

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. С. П. КОРОЛЕВА

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

КУЙБЫШЕВ 1979

Составители: *О. Н. Парахонский, М. И. Курушин,
А. М. Циприя, А. С. Калинина, Л. М. Ермакова*

Утверждено редакционно-издательским советом института
17.11.78 г.

I. ЗАДАЧА КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовой проект по деталям машин — первая конструкторская работа студента. В ходе этой работы студенты приобретают первые навыки конструирования машин.

Рассчитать и спроектировать машину по заданному техническому условию — это значит создать более совершенную и рациональную по сравнению с существующей конструкцию.

Процесс проектирования — творческий процесс. Он требует разносторонних знаний, изобретательности, творческой фантазии, развивает самостоятельность и чувство ответственности.

Курсовой проект по деталям машин является базой при выполнении более сложных инженерных задач по специальным курсам и при дипломном проектировании.

II. ОБЪЕМ, СОДЕРЖАНИЕ И ТРУДОЕМКОСТЬ ПРОЕКТА

Проект силового привода содержит ряд конструкторских документов.

Правила, порядок разработки и оформления конструкторских документов, применяемых организациями и предприятиями Советского Союза, устанавливаются государственными стандартами — Единой системой конструкторской документации (ЕСКД). В соответствии с требованиями ЕСКД разрабатываются и документы курсового проекта.

В условиях учебного процесса допустимы некоторые отклонения от стандартов. Это касается «Видов и комплектности конструкторских документов», «Основных надписей» и т. д.

Законченный курсовой проект должен содержать следующие документы:

1. Техническое задание.
2. Чертежи общего вида привода — 1...2 листа формата А4.
3. Рабочие чертежи деталей — 2 листа формата А4.
4. Спецификацию.
5. Пояснительную записку в объеме 30...40 с. (формат А4).

Курсовой проект является самостоятельной работой студентов. Трудоемкость выполнения проекта составляет около 100 ч.

III. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Техническое задание содержит:

- а) кинематическую схему изделия;
- б) исходные данные для расчетов — нагрузки, скорости движения, режимы и время работы, сроки службы, условия эксплуатации и др.

Если амплитуды крутильных колебаний α [8] не заданы, то необходимо их согласовать с консультантом.

IV. СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА

В учебном проекте по деталям машин устанавливаются следующие стадии работы над проектом и разработки конструкторской документации:

- 1) разработка технического предложения (по техническому заданию, выданному кафедрой);
- 2) разработка эскизного проекта;
- 3) разработка технического проекта;
- 4) разработка чертежей деталей.

1. ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ

Техническое предложение студент разрабатывает на основе технического задания. Основное назначение технического предложения — определение основных размеров передачи и оптимального относительного расположения узлов и деталей.

Техническое предложение должно содержать:

- а) основные расчеты;
- б) чертеж привода (передачи).

Работу над проектом следует начинать с тщательного изучения технического задания, чертежей, схем, макетов, фотографий и т. п. и с выяснения назначения передачи, принципа ее работы.

При этом необходимо разобраться в назначении основных деталей и узлов проектируемого механизма, способах их крепления, регулировки, последовательности сборки и разборки.

После изучения существующих конструкций следует приступить к выполнению основных проектировочных расчетов. Расчеты выполняются в тетради и впоследствии используются при составлении пояснительной записки. Они должны выполняться аккуратно и сопровождаться схемами, эскизами и ссылками на использованную литературу.

Основные расчеты должны содержать:

кинематический и энергетический расчеты привода;
расчет зубчатых передач по критериям работоспособности (определение межцентровых расстояний, ширины, диаметров и модулей зубчатых колес);

предварительный расчет диаметров и осей валов;

выбор подшипников из каталога по диаметрам валов.

Одновременно выполняются проверочный и силовой расчеты зубчатых передач.

Далее приступают к выполнению чертежей редуктора.

В техническом предложении чертежи следует выполнять на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1 (другие масштабы можно применять только с разрешения преподавателя).

На стадии технического предложения чертежи общего вида редуктора разрабатываются в одной проекции — для редукторов, у которых осевые линии валов лежат в одной плоскости, в двух проекциях — для редукторов, у которых осевые линии валов лежат в нескольких плоскостях.

В техническом предложении разрезы можно не штриховать. На чертежах показывают только внешние контуры деталей передач, валов, подшипников и контуры корпусных деталей.

1.1. Кинематический и энергетический расчеты привода

1.1.1. Распределение передаточного числа привода по ступеням

Рекомендуемые значения передаточных чисел простых зубчатых передач приведены в пособиях [1], [2], [3], [7]. Передаточное число планетарной ступени типа 2К-Н рекомендуется брать в пределах 3, 2...8 [9], [20].

1.1.2. Определение передаточных чисел в планетарной ступени

Для точного определения передаточных чисел в планетарном редукторе необходимо знать число зубьев зубчатых колес. Но на стадии проекторочного расчета, когда неизвестны еще габариты передачи, сразу определить их невозможно.

Приближенно значение передаточных чисел планетарной ступени можно определить из условий заданного передаточного отношения и соосности зубчатых колес [9], [20], [21].

Для простой планетарной передачи

$$u_{1-2}^{(H)} = \frac{r_2}{r_1} = \left(\frac{u_{пл}}{2} - 1 \right) > 1;$$
$$u_{1-3}^{(H)} = \frac{r_3}{r_1} = (u_{пл} - 1).$$

1.1.3. Определение числа сателлитов

Возможное число сателлитов

$$a_c < \frac{\pi}{\arcsin \frac{u_{пл} - 2}{u_{пл}}}$$

При назначении числа сателлитов необходимо считаться с конструктивной возможностью размещения перемычек водила между сателлитами [4], [5] (согласовать с консультантом).

