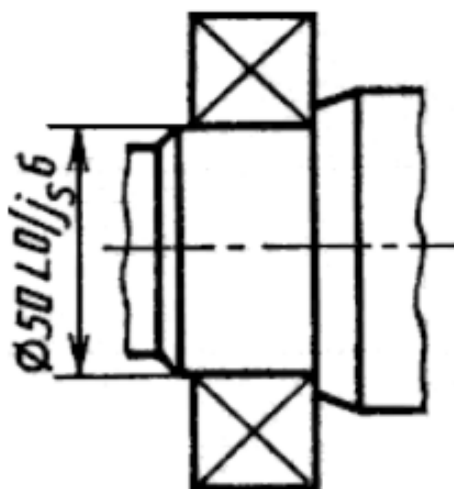
Посадки подшипников качения указывают только на сборочных чертежах (рисунок 6.2).

На рабочих чертежах деталей (вал, корпус) указывают поля допусков размеров, допуски формы, расположения и шероховатость поверхности по общим правилам ЕСДП.

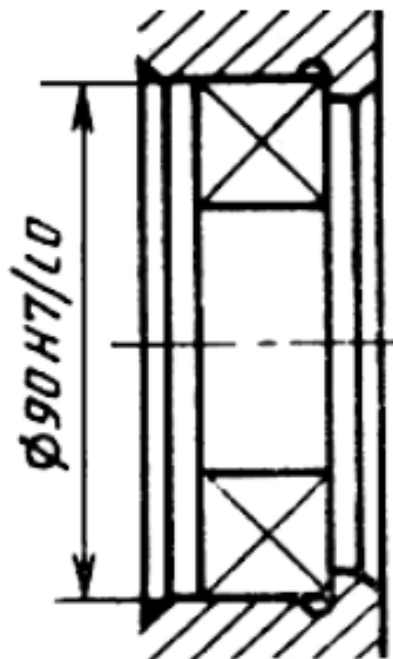
Допускается на сборочных чертежах подшипниковых узлов посадку подшипника обозначать одним полем допуска – полем допуска сопрягаемой с подшипником качения детали.

Допуски и посадки шпоночных соединений назначают с учетом требований ГОСТ 23360–78, ГОСТ 24071–80 и ГОСТ 24068–80 соответственно для соединений с призматическими, сегментными и клиновыми шпонками.

а)



б)



а – посадка подшипника на вал; б – посадка подшипника в корпус

Рисунок 6.2 – Обозначения посадок подшипников

За номинальный размер шпоночного соединения принимают ширину шпонки. По номинальному размеру шпонки возможны три вида соединений:

1) свободное – для получения подвижных посадок, применяемых при затруднительных условиях сборки (для сегментных шпонок свободное соединение не предусматривается);

2) нормальное – для получения неподвижных разборных соединений при благоприятных условиях сборки;

3) плотное – для получения неподвижных соединений, работающих при реверсивных нагрузках, с напрессовкой при сборке.

Предельные отклонения для размеров призматических шпонок по ширине приняты $h9$, по высоте $h9$ при высоте шпонки $h = 2 \dots 6$ мм и $h11$ – при $h > 6$ мм, по длине $h14$.

Для шпоночных пазов на валу и во втулке установлены предельные отклонения размеров по:

– ширине:

а) при свободном соединении: на валу $H9$ и во втулке $D10$;

б) при нормальном соединении: на валу $N9$ и во втулке J_s9 ;

в) при плотном соединении: на валу и во втулке $P9$;

– глубине паза на валу и во втулке:

а) при высоте шпонки $h = 2 \dots 6$ мм $+ 0,1$;

б) при $h = 7 \dots 18$ мм $+ 0,2$;

в) при $h = 19 \dots 50$ мм $+ 0,3$;

– длине паза вала $H15$.

Примеры условного обозначения посадок и полей допуска шпонки призматической 6×6 ГОСТ 24071–80 при нормальном соединении:

- посадка шпонки с пазом вала – $6 \frac{N9}{h9}$ или $6 \frac{N9(-0,03)}{h9(-0,03)}$;
- посадка шпонки с пазом втулки – $6 \frac{J_s 9}{h9}$ или $6 \frac{J_s 9(\pm 0,015)}{h9(-0,03)}$;
- поле допуска паза вала – $6N9$;
- поле допуска паза втулки – $6J_s 9$.

