

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

**КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН
ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
для студентов.

Составители: Е. П. Жильников, А. М. Циприн,
М. И. Курушин

Под редакцией Д. Е. Чегодаева

УДК 621.8(075)

Курсовое проектирование по деталям машин для авиационных специальностей: Метод. указания / Сост. Е. П. Жильников, А. М. Циприн, М. И. Курушин; Под ред. Д. Е. Чегодаева; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. 19 с.

Методические указания содержат требования к содержанию и оформлению курсового проекта по деталям машин. Они рекомендуются студентам механических специальностей дневного и вечернего отделений института.

Рецензенты: А. П. Амосов, К. А. Жуков

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под проектом понимают комплекс технических документов, относящихся к изделию, предназначенному для изготовления, и содержащий чертежи, расчеты и описания с принципиальными обоснованиями.

Разрабатывая конструкцию машины или механизма, способных выполнять заданные функции в течение заданного срока службы (ресурса), инженер должен учитывать требования экономики, технологии, эксплуатации, транспортировки, техники безопасности и пр. Для удовлетворения этих требований инженер (конструктор) должен выполнять кинематические, энергетические, прочностные, силовые и другие расчеты, а также из множества форм, которые можно придать деталям, и множества материалов он должен выбрать такие, которые позволяют наиболее выгодным образом использовать их свойства для повышения долговечности изделия.

Курсовой проект по деталям машины является первой конструкторской работой студента и поэтому его значение весьма существенно. Изучение основ конструирования (проектирования) начинают с конструирования простейших узлов машины — (приводов, редукторов). Опыт и знания, приобретенные студентом при конструировании этих узлов машин, являются основой для его дальнейшей конструкторской работы, а также для выполнения курсовых проектов по специальным дисциплинам и дипломного проекта. Для выбора оптимальной конструкции необходимо изучить аналогичные (типовые) конструкции, соответствующие заданию. Чертежи типовых конструкций, фотографии, образцы изделий имеются на кафедре, их можно найти в альбомах, учебниках и в других пособиях. Типовые конструкции не должны рассматриваться как образцы, подлежащие копированию, они лишь помогают студенту освоить опыт проектирования и на основе этого разработать свою конструкцию, удовлетворяющую требованиям задания.

1. ТЕМАТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

В качестве заданий на проектирование студентам предлагаются разные приводы современных авиационных конструкций: главные редукторы газотурбинных двигателей (ГТД); главные редукторы вертолетов; редукторы турбостартеров; механизмы управления самолетов.

При выполнении этих заданий студент осваивает основы проектирования наибольшего числа общих элементов машин (передач, соединений, валов, подшипниковых узлов и пр.), теорию и расчет которых он изучал в теоретической части курса.

Техническое задание содержит кинематическую схему привода и исходные данные (нагрузка, скорость движения, режим нагрузки, срок службы, условия эксплуатации и др.).

Технические задания на проектирование для студентов 1-го, 2-го и 3-го факультетов дневного и вечернего обучения, разработанные и составленные на кафедре, приведены в альбоме заданий на проектирование деталей машин /5/.

2. ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

Правила проектирования и оформления конструкторских документов определены государственными стандартами (ГОСТ) единой системы конструкторской документации (ЕСКД). ГОСТы обязательны для промышленной конструкторской документации. В условиях учебного процесса эти правила применяют в сокращенном виде.

Учебный курсовой проект по деталям машин содержит следующие конструкторские документы: техническое задание; чертежи общего вида редуктора или механизма — 1—2 листа формата А1; рабочие чертежи деталей — 1—2 листа формата А1; расчетно-пояснительную записку в объеме 30—40 страниц формата А4 текста, расчетов и обоснований.

При выполнении курсового проекта студенту необходимо проявить максимум самостоятельности и творческой инициативы в выборе вариантов конструкции, материалов, форм деталей, расчетов, графического оформления чертежей и т. д. Только при этих условиях студент может приобрести прочные знания, а также освоить методику и опыт конструирования (проектирования).

Самостоятельная работа студента над проектом направляется и контролируется преподавателем-консультантом. Студенту необходимо приходить на консультацию, имея при себе выполненные расчеты и графические работы. Консультант проверяет работу студента, помогает ему разобраться в неясных вопросах, дает со-

веты по улучшению конструкции и графическому оформлению чертежей, а также утверждает законченные этапы проектирования.

Трудоемкость выполнения проекта составляет около 80 часов.

3. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1. ЗНАКОМСТВО С ТИПОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Получив задание, студент знакомится и изучает типовые конструкции, подобные заданной, по учебникам, справочникам, витринам типовых проектов, экспонатам и пр.