1.1.4. Определение частоты вращения элементов привода

Частоты вращения элементов простых ступеней привода определяются непосредственно по передаточным числам.

При расчете зубчатых колес и подшипников сателлитов планетарных ступеней необходимо определять частоты вра-

щения их в относительном движении, т. е. при остановленном водиле (H). При этом используется метод мысленной остановки водила, при котором планетарная передача превращается в простую передачу с неподвижными в пространстве осями [5].

1.1.5. Определение КПД и мощности элементов привода

При определении КПД и мощностей в элементах привода необходимо учитывать потери как в зацеплениях зубчатых колес, так и в опорах осей и валов [10], [11], [19].

В проверочном расчете необходимо учитывать потери мощностей. В проектировочном расчете, особенно для случая планетарных передач, допускается определение размеров элементов привода по номинальной мощности, т. е. без учета потерь в опорах и зацеплениях.

1.2. Проектировочный расчет зубчатых передач по критериям работоспособности

1.2.1. Выбор и обоснование термической обработки материала зубчатых колес

Технико-экономические условия работы авиационных изделий требуют уменьшения веса и габаритов узлов и деталей. Поэтому в качестве материалов для зубчатых колес применяют высококачественные легированные стали с применением термохимической обработки.

Обычно применяют стали марок: 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 18ХГТ, 20ХНЗА с термохимической обработкой — цементацией.

1.2.2. Определение допускаемых напряжений

Допускаемое контактное напряжение при расчете на выносливость определяется по формулам, приведенным в пособии [7].

При расчете зубчатых передач планетарной ступени необходимо учитывать следующие особенности:

1. При определении расчетного числа циклов перемен напряжений N_{HE} и N_{FE} следует принимать:

Для центральных колес

$$c = a_c;$$

для сателлитов

$$c = 1,$$

так как зубья центральных колес за один оборот нагружаются a_c раз, а зубья сателлита только один раз каждой рабочей поверхностью зуба (c — число зацеплений зуба за один оборот рассчитываемого колеса).

Частота вращения n об/мин должна соответствовать частоте вращения рассчитываемого зубчатого колеса в относительном движении, т. е.

$$n = n^{(H)},$$

2. При определении коэффициента K_{FC} , учитывающего условия работы зубьев, следует принимать:

для центральных колес

$$K_{FC} = 1$$

(зубья работают одной стороной);

для сателлитов

$$K_{FC} = 0,7 \dots 0,8$$

(зубья работают двумя сторонами).

1.2.3. Определение габаритов передачи (из расчета на контактную прочность)

Проектировочный расчет габаритов передачи (межосевое расстояние — a_w , диаметры колес — d) ведется из расчета на долговечность по контактной усталости зубьев [7] при действии номинальной нагрузки. Влиянием внешней динамической нагрузки (например, крутильных колебаний до значений $\alpha \leq 0,4$) практически можно пренебречь, если частота зацепления не совпадает с частотой динамической нагрузки (такие случаи необходимо исключить из эксплуатации).

Кроме того, при расчете планетарной передачи необходимо учитывать следующие особенности:

1. Определение межосевого расстояния a_w и диаметров колес ведется из расчета пары: солнечное колесо — сателлит. Ширина же наружного (коронного) колеса определяется из расчета на контактную прочность по формуле (1.3) [7] по найденному межосевому расстоянию.

2. При определении габаритов по контактной прочности в

силу перераспределения крутящего момента по сателлитам в формулах (1.1) и (1.2) [7] необходимо принять

$$T_2 = \frac{T_1}{a'_c} u_{1-2}^{(H)} \text{ —}$$

— для случая, когда $u_{1-2}^{(H)} > 1$

$$\text{и } T_2 = \frac{T_1}{a'_c} \text{ —}$$

— для случая, когда $u_{1-2}^{(H)} < 1$.

Здесь T_1 — крутящий момент на центральном колесе;

T_2 — крутящий момент на сателлите;

$a'_c = a_c K_{\text{нер}}$ — расчетное (приведенное) число сателлитов;

$K_{\text{нер}} = 0,5 \div 0,9$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки (момента) между сателлитами (зависит от точности изготовления и самоустановки звеньев планетарной передачи).

3. Коэффициенты ширины зубчатых колес ψ [7] принимаются согласно реально существующим конструкциям, а также рекомендациям [5], [9], [10], [11]. Желательно принятое значение ψ согласовать с консультантом.

1.2.4. Определение модуля зацепления (из расчета на изломную прочность)

Определение модуля зацепления зубчатых колес ведется из расчета на изломную прочность по зависимостям, приведенным в пособии [7].

При этом:

1. Влияние внешней динамики привода (крутильные колебания) на значение расчетной нагрузки желательно учитывать, умножая номинальное значение ее на коэффициент внешней динамики $(1 + \alpha)$. Здесь α — относительное значение амплитуды крутильных колебаний [8].

2. В прямозубых конических передачах модуль можно не округлять до ГОСТовского.

3. В планетарной передаче модуль определяется из расчета на изломную прочность пары: солнечное колесо — сателлит.

4. Значения крутящих моментов в планетарной ступени следует определять с учетом проектировочного расчета габаритов передачи.

5. Значения модуля для цилиндрических колес необходимо принимать по ГОСТу.

6. Ширину наружного (коренного) колеса планетарной ступени определяют также из расчета на изломную прочность. Окончательно для ширины венца наружного колеса принимают максимальное значение из расчета на контактную или изломную прочность.

1.2.5. Определение числа зубьев колес

По найденным из расчета на контактную прочность габаритам a_w , d и на изломную прочность модуля m определяется число зубьев колес [7], [9], [10], [20], [21].

