

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева»

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН
ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Самара
Издательство СГАУ
2008

УДК 621.8 (075)

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Фалалеев

Жильников Е.П.

Курсовое проектирование по деталям машин для авиационных специальностей: метод. указания к курсовому проектированию / Е.П. Жильников, Б.М. Силаев, В.П. Тукмаков – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 32 с.: ил.

ISBN

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

Рекомендуется студентам инженерно-технических специальностей вуза при изучении курсов "Детали машин" и "Основы конструирования машин".

ISBN

© Жильников Е.П., Силаев Б.М.,
© Тукмаков В.П., 2008
Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
1. ТЕМАТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ	5
2. ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА	5
3. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
3.1. Знакомство с типовыми конструкциями	6
3.2. Этапы проектирования	6
3.2.1. Разработка технического предложения	7
3.2.2. Разработка эскизного проекта	8
3.2.3. Разработка технического проекта	9
3.2.4. Разработка рабочих чертежей деталей	10
3.2.5. Оформление пояснительной записки	10
4. ЗАЩИТА ПРОЕКТА	11
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Некоторые принципы и правила конструирования механических приводов	12
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Вопросы для самопроверки	14
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Кинематический и энергетический расчеты редуктора	16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	29

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 экономика, 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 детали, и множества материалов он должен выбрать такие, которые позволяют наивыгоднейшим образом использовать их свойства для повышения долговечности изделия.

Курсовой проект по деталям машин является первой конструкторской работой студента и поэтому его значение весьма существенно. Изучение основ конструирования (проектирования) начинают с конструирования простейших узлов машин – (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, компьютерных базах данных 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 упрощенные варианты приводов современных авиационных конструкций: главные редукторы газотурбинных двигателей (ГТД); главные редукторы вертолетов; редукторы турбостартеров; механизмы управления самолетов.

При выполнении этих заданий студент изучает основы проектирования наибольшего числа деталей машин общего назначения (передаточных, 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 альбомах заданий на проектирование деталей машин [19, 31].

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, отраженном в стандартах вуза [28, 29].

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 оформлении проекта целесообразно использование компьютерных технологий.

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 советы 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 использовать разработанную на кафедре компьютерную базу данных [30] или литературные источники:

- 1) по редукторам ГТД – [1, 4, 15];
- 2) по редукторам вертолетов – [9];
- 3) по механизмам управления самолетами – [6].

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 этап – разработка эскизного проекта;
- III этап – разработка технического проекта;
- IV этап – разработка рабочих чертежей деталей;
- V этап – 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 [18, 20, 21]. При этом средние значения передаточных отношений и КПД различных типов передач приведены в [2 и 14]. Расчет можно выполнять по рекомендациям, приведенным в приложении 3 настоящих методических указаний;
- 2) по расчету цилиндрических зубчатых передач [22], конических зубчатых передач [23], планетарных передач [12 и 24], червячных передач [25];
- 3) по расчету валов и подбору подшипников [13 и 26].

Примечания:

1. Подбор подшипников выполняют по каталогу в зависимости от условий нагружения и по диаметру вала, ориентируясь при этом на существующие конструкции. Обычно для авиационных редукторов подбирают подшипники легкой или особолегкой серии.
2. Для сателлитов планетарных передач подшипники подбирают из условия размещения их в ободке сателлита или в щеках водила. Максимально допустимый диаметр наружного кольца подшипника в ободке сателлита $D_{\max} = m(z - 7)$ (здесь m – модуль зацепления, z – число зубьев сателлита).

По результатам основных расчетов выполняется компоновочный чертеж редуктора.

Чертеж редуктора при оформлении технического предложения выполняется в одной проекции (продольный разрез) на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1. рекомендуется выполнение компоновочного чертежа на компьютере, с распечаткой на листах формата А4 или А3.

Студенту необходимо в процессе выполнения компоновочного чертежа использовать чертежи существующих конструкций, а так-

же нормы на конструктивные элементы деталей и узлов редуктора (зубчатые колеса, валы, корпуса редукторов, узлы с подшипниками качения и т. д.), приведенные в [2, 5, 8].