Для знакомства с типовыми конструкциями рекомендуются следующие литературные источники:

- 1) по редукторам ГТД — /3/, /7/, /10/, /33/, 35/;
- 2) по главному, хвостовому и промежуточному редукторам вертолетов — /8/, /16/;
- 3) по редукторам турбостартера — /3/;
- 4) по механизмам управления самолетами — /13/.

При изучении типовых конструкций необходимо выяснить назначение передачи и принцип ее работы, разобраться в конструкции узлов и деталей, способов крепления, регулировки, смазки, последовательности сборки и разборки.

3.2. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проект по деталям машин выполняется по этапам в следующем порядке:

- I этап — разработка технического предложения;
- II » — разработка эскизного проекта;
- III » — разработка технического проекта;
- IV » — разработка рабочих чертежей деталей;
- V » — оформление расчетно-пояснительной записки.

3.2.1. Разработка технического предложения

Техническое предложение студент разрабатывает на основе технического задания. Назначением технического предложения является определение основных размеров и относительного расположения узлов и деталей привода (редуктора). Оно должно содержать основные расчеты и чертеж привода (компоновочный чертеж).

Основные расчеты привода состоят:

- а) из кинематического и энергетического расчета редуктора;

- б) проектировочного, геометрического и проверочного расчетов передач (зубчатых, планетарных, червячных, винтовых);
в) ориентировочного (проектировочного) расчета осей и валов;
г) подбора типов подшипников и их размеров по каталогу.

Для выполнения основных расчетов рекомендуется пользоваться следующими пособиями:

- 1) по кинематическому и энергетическому расчету /1/, при этом средние значения передаточных чисел и КПД различных типов передач в /12/, /25/. Расчет можно выполнять по рекомендациям, приведенным в приложении 3 настоящих методических указаний;
- 2) расчету цилиндрических, зубчатых передач /14/, /28/, конических зубчатых передач /14/, /29/, планетарных передач /2/, /22/, червячных передач /32/, винтовых и шариковинтовых передач /25/, /31/, /34/;
- 3) расчету валов /19/, /26/, /14/, подбору подшипников /9/, /23/.

Примечания: 1. Подбор подшипников выполняют по каталогу в зависимости от условий нагружения и по диаметру вала, ориентируясь при этом на существующие конструкции. Обычно для быстроходных валов подбирают подшипники легкой или средней серии, а для тихоходных — легкой серии.

2. Для сателлитов планетарных передач подшипники подбирают из условия размещения их в ободке сателлита. Максимально допустимый диаметр наружного кольца подшипника $D_{\max} = m(z - 7)$ (здесь m — модуль зацепления, z — число зубьев сателлита).

По результатам основных расчетов выполняется чертеж редуктора.

Чертеж редуктора при оформлении технического предложения выполняется в одной проекции (продольный разрез) на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1.

Студенту необходимо в процессе выполнения компоновочного чертежа использовать чертежи существующих конструкций, а также нормы на конструктивные элементы деталей и узлов редуктора (зубчатые колеса, валы, корпуса редукторов, узлы с подшипниками качения и т. д.), приведенные в /4/, /11/, /15/.

Примеры оформления графической части технического предложения приведены в пособиях /15/, /24/.

3.2.2. Разработка эскизного проекта

Эскизный проект разрабатывается на основе технического предложения и согласования его с консультантом. Этот проект содержит общие виды редуктора в 2-х — 3-х проекциях с разрезами, сечениями, необходимыми для полного представления конструкции, взаимодействия составных частей и принципа их работы. Фактически эскизный проект представляет собой черновой чертеж редуктора (т. е. технического проекта).

На стадии эскизного проекта производятся дальнейшие расчеты элементов редуктора параллельно с разработкой их конструкции.

Порядок разработки эскизного проекта. 1. Определение усилий в зацеплениях и на валах для простых зубчатых передач /14/, /25/, для планетарных передач /22/, а для винтовых /25/, /24/.

2. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов, определение усилий в опорах /19/.

3. Уточненный расчет осей и валов на статическую и усталостную прочность /14/, /19/, /26/.

4. Расчет шлицевых и шпоночных соединений /14/.

5. Уточненный расчет подшипников на долговечность /19/, /23/, /27/.

6. Расчет потребного количества смазки, выбор рола ее и способ подвода к зацеплениям и подшипникам /4/, /24/, /33/.

7. Выбор уплотнений подшипниковых узлов /25/.

8. Расчет резьбовых соединений /15/, /30/.