При этом:

1. Если в соосной передаче трудно осуществить равенство межосевых расстояний ступеней, то целесообразно применять коррекцию зацепления одной или обеих ступеней.

2. При выборе чисел зубьев колес планетарной передачи необходимо одновременно обеспечить выполнение трех условий — соосности, соседства и сборки [9], [20], [21]. При этом надо помнить, что для передач без смещения инструмента при $\alpha = 20^\circ z_{\min} \approx 17$.

3. Для окончательного назначения чисел зубьев колес необходимо обеспечить условия, при которых частоты вращения выходных валов не отличаются от заданных более, чем на 2,5%.

1.2.6. Геометрический расчет зубчатых колес

Геометрический расчет зубчатых колес производится согласно зависимостям, приведенным в пособии [7]. При этом для выравнивания межосевых расстояний в соосной или планетарной передаче целесообразно применять коррекцию зацеплений [2], [5], [7], [9].

Точность расчета геометрических параметров зубьев: линейные размеры — 0,001 мм; угловые — 1' (эти значения не относятся к точности простановки размеров на чертежах).

1.3. Проверочный расчет зубчатых передач

1. Проверочный расчет зубчатых колес на контактную и изломную прочность производится по методике, изложенной в пособии [7].

2. При расчете планетарной ступени учитываются особенности определения расчетного крутящего момента T_2 (раздел 1.2.3 данного пособия).

3. Условие контактной прочности $\sigma_H < [\sigma_H]$ желательно выдерживать с точностью до 5%. Это достигается за счет изменения ширины зубчатых венцов (контактной длины зубьев).

4. Если в проверочном расчете изломные напряжения σ_F получаются больше допускаемых σ_F , а изменение модуля зацепления нежелательно, то необходимо определить фактический коэффициент безопасности

$$S = \frac{\sigma_F \ln b}{\sigma_F} K_{FL}$$

и сравнить его с допускаемым [7].

1.4. Силовой расчет

Силовой расчет сводится к определению крутящих моментов на валах и усилий в зацеплениях.

Для простых передач (прямозубых, косозубых цилиндрических и конических) моменты и усилия определяются по зависимостям, приведенным в пособиях [9], [10], для планетарных — в [2], [5], [9], [10].

При этом определяются как номинальные (по заданной номинальной мощности), так и максимальные (с учетом перегрузок и крутильных колебаний) моменты и усилия. Максимальные моменты и усилия необходимы для расчета элементов редуктора на статическую прочность, а номинальные — на усталостную.

1.5. Определение диаметров осей и валов

1.5.1. Предварительное определение диаметров осей и валов

Расчет производится по зависимостям, приведенным в пособии [8]. При этом значением коэффициента пустотелости β желательно задаваться по примерам существующих конструкций. Из найденных по статической и усталостной прочности диаметров принимается максимальный.

1.5.2. Выбор материала и обоснование термической обработки осей и валов

Рекомендации по выбору материала валов даны в пособии [8]. Необходимо иметь в виду, что цементируемые стали применяются в исключительных случаях:

когда вал сделан заодно с зубчатым колесом;

когда поверхность вала является беговой дорожкой для подшипников качения.

1.5.3. Определение допускаемых напряжений

Методика определения допускаемых напряжений при расчете на статическую и усталостную прочность осей и валов изложена в пособии [8].

1.6. Подбор подшипников

В авиационных конструкциях применяются, главным образом, подшипники качения.

Предварительный подбор подшипников состоит в выборе типа подшипника в зависимости от условий нагружения по диаметру вала. При этом необходимо ориентироваться на существующие конструкции.

Для быстроходных валов обычно подбирают подшипники средней серии, для тихоходных валов — легкой серии.

1.7. Подбор подшипников для сателлита и определение диаметра его оси

Подшипники для сателлитов подбирают из условия их размещения в ободке сателлита [20].

Если невозможно подшипники качения (радиальные и радиально-упорные) разместить в сателлите, то их ставят без одного или обоих колец (наружного или внутреннего), а также ставят игольчатые подшипники или подшипники скольжения [1], [5], [6].

1.8. Графическое оформление технического предложения

На основании расчетов определяется положение осевых линий, наносятся контуры валов и зубчатых колес, устанавливается расположение опор и габариты подшипников. При

этом используются чертежи существующих конструкций, а также нормы на конструктивные элементы деталей (толщины стенок, зазоры, ширина и толщина фланцев, диаметры ступиц, валов и т. д.), приведенные в пособиях [1], [3], [13], [15], [18]. Компоновочная схема технического предложения изделия (редуктора или коробки скоростей) выполняется в одной проекции (продольный разрез) на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1.

Следует иметь в виду, что одним из основных требований к авиационному редуктору является уменьшение веса и габаритов конструкции, поэтому при отыскании оптимального варианта часто приходится выполнять несколько вариантов технического предложения, меняя разбивку передаточных чисел, расположения зубчатых колес, опор и т. д.

2. ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ

Эскизный проект разрабатывается на основании технического предложения, одобренного консультантом.

Эскизный проект содержит общие виды редуктора, на которых показаны принципиальные конструктивные решения элементов передач, валов, опор, способов крепления и регулирования деталей, уплотнений, подвода и отвода смазки.

На стадии эскизного проекта производится дальнейший расчет элементов редуктора и проработка сборочных чертежей.

Поскольку результаты решения задач конструирования и расчета взаимосвязаны, выполнение расчетов на стадии эскизного проекта должно чередоваться с разработкой конструкции редуктора.

Эскизный проект разрабатывается в следующем порядке:

2.1. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов и определение усилий в опорах по методике, приведенной в пособиях [8], [10].

2.2. Проектировочный расчет осей и валов на статическую и усталостную прочность.