Примеры оформления графической части технического предложения приведены в пособиях [8, 14, 29].

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 для простых зубчатых передач по [7, 14], для планетарных передач [12], а для винтовых [14] и реакций в опорах валов [26].
2. Расчет подшипников на долговечность [26].
3. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов [26].
4. Уточненный расчет осей и валов на статическую и усталостную прочность [7, 26].
5. Расчет шлицевых и шпоночных соединений [8].
6. Расчет потребного количества смазки, выбор рода ее и способ подвода к зацеплениям и подшипникам [2, 14, 15].
7. Выбор уплотнений подшипниковых узлов [14].
8. Расчет резьбовых соединений [7, 27].

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 [11], а также в приложении 1 настоящих методических указаний.

Для выполнения эскизного проекта рекомендуется пользоваться пособиями [2, 3, 8 и 10], а также чертежами выполненных конструкций, приведенными в альбомах, наставлениях, плакатах и компьютерной базе данных [30].

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 [8].

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 один 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.

На первом листе общего вида необходимо указать техническую характеристику редуктора: передаточное отношение, крутящий момент на выходном валу, частоту вращения входного вала и т.п. Кроме того, необходимо указать технические требования на изготовление, сборку, регулировку и испытания редуктора.

Необходимо также указывать на чертеже номера позиций сборочных единиц, деталей и стандартных изделий, входящих в редуктор. Их рекомендуется группировать в колонку или строку 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 [8] на основе стандарта (ГОСТ 2.106 - 96).

Примеры выполнения чертежей общего вида редуктора приведены в пособиях [6, 9 и 14], а также в атласах, альбомах, наставлениях и плакатах и компьютерной базе данных кафедры.

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 химико-термической обработки с указанием предельных значений твердости и другие сведения, значения которых необходимы для изготовления детали.

В пособии [29] приведены методические указания по оформлению рабочих чертежей. В пособиях [5] 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 [28].

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 механики, 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 [11]. 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 изгибную 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 колеса 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 желательно отводить);
- отдавать преимущество конструктивно-сборной 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.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Для чего предназначен редуктор?
2. Для чего предназначен мультипликатор?
3. Какие размеры ставятся на сборочных чертежах?
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 чисел зубьев планетарной передачи? Сущность этих условий?
11. Какие виды термической и химико-термической 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 по 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 $(2...2,5)d$?
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 редуктора 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 водила?
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?

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 отношениями для оптимизации характеристик редуктора.

При этом передаточные отношения отдельных ступеней целесообразно выбирать в соответствии с рекомендациями [9 и 14].

При заданных частотах вращения валов на входе $n_{\text{ВХ}}$ и выходе $n_{\text{ВЫХ}}$ общее передаточное отношение редуктора определяется по формуле

$$u_{\text{ред}} = \frac{n_{\text{ВХ}}}{n_{\text{ВЫХ}}}.$$

С другой стороны, общее передаточное отношение является произведением передаточных отношений отдельных ступеней. В этом произведении не учитываются передаточные отношения вспомогательных передач (например, конической ступени отбора мощности на хвостовой винт).

Для двухступенчатого цилиндрического, коническо-цилиндрического, цилиндрическо-планетарного и коническо-планетарного редуктора

$$u_{\text{ред}} = u_1 u_2.$$

Для трехступенчатого коническо-цилиндрического редуктора.

$$u_{\text{ред}} = u_1 u_2 u_3.$$

В этих формулах u_1 , u_2 и u_3 – передаточные отношения ступеней основной кинематической цепи от входного вала к выходному валу. Индексы 1, 2 и 3 ступеням следует присваивать, начиная с быстроходной ступени. При разбивке передаточные отношения отдельных ступеней следует принимать не более:

для прямозубой цилиндрической передачи $u_{\text{max}} = 4;$

для косозубой цилиндрической передачи $u_{\text{max}} = 6;$

для прямозубой конической передачи $u_{\text{max}} = 3;$

для конической передачи с круговым зубом $u_{\text{max}} = 4.$

Рациональные значения передаточных отношений для планетарных передач 2k-h типа А $u_{пл} = 3...9$, типа В (с двухвенцовым сателлитом) $u_{пл} = 7...16$.