На чертеже эскизного проекта подробно прорабатывают конструкцию всех элементов (валов, зубчатых колес, подшипниковых гнезд, соединений, корпуса, стандартных деталей и узлов), руководствуясь основными принципами и правилами конструирования, приведенными в /18/, /36/, а также в приложении 1 настоящих методических указаний.

Для выполнения эскизного проекта рекомендуется пользоваться пособиями /4/, /6/, /15/, /17/, а также чертежами выполненных конструкций, приведенными в альбомах, наставлениях, плакатах.

3.2.3. Разработка технического проекта

На основе эскизного проекта выполняется технический проект (общий вид редуктора). На стадии выполнения технического проекта окончательно прорабатываются конструкции и размеры деталей и, при необходимости, вносятся изменения в конструкции отдельных элементов с уточнением соответствующих расчетов, назначаются посадки сопряженных деталей в соответствии со стандартами единой системы допусков и посадок. Рекомендуемые посадки приведены в /15/.

Общий вид редуктора выполняется в минимально необходимых количествах видов, разрезов, сечений в масштабе 1:1 на листах формата А1.

Не следует в учебном проекте использовать упрощенные изображения крепежных изделий и подшипников.

При изображении на чертежах резьбовых соединений следует показывать зазоры между болтом (винтом, шпилькой) и корпусом (крышкой, стаканом), а также запасы резьбы и глубины сверления. Однотипные резьбовые соединения можно изображать одни

раз, показывая положение остальных взаимно-перпендикулярными осевыми линиями.

На чертеже общего вида редуктора проставляются следующие размеры:

габаритные — размеры по 3-м координатным направлениям (длина, ширина, высота);

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

основные — размеры, характеризующие редуктор (межосевые расстояния, число зубьев, модуль зацепления, угол наклона зубьев и т. д.);

присоединительные — размеры, необходимые для установки редуктора на месте монтажа, а также размеры элементов, к которым присоединяются другие узлы машины.

Необходимо также указывать на чертеже номера позиций сборочных единиц, деталей и стандартных изделий, входящих в редуктор. Их рекомендуется группировать в колонку или строчку по возможности на одной линии, шрифт должен быть на один — два размера больше, чем шрифт размерных чисел.

По позициям сборочных единиц, деталей и стандартных изделий составляют спецификацию. Форма и порядок заполнения спецификации приведены в /15/ на основе стандарта (СТ СЭВ 2516 — 80).

Примеры выполнения чертежей общего вида редуктора приведены в пособиях /13/, /16/, /24/, а также в атласах, альбомах, наставлениях и плакатах.

3.2.4. Разработка рабочих чертежей деталей

Рабочие чертежи основных деталей редуктора выполняются в минимально необходимых видах, разрезах, сечениях для полного представления их конструкции. На рабочем чертеже должны быть указаны размеры с предельными отклонениями (допусками), предельные отклонения формы и расположения поверхностей, степени шероховатости (чистоты поверхностей), марка материала, вид термической или химикотермической обработки с указанием предельных значений твердости и другие сведения, значения которых необходимы для изготовления детали.

В пособии /20/ приведены методические указания по оформлению рабочих чертежей. В пособиях /11/, /12/ приведены примеры выполненных чертежей различных деталей редукторов.

3.2.5. Оформление пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка — документ, содержащий описание проектируемого изделия, обоснования принятых при проектировании технических решений и все расчеты (кинематические,

энергетические, силовые, прочностные и другие), подтверждающие работоспособность изделия. Материалы к расчетно-пояснительной записке готовятся в процессе всего периода работы над проектом.

Оформление расчетно-пояснительной записки, ее объем и порядок изложения приведены в методическом указании /21/.

4. ЗАЩИТА ПРОЕКТА

Завершающим этапом проектирования является защита проекта. При защите студент в лаконичной форме излагает содержание задания и его реализацию в своем проекте, а также отвечает на вопросы комиссии в составе 2-х или 3-х преподавателей, принимающих проект.

Студент должен уметь объяснить устройство спроектированного изделия, предъявляемые к нему требования, обосновать принятые конструктивные и технологические решения, выбор материала, назначения посадок, отклонений в форме поверхностей, шероховатостей и пр. Он должен четко представлять значение каждой линии своего чертежа, подробности конструкции и расчета, уметь объяснить порядок сборки и разборки изделия, последовательность передачи нагрузки (усилий моментов) от одной детали к другой.

При защите проекта студент показывает свои знания не только по курсу деталей машин, но и по другим дисциплинам: сопротивлению материалов, технологии материалов, материаловедению, теории механизмов и машин, теоретической механике, машиностроительного черчения и начертательной геометрии. Знания этих дисциплин учитывают при оценке защиты проекта.