2.3. Расчет шлицевых и шпоночных соединений по методикам, разработанным в пособиях [2], [10].

2.4. Расчет подшипников качения на долговечность по контактной усталости на основе методики, изложенной в пособиях [8], [11]. При этом следует иметь в виду, что динамическая грузоподъемность подшипников, применяемых в авиационных

изделиях $C_{ав}$, больше каталожных значений C стандартных подшипников:

$$C_{ав} = C \cdot K_{кач}$$

где $K_{кач}$ — коэффициент повышения грузоподъемности авиационных подшипников [8].

2.5. Расчет резьбовых соединений на статическую и усталостную прочность и определение потребных моментов затяжки по методике, приведенной в пособиях [22], [23].

2.6. Выбор и расчет потребного количества смазки [4].

2.7. Обоснование способа регулирования зазоров в зацеплениях [1], [13].

2.8. Обоснование способа регулирования зазоров в подшипниках по рекомендациям, данным в пособиях [1], [11].

2.9. Обоснование уплотнений подшипниковых узлов [1], [10], [11].

Чертежи привода разрабатываются в двух проекциях. Для достижения наиболее полного представления о конструкции приводятся дополнительные виды, разрез и сечения.

Для облегчения последующей работы по составлению спецификации целесообразно на чертежах эскизного проекта приводить сведения об использованных стандартных изделиях (обозначение изделий по стандарту, номер стандарта, ссылки на справочную литературу и т. п.).

Представление о разнице и глубине проработки чертежей редуктора на стадии эскизного проекта и технического предложения можно получить при сравнении вариантов, приведенных в пособиях [3], [10], [20].

3. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ

Технический проект разрабатывается на основании эскизного проекта. В техническом проекте должны быть определены конструкция и размеры всех деталей. При этом тщательно прорабатываются их элементы крепления и сопряжения:

3.1. Производится выбор способов центрирования и назначаются посадки и степени точности см. работы [1], [2], [3].

3.2. Назначаются предельные отклонения размеров и форм деталей и классы чистоты обработанных поверхностей см. работы [17], [10], [12].

3.3. Производится проверочный (уточненный расчет осей и валов [8]).

Чертеж общего вида редуктора должен выполняться в 2—3 проекциях (в зависимости от сложности конструкции) с разрезами, сечениями, дополнительными видами, необходимыми для понимания конструкции, взаимодействия составных частей и принципа их работы.

Чертеж выполняется в масштабе 1:1 на листах формата А4 и должен быть достаточным для выполнения чертежей деталей.

Не следует использовать упрощенные изображения крепежных изделий и подшипников. Однотипные крепежные изделия можно изображать один раз, показывая положение остальных осевыми линиями.

При изображении резьбовых соединений необходимо показывать зазоры между болтом (винтом, шпилькой) и корпусом (крышкой, стаканом), а также запасы резьбы и глубины сверления.

На чертеже общего вида указываются следующие размеры: габаритные (по трем координатным направлениям: длина, ширина, высота);

сопряженные (в местах установки подшипников зубчатых колес, муфт и т. д.) с обозначением посадок;

основные, т. е. характеризующие редуктор (межосевые расстояния, число зубьев, модуль, угол наклона зубьев зубчатых колес и т. д.);

на чертеже общего вида необходимо указывать номера позиций сборочных единиц и деталей, входящих в редуктор (их рекомендуется группировать в колонку или строчку по возможности на одной линии, шрифт номеров позиций должен быть на один-два размера больше, чем шрифт размерных чисел).

На чертеже можно приводить техническую характеристику редуктора — общее передаточное число, момент на выходном валу и т. п.

Примеры выполнения чертежей общего вида редукторов приведены в пособиях [1], [20].

4. ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ

Чертежи детали должны содержать изображение детали с минимальным количеством проекций-видов, размеров и сечений, которое обеспечивает полное представление о конструкции всех ее элементов.

Чертеж должен содержать также все данные, определяющие форму, размеры, предельные отклонения размеров и форм, степень шероховатости поверхностей, марку материала и вид термической обработки с указанием предельных значений твердости и другие сведения, знание которых необходимо при изготовлении детали [18]. Для этого сначала устанавливаются конструктивные (сборочные) базы деталей и от них представляются только такие сопряженные размеры, точность которых оказывает влияние на обеспечение тех или иных конструктивно-сборочных требований.

Все остальные («свободные») размеры должны быть заданы от технологических (производственных) баз, обеспечивающих удобство обработки и замера деталей.

V. СОПРОВОДИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

1. СПЕЦИФИКАЦИЯ

Спецификация составляется на отдельных листах формата А1 (см. пособие [18]).

2. РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Пояснительная записка — это документ, содержащий описание проектируемого изделия, обоснования принятых при проектировании технических решений, расчеты на прочность, жесткость и другие расчеты, подтверждающие работоспособность изделия.

Материалы к расчетно-пояснительной записке готовятся в процессе всего проектирования. При оформлении пояснительной записки следует руководствоваться пособием [19].

Титульный лист к работе выдается консультантом. На титульном листе приводится кинематическая схема привода с указанием числа зубьев и модулей колес.

Объяснительная записка составляется в следующей последовательности:

— Содержание.

— Техническое задание на проект (параметры привода).

Описание привода (с анализом преимуществ и недостатков принятой конструкции) и описание системы смазки и охлаждения, порядка сборки и разработки.

В состав пояснительной записки также входят:

1. Техническое предложение.

1.1. Кинематический и энергетический расчеты привода.

1.1.1. Распределение передаточного числа привода по ступеням.

1.1.2. Определение передаточных чисел в планетарной ступени.

1.1.3. Определение числа сателлитов.