Аналогично назначаются посадки и допуски на другие виды шпоночных соединений (сегментные, клиновые и тангенциальные).

Допуски и посадки прямобочных шлицевых соединений регламентированы ГОСТ 1139–80, эвольвентных шлицевых соединений – ГОСТ 6033–80.

В шлицевых прямобочных соединениях применяют три способа центрирования:

1) по внутреннему диаметру d – в тех случаях, когда требуется повышенная точность соединения геометрических осей вала и втулки и когда шлицевую втулку после термообработки шлифуют по внутреннему диаметру;

2) по наружному диаметру D – в неподвижных и подвижных соединениях, передающих небольшой крутящий момент, когда твердость втулки невысока и ее обрабатывают чистой протяжкой;

3) по боковым поверхностям зубьев b – при невысоких требованиях к соосности, передаче больших крутящих моментов, знакопеременных нагрузках.

Поля допусков шлицевых валов и втулок для образования посадок принимают в зависимости от способа центрирования и вида соединения (подвижное, неподвижное).

Обозначения шлицевых прямобочных соединений валов и втулок должны содержать: букву, обозначающую поверхность центрирования (d – внутренний, D – наружный диаметр, b – ширина зуба); число зубьев и номинальные размеры d , D и b соединения вала и втулки; обозначения полей допусков или посадок по диаметрам или по ширине b , помещенные после соответствующих размеров.

Допускается не указывать в обозначении допуски нецентрирующих диаметров.

Примеры условного обозначения прямобочного шлицевого соединения с числом зубьев $z = 8$, внутренним диаметром $d = 36$ мм, наружным диаметром $D = 40$ мм, шириной зуба $b = 7$ мм:

– при центрировании по внутреннему диаметру с посадкой по центрирующему диаметру $H7/e8$, наружному диаметру $H12/a11$ и по ширине зуба $D9/f8$:

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8};$$

– при центрировании по наружному диаметру с посадкой по центрирующему диаметру $H8/h7$ и по ширине зуба $F10/h9$:

$$D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9};$$

– при центрировании по боковым сторонам зубьев:

$$b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{h8}.$$

Пример условного обозначения отверстия втулки того же соединения при центрировании по внутреннему диаметру:

$$d - 8 \times 36 H7 \times 40 H12 \times 7 D9.$$

Пример условного обозначения вала того же соединения при центрировании по внутреннему диаметру:

$$d - 8 \times 36 e8 \times 40 a11 \times 7 f8.$$

Эвольвентные шлицевые соединения применяют в тяжелонагруженных механизмах. Эти соединения центрируют по наружному диаметру D и по боковым поверхностям зубьев. Допускается центрирование по внутреннему диаметру.

Примеры условных обозначений:

– эвольвентного шлицевого соединения с $D = 50$ мм; $m = 2$ мм при центрировании по боковым сторонам зубьев (по ширине зуба b), с посадкой по боковым поверхностям зубьев $9H/9g$:

$$50 \times 2 \times \frac{9H}{9g} \text{ ГОСТ } 6033 - 80;$$

– втулки того же соединения:

$$50 \times 2 \times 9H \text{ ГОСТ } 6033 - 80;$$

– вала того же соединения:

$$50 \times 2 \times 9g \text{ ГОСТ } 6033 - 80;$$

– эвольвентного шлицевого соединения с $D = 50$ мм; $m = 2$ мм при центрировании по наружному диаметру D_f , с посадкой по центрирующему диаметру $H7/g6$:

$$50 \times \frac{H7}{g6} \times 2 \text{ ГОСТ } 6033 - 80;$$

– втулки того же соединения:

$50 \times H7 \times 2$ ГОСТ 6033–80;

– вала того же соединения:

$50 \times g6 \times 2$ ГОСТ 6033–80.

Допуски на метрическую резьбу для диаметров от 1 до 600 мм приведены в ГОСТ 16093–70.

Расположение полей допусков относительно номинального профиля определяется основным отклонением: верхним – для болтов, нижним – для гаек.

Установлены следующие ряды основных отклонений, обозначаемые буквами латинского алфавита (строчной – для болта и прописной – для гайки): h, g, e, d – для резьбы болтов; H, G – для резьбы гаек.

Степени точности, определяющие допуски диаметров резьбы болтов и гаек, обозначаются числами:

- наружного диаметра резьбы болта – 4, 6, 8;
- среднего диаметра резьбы болта – 4, 6, 7, 8;
- внутреннего диаметра резьбы гайки – 5, 6, 7;
- среднего диаметра резьбы гайки – 4, 5, 6, 7.