При оценке защиты проекта кроме качества выполненного проекта и знаний студента учитывают выполнение запланированных сроков проектирования, самостоятельность и творческую инициативу при проектировании.

Для успешной защиты проекта студенту целесообразно ответить в целях самопроверки на типичные вопросы, приведенные в приложении 2 настоящих методических указаний.

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА КОНСТРУИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Принципы и правила конструирования подробно изложены в 3-томном издании справочно-методического пособия /18/. Ограниченный срок проектирования по курсу деталей машин позволяет рекомендовать студентам использовать это солидное пособие в отдельных случаях решения конкретных вопросов (по совету консультанта).

В настоящем методическом указании 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 колец 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 самоустанавливающиеся и гибкие звенья), если это делается с помощью шлицевых соединений, то их необходимо смазывать и охлаждать;
- обрыв цементированного слоя делать в ненапряженных местах детали и, по крайней мере, — не у ножки зуба зубчатого колеса;
- избегать постановки спаренных подшипников качения из-за статической неопределенности 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 желательнее отводить);
- отдавать преимущество конструктивно-сборной постановке 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.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Для чего предназначен редуктор?
2. Для чего предназначен мультипликатор?
3. Какие размеры ставятся на сборочных чертжах?
4. Укажите на выполненном чертеже общего вида присоединительные размеры.
5. Порядок сборки и разборки узла (на примере выполненного проекта).
6. Порядок сборки и разборки редуктора (на примере выполненного проекта).
7. По какому критерию определяются габариты зубчатой передачи?
8. По какому критерию определяется модуль зацепления?
9. Основное достоинство планетарных редукторов?
10. Какие условия необходимо обеспечить при выборе числа зубьев планетарной передачи? Сущность этих условий?
11. Какие виды термической и химикотермической обработки применяют для упрочнения зубьев зубчатых передач?
12. Как влияет уменьшение межцентрового расстояния зубчатой передачи на усилия в зацеплении?
13. Почему цементирование зубьев зубчатых колес повышает их контактную прочность?
14. Почему цементирование зубьев зубчатых колес повышает их изгибную прочность?
15. Как влияет степень точности изготовления зубчатых колес на габариты передачи?
16. Как учитывается в расчете на прочность зубчатых передач степень точности изготовления их?
17. Куда следует подводить смазку: на вход или на выход зубьев из зацепления зубчатых колес?
18. Что необходимо предусмотреть в конструкции узла для регулировки зазора и пятна контакта конических передач?
19. Почему мелкие зубья зубчатых колес выгоднее применять, чем крупные?
20. Почему внутренние кольца подшипников качения сажаются на валах по переходным посадкам и еще затягиваются гайками, а наружные кольца ставятся с гарантированным зазором?
21. Почему внутреннее кольцо подшипника качения на оси сателлита сажают на скользящей посадке, а наружное кольцо — по переходной?
22. Какие Вы знаете способы повышения динамической грузоподъемности при заданных габаритах подшипника качения?
23. Покажите на схеме (эскизе) расчетную длину вала при определении усилий в опорах качения.
24. Как учитывается влияние класса точности подшипника качения на его долговечность?
25. По каким критериям подбираются диаметры валов?
26. Как влияет пустотелость вала ($\beta = d_0/d$) на его габариты и вес?
27. Как назначается радиус галтели на валу в месте посадки подшипника качения?
28. Какие Вы знаете методы упрочнения валов в местах концентрации напряжений?
29. Объясните эффект упрочнения вала за счет химико-термической обработки.
30. Почему глубина завинчивания шпильки в силуминовый корпус принимается равной $(2 \dots 2,5) d$?

31. Почему нежелательно ставить мягкие прокладки в стыке фланцевых соединений корпусов?
32. Из какого условия назначается расстояние между болтами в плотном стыке?
33. Почему силовые шпильки и болты меньше, чем М6, не ставят?
34. Какие Вы знаете способы упрочнения резьбы?
35. Какие технические требования назначаются на опорные поверхности под головки и гайки болтов?
36. Почему крепежные резьбы самотормозящие?
37. Почему на валах применяется мелкая метрическая резьба?
38. Почему обязательно стопорят крепежные резьбовые детали?
39. Какие усилия воспринимают болты (шпильки) крепления редукторѳв к подредукторной раме?
40. Из какого расчета определяются диаметр и длина в контакте силового штифта?
41. В какой системе следует назначать посадки в штифтах, сопряженных с несколькими деталями?
42. Типы уплотнений подшипниковых узлов.
43. По какому критерию подбирается тип уплотнения?
44. Какая точность и шероховатость поверхности вала назначается в месте постановки контактного уплотнения?
45. Следует ли отводить смазку из-под уплотнения?
46. Какие Вы знаете меры по выравниванию усилий между сателлитами планетарной передачи?
47. Чем отличается работа подшипников, установленных не в сателлитах, а в расточках вала?
48. Чем руководствовались при назначении (выборе) материала корпуса редуктора?
49. Почему ребро жесткости корпуса редуктора ставится против болтов крепления?
50. Какими средствами достигается плотность стыков в корпусах?