1.1.4. Определение частоты вращения элементов привода.

1.1.5. Определение КПД и мощности элементов привода.

1.2. Проектировочный расчет зубчатых передач по критериям работоспособности.

1.2.1. Выбор и обоснование термической обработки материала зубчатых колес.

1.2.2. Определение допускаемых напряжений (из расчета на контактную прочность).

1.2.3. Определение габаритов передачи.

1.2.4. Определение модуля зацепления (из расчета на изломную прочность).

1.2.5. Определение числа зубьев колес.

1.2.6. Геометрический расчет зубчатых колес.

1.3. Проверочный расчет зубчатых передач.

1.4. Силовой расчет.

1.5. Определение диаметров осей и валов.

1.5.1. Предварительное определение диаметров осей и валов.

1.5.2. Выбор материала и обоснование термической обработки осей и валов.

1.5.3. Определение допускаемых напряжений.

1.6. Подбор подшипников.

1.7. Подбор подшипников для сателлитов и определение диаметра его оси.

1.8. Графическое оформление технического предложения (со ссылкой на конструктивные правила и нормы).

2. Эскизный проект.

2.1. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов, определение усилий в опорах.

2.2. Проектировочный расчет осей и валов на статическую и усталостную прочность.

2.3. Расчет шлицевых и шпоночных соединений.

2.4. Расчет подшипников качения на долговечность по контактной усталости

2.5. Расчет резьбовых соединений на статическую и усталостную прочность и определение потребных моментов затяжки.

2.6. Выбор и расчет потребного количества смазки.

2.7. Обоснование способа регулирования зазоров в зацеплениях.

2.8. Обоснование способа регулирования зазоров в подшипниках.

2.9. Обоснование уплотнений подшипниковых узлов.

3. Технический проект.

3.1. Обоснование способов центрирования деталей на валах.

3.2. Обоснование посадок деталей на валах.

3.3. Обоснование предельных замеров и форм деталей.

VI. ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕДУКТОРОВ

При проектировании механического привода рекомендуется придерживаться следующих основных правил:

добиваться минимального веса и габаритов привода;

до начала конструирования привода оптимально разбить передаточные числа по ступеням (согласовать с консультантом);

обеспечивать простую для изготовления и технологичную форму деталей;

добиваться соосности вращающихся деталей (зубчатых колес, втулки винта и др.) путем их тщательного центрирования на валах;

принимать модуль зубчатых колес минимальным из расчета на изломную прочность (так как с уменьшением высоты зуба возрастает КПД передачи и плавность ее работы);

предусматривать возможность регулирования (например, с помощью дистанционных колес и прокладок) осевого положения конических колес в узле с целью обеспечения принятой степени их точности;

предусматривать возможность выравнивания усилий в планетарном редукторе по сателлитам (плавающие самоустанавли-

ливающиеся и гибкие звенья), если это делается с помощью шлицевых соединений, то их необходимо смазывать и охлаждать;

длину зуба наружного (жоронного) колеса планетарного редуктора определять также из расчета на контактную и изломную прочность;

обрыв цементованного слоя делать в ненапряженных местах детали и, по крайней мере, — не у ножки зуба зубчатого колеса;

избегать постановки спаренных подшипников качения из-за статической неопределимости их (в этом случае лучше допустить увеличение габаритов подшипников);

в радиально-упорных конических подшипниках зазоры регулировать таким образом, чтобы в рабочих условиях они были близки к нулевым как наиболее оптимальным по долговечности;

при проектировании системы смазки трущихся поверхностей использовать принцип циркуляции (омывания);

тип уплотнения валов допускается обосновывать по окружной скорости в контакте (смазку из-под уплотнений желатель-но отводить);

при конструировании деталей в каждом конкретном случае назначать осевую базовую поверхность (торец) и принимать все меры для увеличения точности базирования по ней;

отдавать преимущество конструктивно-сборочной простановке размеров детали на рабочем чертеже, чтобы в первую очередь обеспечить конструктивно-сборочные требования при наименьшей точности размеров;

стремиться упрощать сборку и разборку изделия и его узлов;

таблицы для контроля зубчатых колес и шлицев располагать в правом верхнем углу формата рабочего чертежа;

в технических требованиях на изготовление детали в первую очередь необходимо указать механические свойства материала детали и как минимум — твердости

(при этом для цементируемых деталей необходимо указывать твердость как сердцевины, по которой рассчитывают зуб на изломную прочность, так и поверхности, по которой зубчатое колесо рассчитывается на долговечность по контактной усталости);

связь обработанных и необработанных поверхностей по всем координатам осуществлять только однажды по одному размеру (особенность постановки размеров литых деталей),

это связано с разными допусками на обработанные и необработанные поверхности);

технические требования на совершенство формы и расположения посадочных поверхностей под подшипники качения брать из ГОСТа на подшипники;

все радиусы галтелей согласовывать с радиусами и фасками сопряженных деталей из условия отсутствия посадки по радиусу.

VII. ТИПИЧНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего нужен редуктор?
2. Как изображаются на чертеже разрезные пружинные кольца?
3. Какие размеры ставятся на сборочных чертежах?
4. Укажите присоединительные размеры на сборочном чертеже?
5. Предусмотрели ли Вы канавки для выхода шлифовального круга при шлифовании поверхности детали?
6. Порядок сборки узла.
7. Порядок сборки редуктора.
8. Где на чертеже детали располагаются основные размеры и где — вспомогательные?

2. ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ

1. По какому критерию определяются габариты зубчатых передач (межцентровое расстояние — a_w , ширина зубчатого венца — b_w)?

2. Как влияет уменьшение габаритов зубчатых колес на усилия в опорах, а следовательно, на их габариты?