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

- для двухступенчатой цилиндрической передачи, выполненной по развернутой схеме (рис. 1) передаточное отношение быстроходной ступени следует принять

$$u_6 = (1,2...1,3)\sqrt{u_{ред}};$$

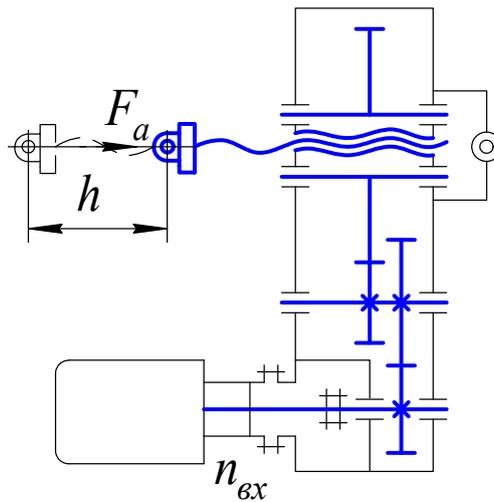


Рис. 1. Схема редуктора, выполненного по развернутой схеме

- для двухступенчатой цилиндрической передачи внешнего зацепления, выполненной по соосной схеме (рис. 2, 3)

$$u_6 = (1,1...1,2)\sqrt{u_{ред}};$$

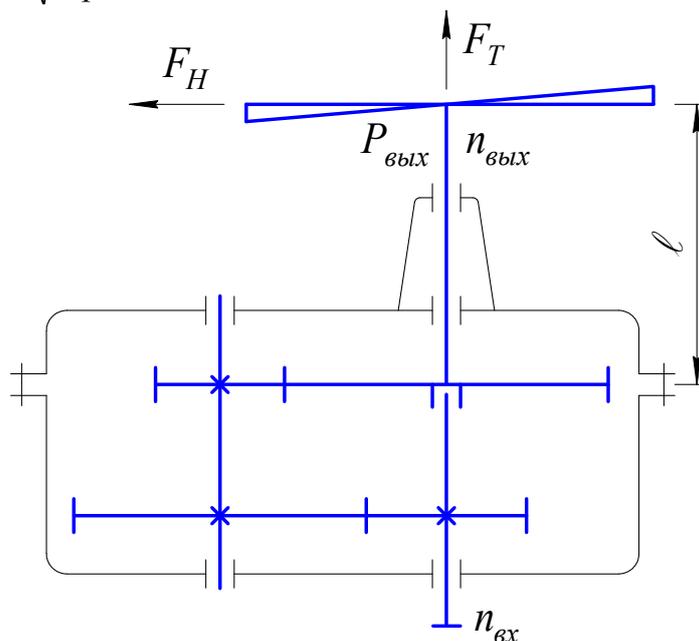


Рис. 2. Схема соосного цилиндрического редуктора