Приложение 3

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТЫ РЕДУКТОРА

1. Разбивка общего передаточного отношения

Разбивка общего передаточного отношения по ступеням редуктора в значительной мере определяет его массогабаритные и энергетические показатели. Поэтому при соответствующем программном обеспечении ЭВМ необходимо варьирование передаточными числами для оптимизации характеристик редуктора.

При отсутствии программного обеспечения ЭВМ передаточные числа отдельных ступеней целесообразно выбирать в соответствии с рекомендациями /16/, /24/.

При заданных частотах вращения на входе $n_{вх}$ и вала несущего винта $n_{нв}$ общее передаточное число редуктора определяется отношением

$$u_{ред} = n_{вх}/n_{нв}.$$

С другой стороны, общее передаточное число является произведе-

нием передаточных чисел отдельных ступеней. В этом произведении не учитывается передаточное число конической ступени отбора мощности на хвостовой винт.

Для двухступенчатого цилиндрического, коническо-цилиндрического, цилиндрическо-планетарного и коническо-планетарного редуктора (например, схемы 1, 2, 3 /5/)

$$u_{ред} = u_1 \cdot u_2$$

Для трехступенчатого коническо-цилиндрического редуктора (схема 6 /5/)

$$u_{ред} = u_1 \cdot u_2 \cdot u_3$$

В этих формулах u_1 , u_2 и u_3 — передаточные числа ступеней основной кинематической цепи от входного вала в валу несущего винта без ступени отбора мощности на хвостовой винт. Индексы 1, 2 и 3 ступеням следует присваивать, начиная с быстроходной. При разбивке передаточные числа отдельных ступеней следует принимать не более:

для прямозубой цилиндрической передачи	$u_{max} = 4;$
для косозубой цилиндрической передачи	$u_{max} = 6;$
для прямозубой конической передачи	$u_{max} = 3;$
для конической передачи с круговым зубом	$u_{max} = 4.$

Рациональные значения передаточных чисел для планетарных передач $2k-h$ типа *A* $u_{max} = 3 \dots 9$, типа *B* (с двухвенцовым сателлитом) $u_{пл} = 7 \dots 16$.

В двухступенчатых цилиндрических и коническо-цилиндрических редукторах для рациональной разбивки передаточных чисел могут быть рекомендованы эмпирические зависимости:

двухступенчатая цилиндрическая передача, выполненная по развернутой схеме (схема 21/5/, передаточное число быстроходной ступени)

$$u_6 = (1,2 \dots 1,3) \sqrt{u_{общ}};$$

двухступенчатая цилиндрическая передача внешнего зацепления, выполненная по соосной схеме (схема 2, 6, 15 /5/)

$$u_6 = (1,1 \dots 1,2) \sqrt{u_{общ}};$$

двухступенчатая коническо-цилиндрическая передача (схема 3, 16 /5/)

$$u_6 \cong 0,9 \sqrt{u_{общ}};$$

двухступенчатая цилиндрическая передача, выполненная по соосной схеме, с тихоходной ступенью внутреннего зацепления (схема 10, 12 /5/)

$$u_6 = (0,8 \dots 0,9) \sqrt{u_{общ}}.$$

Передаточное число тихоходной ступени

$$u_{\tau} = u_{\text{общ}}/u_6.$$

Необходимо учесть, что в трехпоточных цилиндрических передачах внутреннего зацепления (схема 9, 13 /5/) из условия незадевания зубьев шестерен минимальное значение передаточного числа

$$u_{\min} = 2,3.$$

В приведенных формулах для двухступенчатых редукторов:

$$u_{\text{общ}} = u_{\text{ред}}; \quad u_6 = u_1; \quad u_{\tau} = u_2.$$

В трехступенчатых коническо-цилиндрических редукторах для использования вышеприведенных формул необходимо задаться передаточным числом одной из ступеней (быстроходной или тихоходной), используя приведенные выше рекомендации. Если задаемся передаточным числом быстроходной ступени, то передаточное число двух оставшихся ступеней определим по формуле

$$u_{\text{общ}} = u_{\text{ред}}/u_1.$$

Разбивку передаточного числа между оставшимися ступенями выполняем по приведенным выше формулам, принимая $u_6 = u_2$; $u_{\tau} = u_3$.