3. Как влияет уменьшение габаритов зубчатых колес на величину изгибающих моментов в валах и, следовательно, на их габариты (диаметры)?

4. По какому критерию работоспособности определяется модуль зубчатой передачи?

5. Объясните, почему модуль зубчатой передачи не влияет на долговечность по контактной усталости?
6. Почему для изготовления зубчатого колеса принята малоуглеродистая сталь (стали: 12Х2Н4А, 20Х, 12ХНЗА)?
7. Почему цементирование повышает долговечность по контактной усталости зубчатых колес?
8. Почему цементирование повышает усталостную прочность зубьев зубчатых колес по изгибу?
9. Как центрируются на валу зубчатые колеса?
10. Почему для цементированных колес значение эффективного коэффициента концентрации при изгибе зуба меньше, чем для улучшенных или нормализованных сталей?
11. Почему назначается высокая степень точности изготовления зубчатых колес? Как это сказывается на габаритах передачи?
12. Где конструкторские базы зубчатого колеса в радиальном и осевом направлениях?
13. Как сказываются несовершенства конструкторских баз на работоспособности зубчатых колес?
14. С помощью какого коэффициента учитывается степень точности изготовления зубчатых колес при их расчете?
15. Почему в технических требованиях конструктор указывает не только поверхностную твердость, но и глубину цементированного слоя? Как ее назначить?
16. Каков расход охлаждающе-смазывающей жидкости на авиационный редуктор?
17. Куда подводить смазку — на вход или на выход зацепления зубьев зубчатых колес?
18. Что необходимо предусмотреть в конструкции узла для регулирования зазора и пятна контакта конических колес?
19. Почему модуль конических колес можно не округлять до ГОСТовского значения?
20. Почему в технических требованиях желательно указывать «скругление вершин зубьев» зубчатых колес?
21. Что необходимо предусмотреть в конструкции для выравнивания усилий по сателлитам планетарного редуктора?
22. Почему выгоднее «плавающим» элементом в планетарном редукторе сделать солнечную шестерню, а не водило?
23. Почему мелкие зубья зубчатых колес выгоднее применять, чем крупные?

3. ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

1. По какому критерию определяются габариты подшипников качения?

2. Объясните, почему внутренние кольца подшипников сажаются на валы зубчатых колес по переходным посадкам, да еще затягиваются гайками, а наружные кольца ставятся с гарантированным зазором?

3. Передаются ли динамические усилия в зацеплениях зубчатых колес на подшипники качения? Если «да», то как это учесть?

4. Почему в радиально нагруженных подшипниках качения мы стремимся создать минимальные зазоры?

5. Каким образом регулируются зазоры в спаренных радиально-упорных подшипниках качения?

6. Принципы охлаждения подшипников качения.

7. Какую поверхность в подшипнике качения необходимо охлаждать и смазывать в первую очередь? Почему?

8. В каких случаях можно ставить на валу два радиально-упорных подшипника качения, а в каких случаях это нежелательно и даже опасно?

9. Какой принцип выдерживается при постановке подшипников качения на длинных валах?

10. После определения осевых усилий в подшипниках качения на валу проверьте, находится ли он в равновесии.

11. Если обороты вала превышают предельные обороты подшипника качения по каталогу, то что необходимо сделать, чтобы повысить быстроходность?

12. Какие способы повышения динамической грузоподъемности при заданных габаритах подшипника Вы знаете?

13. Нужно ли наружное кольцо подшипника качения «зажимать» в осевом направлении?

14. Из каких условий можно определить требуемую осевую затяжку гайкой внутреннего кольца радиально-упорного подшипника качения?

15. Объясните, почему внутреннее кольцо подшипника качения на оси сателлита сажают по скользящей посадке, а наружное кольцо — по переходной?

16. Укажите расчетную длину вала при определении усилий в опорах качения.

17. Как учитывается влияние класса точности подшипника качения на его долговечность?

18. Что предусмотрено в конструкции вала с целью снятия с него подшипников?

19. Почему образующие роликов радиально-упорного конического подшипника должны пересекаться в одной точке на оси подшипника?

20. Почему при больших оборотах радиально-упорные конические подшипники не применяются?

21. Определите усилие прижатия ролика радиально-упорного конического подшипника к бортику внутреннего кольца.

4. ВАЛЫ

1. В каком отношении находятся диаметры входного и выходного валов редуктора?

2. По каким критериям подбираются диаметры валов?

3. Как влияет пустотелость вала ($\beta = \frac{d}{D}$) на габариты и вес конструкции?

4. Укажите конструкторские базы вала в радиальном и осевом направлениях. Требования к базам. Их обоснование.

5. По какому источнику можно определить технические требования на отклонения форм посадочных поверхностей под подшипники?

6. Как назначить высоту опорных буртиков вала под подшипник?

7. Как назначить радиус галтели в месте посадки подшипника качения?

8. Методы упрочнения валов в местах концентрации напряжений.

9. Объясните эффект упрочнения вала за счет химико-термической обработки.

10. Какой характер нагружения валов в редукторе при определении запасов прочности по статике и по усталости? Как это отражено в формуле для запаса прочности?

11. Как можно предохранить посадочные поверхности на валу от износа и наклепа?

5. ШЛИЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

1. Почему предпочтительны эвольвентные шлицы прямоугольным?

2. При заданной делительной окружности как прочность шлиц зависит от модуля?