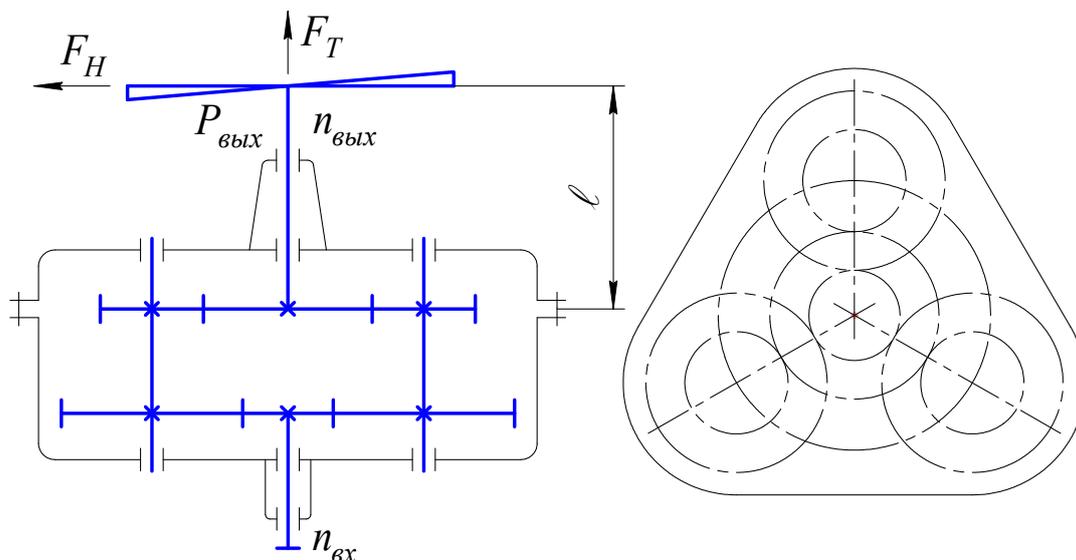


Рис. 3. Схема соосного многопоточного цилиндрического редуктора

– для двухступенчатой цилиндрической передачи, выполненной по соосной схеме, с тихоходной ступенью внутреннего зацепления (рис. 4)

$$u_6 = (0,8 \dots 0,9) \sqrt{u_{ред}} ;$$

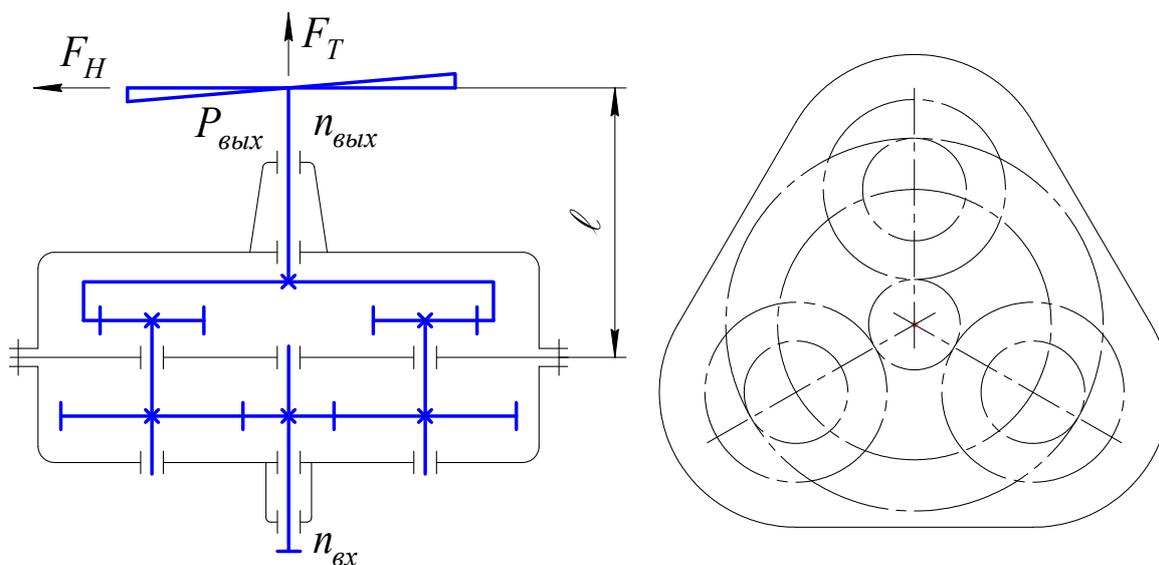


Рис. 4. Схема соосного многопоточного цилиндрического редуктора

Необходимо учесть, что в трехпоточных цилиндрических передачах внутреннего зацепления (рис. 4) из условия незадевания зубьев шестерен минимальное значение передаточного отношения