Если задаемся передаточным числом тихоходной ступени, то общее передаточное число двух оставшихся ступеней определим по формуле

$$u_{\text{общ}} = u_{\text{ред}}/u_3.$$

В этом случае при разбивке передаточного числа между оставшимися ступенями принимаем

$$u_6 = u_1; \quad u_{\tau} = u_2.$$

В цилиндрическо-планетарных и коническо-планетарных редукторах разбивку передаточного числа следует производить, задаваясь передаточным числом планетарной ступени. При этом необходимо обеспечить выполнение приведенных выше ограничений передаточных чисел цилиндрических и конических передач.

Для планетарных передач необходимо определить, кроме того, передаточное число от солнечного колеса к сателлиту в обратном движении по формуле

$$u_{ag}^h = u_{\text{пл}}/2 - 1.$$

Передаточное число конической ступени отбора мощности на хвостовой винт определяется по формуле

$$u_{\text{кон}} = n_j/n_{\text{хв}},$$

где n_j — частота вращения вала, с которого осуществляется отбор мощности на хвостовой винт; $n_{\text{хв}}$ — частота вращения вала, передающего мощность на промежуточный редуктор вертолета.

2. Кинематический расчет редуктора

Кинематический расчет редуктора заключается в определении частот вращения всех звеньев привода. Для выполнения этого расчета целесообразно все валы редуктора пронумеровать римскими цифрами от входного до выходного. Последнюю цифру присваиваем валу отбора мощности на хвостовой винт вертолетного редуктора.

Тогда частота вращения I-го вала будет $n_I = n_{вх}$;

частота вращения II-го вала $n_{II} = n_I/u_1$;

частота вращения III-го вала $n_{III} = n_{II}/u_2$ и т. д.

Проверкой правильности разбивки общего передаточного числа и кинематического расчета является совпадение с требуемой точностью рассчитанной частоты вращения вала несущего винта с заданной частотой.

Для планетарных передач, кроме того, необходимо определить частоты вращения всех звеньев в обратном движении. При этом частоты вращения солнечного колеса n_a и водила n_h в абсолютном движении будут равны:

$$n_a = n_j; n_h = n_{j+1} = n_{ив}.$$

Частоты вращения в обратном движении определяются по формулам:

$$n_a^h = n_a - n_h \text{ — для солнечного колеса;}$$

$$n_g^h = n_a^h/u_{ag}^h \text{ — для сателлита;}$$

$$n_b^h = n_h \text{ — для корончатого колеса.}$$

3. Ориентировочные значения КПД

Ориентировочные значения КПД цилиндрических и конических передач определяются в зависимости от степени точности.

Для цилиндрических передач 5-й степени точности

$$\eta_{ц} = 0,990 \dots 0,995.$$

Для передач 6-й и 7-й степеней точности:

цилиндрических — $\eta_{ц} = 0,98 \dots 0,99$;

конических — $\eta_{к} = 0,96 \dots 0,98$.

КПД планетарной передачи 2к-*h* типа А определяется по формуле

$$\eta_{пл} = 1 - \left(1 - \frac{1}{u_{пл}}\right) (1 - \eta_{ц}^2).$$

4. Определение мощностей на валах редуктора

В соответствии с принятыми ранее обозначениями имеем $P_N = P_{вых}$.

Здесь *N* — номер выходного вала. Тогда на всех валах редук-

тора мощности с учетом потерь на трение будут определяться по формулам:

$$P_{N-1} = P_N / \eta_{N-1}; \quad P_{N-2} = P_{N-1} / \eta_{N-2} \text{ и т. д.}$$

На валу, с которого осуществляется отбор мощности на хвостовой винт, определяются два значения мощности:

$$P'_j = P_{j+1} / \eta_j; \quad P_j = P'_j + P_{\text{хв}} / \eta_{\text{к}}$$

В многопоточных передачах с разделением на M потоков мощность, передаваемая одним потоком, определяется по формуле

$$P_j = \frac{P_{j+1} \cdot K_{\text{нер}}}{M \cdot \eta_j}$$

При этом коэффициент неравномерности ориентировочно можно принять $K_{\text{нер}} = 1,05$ — при наличии самоустанавливающихся колес, упругих элементов для выравнивания нагрузки между потоками или $K_{\text{нер}} = 1,15$ — при отсутствии самоустановки и выравнивания нагрузки.