3. По какому критерию оценивается работоспособность шлицевого соединения?
4. По каким элементам поверхности шлиц центрируются соединения? Как это отражено в условном обозначении?
5. Откуда берутся допуски на размеры элементов шлиц?
6. Как правильно подойти к выбору класса точности изготовления шлиц?
7. Находит ли отражение класс точности изготовления шлиц в расчете их на прочность?
8. Имеют ли место перемещения в шлицевом соединении под нагрузкой? Как это отражается в расчете на прочность?
9. В каких случаях необходимо смазывать и охлаждать шлицы?
10. Как следует организовать охлаждение и смазку шлиц, если это необходимо?
11. Можно ли центрировать шлицевое соединение зубчатых колес только по боковым граням?
12. В каких случаях желательно центрировать шлицы только по боковым граням?
13. Что является конструкторской базой при назначении и контроле точности изготовления шлиц?
14. Обладает ли шлицевое соединение жесткостью при действии на него изгибающего момента?
15. Какими мерами можно снизить жесткость шлицевого соединения на изгиб?
16. Как можно уменьшить износ зубьев шлицевого соединения?
17. Влияет ли крутящий момент, передаваемый шлицевым валом, на его критические обороты?
18. Следует ли учитывать момент защемления в шлицах при расчете вала на прочность?
19. Влияет ли момент защемления в шлицах на усилия в опорах?

6. БОЛТЫ, ШТИФТЫ

1. Почему глубина завинчивания шпильки в силуминовый корпус принимается равной $2-2,5 d$?
2. Как стопорится шпилька в корпусе?
3. Почему нежелательно ставить мягкие прокладки в стыках фланцевых соединений корпусов?
4. Из какого условия выбирается расстояние между болтами в плотном стыке?

5. Почему в плотном стыке выгоднее применять титановые болты, чем стальные?

6. Почему силовые шпильки и болты меньше, чем М6 не ставят?

7. Из расчета на какую прочность определяется диаметр и длина в контакте силового штифта?

8. В какой системе выгоднее назначать посадки в штифтах, сопряженных с несколькими деталями?

9. Из какого условия назначается тарированная затяжка болтов и шпилек? Как определить потребный момент затяжки?

10. Перечислите способы упрочнения резьб?

11. Какие технические требования назначаются на опорные поверхности под гайки болтов?

12. Почему на валах ставится резьба метрическая мелкая?

13. Почему, несмотря на выполнение условия самоторможения в метрических резьбах, гайка обязательно стопорится?

14. Какие болты выгоднее ставить во фланцах — крупные или мелкие?

15. Почему резьбу ответственных резьбовых деталей шлифуют?

16. Что такое класс прочности резьбы и как он обозначается?

17. Почему шайба ставится под гайку? Из какого материала она изготавливается?

18. Какие усилия воспринимают болты (шпильки) крепления корпусов?

19. Как определить усилия и рассчитать на прочность болты подвески редуктора?

7: У П Л О Т Н Е Н И Я

1. Типы уплотнений.

2. По какому критерию подбирается тип уплотнения?

3. До каких окружных скоростей можно применять контактные уплотнения?

4. Какие элементы поверхностей являются конструкторскими базами при постановке уплотнений?

5. Из каких материалов делаются контактные уплотнения?

6. Какая точность и шероховатость поверхности вала назначается в месте постановки контактного уплотнения?

7. Отводится ли смазка из-под уплотнения?

8. КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ

1. Обосновать выбор материала корпуса редуктора.
2. Какие соотношения рекомендуются между толщинами стенок корпуса, фланцев его и ребер жесткости?
3. Как задаются размеры ребер на чертеже?
4. Почему ребро жесткости ставится против болтов крепления, а не между ними?
5. Как центрируются корпуса между собой?
6. Где назначаются конструкторские базы корпуса в осевом и радиальном направлениях и с какой точностью их изготавливают?
7. Какими мерами можно увеличить точность взаимного расположения баз?
8. Какими средствами достигается плотность стыков в корпусах?
9. Что необходимо сделать по уменьшению веса и габаритов корпусов редуктора?
10. Особенности изображения литых деталей?
11. Виды термообработки корпусов из алюминиевых и магниевых сплавов?
12. Как предохранить корпусные детали от коррозии?
13. Что следует предусмотреть в конструкции корпусов для их транспортировки?

9. ПЛАНЕТАРНЫЙ РЕДУКТОР

1. Что требуется сделать по выравниванию усилий по сателлитам?
2. Как смазываются и охлаждаются подшипники сателлитов?
3. Какими усилиями нагружаются сепараторы подшипников сателлитов и как их определить?
4. Как организовать смазку и охлаждение сепаратора подшипника сателлита?
5. Как фиксируются сателлиты в осевом направлении?
6. Определите усилие на перемычку водила.
7. В каком месте выгоднее сделать разъем составного водила?
8. Как устранить в подшипниках сателлита перекос из-за деформации перемычек водила?

9. Можно ли поставить сателлит на одном сферическом или шариковом подшипнике?

10. Чем отличается работа подшипников, установленных не в сателлитах, а в расточках вала?