Обозначение поля допуска резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение, например, $8h, 6e, 7G$.

Поле допуска диаметра резьбы записывается справа от ее размера и состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра (помещенного вначале) и обозначения поля допуска наружного диаметра для болтов и внутреннего – для гаек (если они не совпадают с полем допуска для среднего диаметра).

Длины свинчивания болтов (резьбовой части) подразделяют на три группы: малые – S , нормальные – N и большие – L . Если длина свинчивания отличается от нормальной, то ее значение указывается после поля допуска через черточку.

Метрические резьбы подразделяются на резьбы с крупными и мелкими шагами. Резьбы с мелкими шагами применяются, когда ограничена длина свинчивания, для соединения тонкостенных деталей и в других случаях.

Резьба обозначается буквой M (метрическая) и числовым значением номинального диаметра. Например, $M20, M36$ – метрическая резьба с крупным шагом. У резьб с мелким шагом дополнительно указывается значение шага, например $M20 \times 2, M36 \times 3$. Для обозначения левой резьбы после условных обозначений ставят буквы LH , например $M20LH, M36 \times 3 LH$. Многозаходные резьбы обозначаются буквой M , номинальным диаметром, числовым значением хода и в скобках буквой P с числовым значением шага. Например, $M20 \times 3(P1)$ – трехзаходная резьба с ходом 3 мм и шагом 1 мм; $M20 \times 3(P1)LH$ – то же, для левой резьбы.

Примеры обозначения полей допусков:

- для болта с крупным шагом резьбы – $M10-6g$, гайки – $M10-6H$;

– для болта с мелким шагом резьбы (шаг 1 мм) – M10×1-6g, гайки – M10×1-6H;

– для болта с мелким шагом и левой резьбой – M10×1LH-6g, гайки – M10×1LH-6H;

– для болта с полем допуска среднего диаметра резьбы 7g, наружного 6g и длиной свинчивания 30 мм – M10-7g6g-30;

– для болта с обязательным закруглением впадины (с целью повышения усталостной прочности) – M10-6g-R.

Посадки резьбовых деталей обозначают дробью, в числителе которой указывают поле допуска гайки, а в знаменателе – обозначение поля допуска болта, например M10×1-6H/6g.

Обозначение трапецеидальных резьб отличается от метрических тем, что на первом месте стоят буквы *Tr* (трапецеидальная) вместо буквы *M* (метрическая).

6.5 Текстовая часть чертежа

Текстовая часть может включать в себя надписи, предусмотренные стандартами, а также технические требования, относящиеся к отдельным элементам детали и т. п.

В чертеж детали текстовая часть включается в тех случаях, когда содержащиеся в ней данные, разъяснения и указания невозможно или нецелесообразно выразить на чертеже графическими или условными обозначениями.

Текстовую часть располагают над основной надписью чертежа параллельно ей. На листах формата более А4 допускается размещение текста в две и более колонки. Ширина колонки не более 185 мм. Технические требования рекомендуется излагать по пунктам, которые должны иметь сквозную нумерацию, в такой последовательности:

– требования, предъявляемые к материалу, термической обработке и к свойствам материала восстанавливаемой детали;

– предельные отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей;

– требования к качеству поверхностей: зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;

– ссылки на другие документы, содержащие технические требования.

Заголовок «Технические требования» не пишется.

Если необходимо указать техническую характеристику изделия, ее размещают отдельно от технических требований с самостоятельной нумерацией пунктов на свободном поле чертежа под заголовком «Техническая характеристика». При этом над техническими требованиями помещается заголовок «Технические требования». Оба заголовка не подчеркиваются. Если приводится только техническая характеристика, пишется заголовок «Техническая характеристика».

При выполнении чертежа на двух и более листах текстовую часть помещают только на первом листе (где расположена основная надпись по форме 1)

независимо от того, к каким листам относятся указания, приведенные в текстовой части.

Список литературы

1 **Иванов, М. Н.** Детали машин : учебник для академического бакалавриата / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 15-е изд., перераб. – Москва : Юрайт, 2018. – 408 с.

2 **ГОСТ Р 2.105–2019.** ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – Москва : СТАНДАРТИНФОРМ, 2021. – 41 с.