Мощность, собираемая с M потоков на один вал, определяется по формуле

$$P_{i-1} = \frac{P_i \cdot M}{K_{\text{нер}} \cdot \eta_{i-1}}$$

5. Определение моментов на валах редуктора

Определение крутящих моментов на всех валах редуктора производится по формуле

$$T = 9,55 \cdot 10^6 \cdot P / n.$$

В этой формуле момент имеет размерность Н·мм, мощность — кВт, частота вращения — мин⁻¹.

Для вала, с которого осуществляется отбор мощности на хвостовой винт, определяются два значения крутящего момента:

$$T_j = 9,55 \cdot 10^6 \cdot (P_j / n_j); \quad T'_j = 9,55 \cdot 10^6 \cdot (P'_j / n_j).$$

В многопоточной передаче на валу, с которого мощность передается на M потоков, также определяется два значения крутящего момента:

$$T_i = 9,55 \cdot 10^6 \cdot (P_i / n_i); \quad T_{i \text{расч}} = \frac{T_j \cdot K_{\text{нер}}}{M}$$

Здесь коэффициент неравномерности выбирается, как указано выше.

В планетарной передаче $2k-h$ типа A крутящий момент на солнечном колесе равен моменту на валу этого колеса $T_a = T_j$.

Расчетное значение момента, передаваемого одним потоком передачи от солнечного колеса к спутнику, определяется по формуле

$$T_{ag} = \frac{T_a \cdot K_{\text{нер}}}{a_c}$$

При этом число спутников определяется условиями соседства из выражения

$$a_c \leq \frac{0,9\pi}{\arcsin(1 - 2/u_{\text{пл}})}$$

Коэффициент неравномерности распределения нагрузки между спутниками определяется ориентировочно по таблице.

Число спутников a_c	$K_{\text{нер}}$		
	Без плавающих центральных колес	При одном плавающем центральном колесе	При двух плавающих центральных колесах
3	1,15	1,05	1,00
4	1,22	1,10	1,03
5	1,35	1,15	1,05
6	1,50	1,18	1,10
>7	1,80	1,25	1,15

Расчетное значение крутящего момента, передаваемого от спутника к корончатому колесу, определяется по формуле

$$T_{gb} = T_{ag} \cdot u_{ag}^h \cdot \eta_{ц.}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алгоритмизированный расчет зубчатых передач привода: Метод. указания / Сост. Д. С. Коднир, М. И. Курушин, В. Н. Васин и др.; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1984. 30 с.
2. Алгоритмизированный расчет планетарных передач: Метод. указания / Сост. Е. П. Жильников, А. М. Циприн, А. Н. Тихонов; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1985. 20 с.
3. Авиационный турбовинтовой двигатель НК-12 МВ: Техническое описание. М.: Машиностроение, 1966. 296 с.
4. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник / Под ред. Э. Б. Вулгакова. М.: Машиностроение, 1981. 374 с.
5. Кинематические схемы авиационных приводов: Метод. указания / Сост. Б. М. Силаев, Е. П. Жильников, М. И. Курушин; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. 20 с.
6. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. М.: Машиностроение, 1982. Т. 1. 728 с.; Т. 2. 559 с.; Т. 3. 557 с.
7. Атлас конструкций турбовинтовых и турбовальных ГТД (чертежи общих видов). М.: Машиностроение, 1975. 25 с.
8. Братухин И. П. Проектирование и конструкции вертолетов: Учеб. пособие для втузов. М.: Оборонгиз, 1955. 360 с.