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин Ю. М. Конструирование элементов деталей и узлов авиадвигателей. М., «Машиностроение», 1968.
2. Слюзиков М. Н. Проектирование деталей узлов, приводов и механизмов летательных аппаратов. М., «Машиностроение», 1967.
3. Орлов П. И. Основы конструирования. Кн. 1, 2, 3. М., «Машиностроение», 1977.
4. Скубачевский Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели, конструкция и расчет. М., «Машиностроение», 1965.
5. Кудрявцев В. Н. Планетарные передачи. Л., Машгиз, 1966.
6. Атлас конструкций турбовинтовых и турбовальных ГТД.
7. Циприн А. М. Расчет на прочность зубчатых и червячных передач. Куйбышевский авиационный институт, 1977.
8. Циприн А. М. и др. Оси, валы и опоры качения. Куйбышевский авиационный институт, 1976.
9. Чернавский С. А. и др. Проектирование механических передач. М., «Машиностроение», 1976.
10. Иванов М. Н., Иванов В. Н. Детали машин. М., «Высшая школа», 1975.
11. Бейзельман и др. Подшипники качения. М., «Машиностроение», 1975.
12. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя, 1978.
13. Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин. М., «Высшая школа», 1971.
14. Отраслевая нормаль авиационной техники.
15. Чертежи, сынки и макеты выполненных авиационных приводов.
16. Братухин Н. П. Проектирование и конструкция вертолетов. М., «Оборонгиз», 1955, с. 360.
17. Кленин Ю. П. Выбор предельных отклонений формы и расположения поверхностей деталей машин. Куйбышевский авиационный институт, 1975.
18. Образцы рабочих чертежей и спецификаций (пособие, изданное на кафедре).
19. Основные требования к составлению пояснительной записки (пособие, изданное на кафедре).
20. Ицкович Г. М. Курсовое проектирование деталей машин. М., «Машиностроение», 1970.
21. Савинов А. П., Кудинова Л. К., Кричевер М. Ф. Кинематическое проектирование зубчатых передач. Учебное пособие. Куйбышевский авиационный институт, 1972.
22. Решетов Д. Н. Детали машин. М., «Машиностроение», 1977.
23. Биргер и др. Расчет на прочность деталей машин. М., «Машиностроение», 1966.

УКАЗАНИЯ К ВЫБОРУ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение конструкций авиационных приводов [5], [6], [15], [16].
2. Кинематический и силовой расчет привода. Разбивка передаточных чисел. Особенности расчета планетарных передач [5], [9], [10].
3. Выбор и характеристика материалов, применяемых для деталей авиационных изделий [2], [7], [8].
4. Расчет на прочность зубчатых передач [7].
5. Расчет валов [8].
6. Конструирование подшипниковых узлов:
Типовые подшипниковые узлы [3], [9].
Конструктивные элементы крепления подшипников [1], [8], [11].
Безобойменная установка подшипников [3].
Уплотнение подшипниковых узлов [1], [10].
Расчет и выбор подшипников качения [8], [11].
7. Конструкции валов и способы центрирования деталей на валах [1], [3].
8. Конструкция зубчатых колес [1], [3], [15].
9. Конструирование элементов планетарных передач:
Конструирование сателлитов [5], [9].
Конструирование водил (поводков) [4], [9], [14].
Выравнивание нагрузки между сателлитами [4], [5].
10. Конструирование литых деталей:
Толщина стенок и ребер [3] и плакаты, изготовленные на кафедре.
Конструкция ребер, формовочные и конструктивные уклоны [3].
Выделение обработанных поверхностей [1].
11. Фланцевые болтовые соединения:
Определение толщины фланцев, диаметр болтов, расстояние между болтами [1].
Уплотнение торцевых поверхностей [1].
12. Оформление сборочных и рабочих чертежей [13], [17], [18].
13. Составление пояснительной записки [19].

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
I. Задача курсового проектирования	3
II. Объем, содержание и трудоемкость проекта	3
III. Техническое задание	4
IV. Стадии разработки проекта	4
1. Техническое предложение	5
1.1. Кинематический и энергетический расчеты привода	6
1.1.1. Распределение передаточного числа привода по ступеням	6
1.1.2. Определение передаточных чисел в планетарной ступени	6
1.1.3. Определение числа сателлитов	6
1.1.4. Определение частоты вращения элементов привода	6
1.1.5. Определение КПД и мощности элементов привода	7
1.2. Проспективный расчет зубчатых передач по критериям работоспособности	7
1.2.1. Выбор и обоснование термической обработки материала зубчатых колес	7
1.2.2. Определение допускаемых напряжений	7
1.2.3. Определение габаритов передачи (из расчета на контактную прочность)	8
1.2.4. Определение модуля зацепления (из расчета на изломную прочность)	9
1.2.5. Определение числа зубьев колес	10
1.2.6. Геометрический расчет зубчатых колес	10
1.3. Проверочный расчет зубчатых передач	10
1.4. Силовой расчет	11
1.5. Определение диаметров осей и валов	11
1.5.1. Предварительное определение диаметров осей и валов	11
1.5.2. Выбор материала и обоснование термической обработки осей и валов	12
1.5.3. Определение допускаемых напряжений	12

1.6. Подбор подшипников	12
1.7. Подбор подшипников для сателлита и определение диаметра его оси	12
1.8. Графическое оформление технического предложения	12
2. Эскизный проект	13
3. Технический проект	14
4. Чертежи деталей	15
V. Сопроводительная документация	16
1. Спецификация	16
2. Расчетно-пояснительная записка	16
VI. Принципы и правила конструирования редукторов	18
VII. Типичные вопросы для проверки знаний	20
1. Общие вопросы	20
2. Зубчатые передачи	20
3. Подшипники качения	22
4. В а л ы	23
5. Шлицевые соединения	23
6. Болты, штифты	24
7. Уплотнения	25
8. Корпусные детали	26
9. Планетарный редуктор	26
Л и т е р а т у р а	27
Указания к выбору литературы	28

Составители: *Олег Николаевич Парахонский, Лидия Михайловна Ермакова, Михаил Иванович Курушин, Абрам Маркович Циприн, Антонина Сергеевна Калинина*

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН

Методические указания

Редактор Э. Грязнова
Техн. редактор Н. Каленюк
Корректор Т. Полякова

Сдано в набор 11.12.1978 г. Подписано в печать 3.01.1979 г.
Формат 60×84^{1/16}. Бумага оберточная белая. Литературная гарнитура.
Высокая печать. Физ. п. л. 2. Усл. п. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,73.
Тираж 1000 экз. Заказ № 1. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.