9. Бейзельман Р. Д., Цыпкин Б. В., Перель Л. А. Подшипник качения: Справочник. 6-е изд. М.: Машиностроение, 1975. 572 с.
10. Двигатель НК-4. Техническое описание. М.: Оборонгиз, 1959. 135 с.
11. Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для машиностроительных вузов. 4-е изд. М.: Высш. шк., 1985. 416 с.
12. Иванов М. Н., Иванов В. Н. Детали машин. Курсовое проектирование. М.: Высш. шк., 1975. 552 с.
13. Кестельман В. Н., Федоров А. В. Механизмы управления самолетов. М.: Машиностроение, 1987. 184 с.
14. Кудрявцев В. Н. Детали машин: Учебник. Л.: Машиностроение, 1980. 464 с.
15. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. пособие / В. Н. Кудрявцев, Ю. А. Державец, И. И. Арефьев и др. Л.: Машиностроение, 1984. 400 с.
16. Механические передачи вертолетов / Л. Б. Бушмарин, П. П. Деметьев, Г. И. Иоффе и др.; Под ред. В. Н. Кестельмана. М.: Машиностроение, 1983. 120 с.
17. Никитин Ю. М. Конструирование элементов деталей машин и узлов авиадвигателей. М.: Машиностроение, 1968. 332 с.
18. Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие: В 3 т. М.: Машиностроение, 1977. Т. 1. 623 с.; Т. 2. 574 с.; Т. 3. 357 с.
19. Оси, валы и опоры качения: Учеб. пособие / А. М. Циприн, М. И. Курушин, Е. П. Жильников; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1976. 71 с.
20. Оформление рабочих чертежей при курсовом проектировании: Метод. указания / Сост. В. Н. Васин, А. Н. Тихонов; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1985. 40 с.
21. Оформление расчетно-пояснительной записки к курсовому проекту: Метод. указания / Сост. Е. П. Жильников, О. Н. Парахонский, А. С. Калинина; Под ред. Д. С. Коднира; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1986. 12 с.
22. Планетарные передачи: Справочник / В. Н. Кудрявцев, Ю. Н. Кирдяшев, Е. Г. Гинзбург и др. Л.: Машиностроение, 1977. 535 с.
23. Подшипники качения: Справочник-каталог / Под ред. В. Н. Нарышкина и Р. В. Коросташевского. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
24. Проектирование механических передач: Учеб.-справ. пособие / Под ред. С. А. Чернавского и Г. М. Ицковича. М.: Машиностроение, 1976. 608 с.
25. Проектирование механических передач: Учеб.-справ. пособие для вузов / С. А. Чернавский, Г. А. Снесарев, Б. С. Козинцев и др. 5-изд. М.: Машиностроение, 1984. 560 с.
26. Расчет на прочность валов и осей с использованием ЭВМ: Метод. указания / Сост. А. Г. Керженков, М. И. Курушин; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. 20 с.
27. Расчет подшипников качения на ЭВМ: Метод. указания / Сост. Е. П. Жильников, Б. М. Силаев, С. И. Шубин; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987. 24 с.
28. Расчет на прочность цилиндрической зубчатой передачи с использованием ЭВМ «Электроника ДЗ-28»: Метод. указания / Сост. Е. П. Жильников, В. Н. Васин, С. И. Шубин; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987. 23 с.
29. Часовников Л. Д. Передачи зацеплением. М.: Машиностроение, 1969. 488 с.
30. Расчет болтов крепления редуктора вертолета к раме: Метод. указания / Сост. Е. П. Жильников, А. С. Калинина, С. И. Шубин; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987. 20 с.
31. Расчет винтовых и шариковинтовых передач на ЭВМ: Метод. указания / Сост. Е. П. Жильников, С. И. Шубин; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. 23 с.

32. Расчет на прочность червячной передачи с использованием ЭВМ: Метод. указания / Сост. *Е. П. Жильников, А. М. Циприн, Д. С. Коднир*; Куйбышев, авиац. ин-т. Куйбышев, 1982. 20 с.

33. *Скубаческий Г. С.* Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей. М.: Машиностроение, 1969. 542 с.

34. *Слюдиков М. Н.* Механизмы приводов систем управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1975. 383 с.

35. Турбовинтовой двигатель АН-24: Техническое описание. М.: В/о авиа-экспорт, 1964. 127 с.

36. Курсовое проектирование по деталям машин: Метод. указания / Сост. *О. Н. Парахонский, М. И. Курушин* и др.; Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1980. 20 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения	1
1. Тематика технического задания	2
2. Объем и содержание проекта	2
3. Методика и порядок разработки курсового проекта	3
3.1. Знакомство с типовыми конструкциями	3
3.2. Этапы проектирования	3
3.2.1. Разработка технического предложения	3
3.2.2. Разработка эскизного проекта	4
3.2.3. Разработка технического проекта	5
3.2.4. Разработка рабочих чертежей деталей	6
3.2.5. Оформление пояснительной записки	6
4. Защита проекта	7
Приложение 1. Некоторые принципы и правила конструирования механических приводов	8
Приложение 2. Вопросы для самопроверки	9
Приложение 3. Кинематический и энергетический расчеты редуктора	10
Библиографический список	15

Составители Жильников Евгений Петрович,
Циприн Абрам Маркович,
Курушин Михаил Иванович

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Редактор Л. Я. Чегодаева
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 6.03.90. Подписано в печать 26.03.90.
Формат 60 × 84 1/16. Гарнитура литературная.
Бумага оберточная. Печать высокая. Усл. п. л. 1,16. Усл. кр.-отт. 1,26.
Уч.-изд. л. 1,1. Т. 500 экз. Заказ 186. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
443086 Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института,
443001 Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.