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

– для двухступенчатой коническо-цилиндрической передачи (рис. 5)

$$u_6 \cong 0,9\sqrt{u_{ред}}.$$

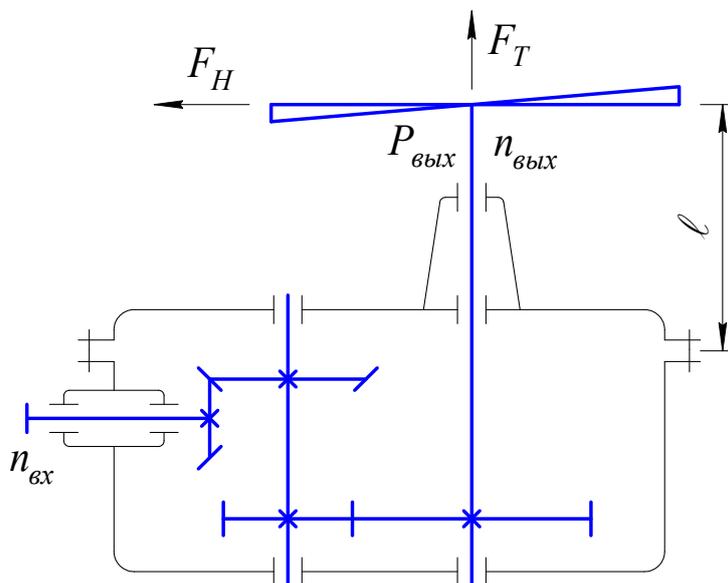


Рис. 5. Схема коническо-цилиндрического редуктора

Передаточное отношение тихоходной ступени

$$u_T = \frac{u_{ред}}{u_6}.$$

В приведенных формулах для двухступенчатых редукторов:

$$u_6 = u_1; \quad u_T = u_2.$$

В трехступенчатых коническо-цилиндрических редукторах для использования вышеприведенных формул необходимо задаться передаточным отношением одной из ступеней (быстроходной или тихоходной), используя приведенные выше рекомендации.

Разбивку передаточного отношения между оставшимися ступенями выполняем по приведенным выше формулам.

В цилиндрическо-планетарных (рис. 6) и коническо-планетарных (рис. 7, 8) редукторах разбивку передаточного отношения следует производить, задаваясь передаточным отношением цилиндрической (конической) или планетарной ступени.

При этом необходимо обеспечить выполнение приведенных выше ограничений передаточных отношений передач. Кроме того, следует учитывать, что по условиям минимума размеров оптимальными значениями передаточных отношений для цилиндрических и конических передач будет $u = 2$, для планетарных передач 2k-h типа А (рис. 9) – $u_{пл} = 4$.

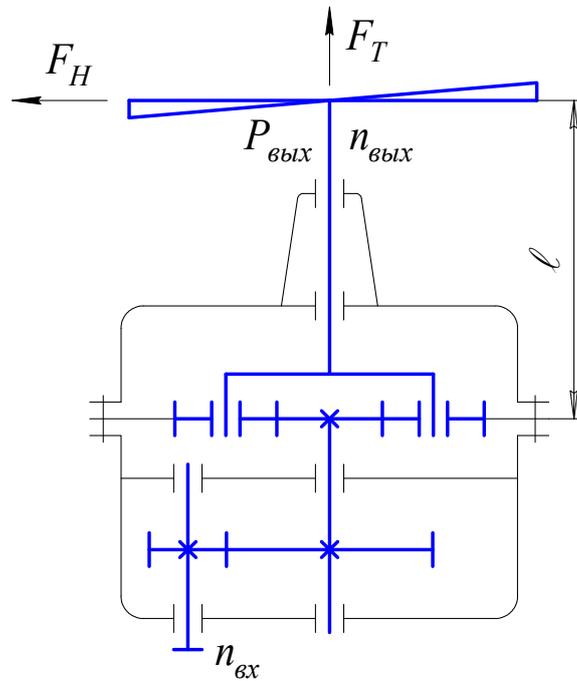


Рис. 6. Схема цилиндрическо-планетарного редуктора

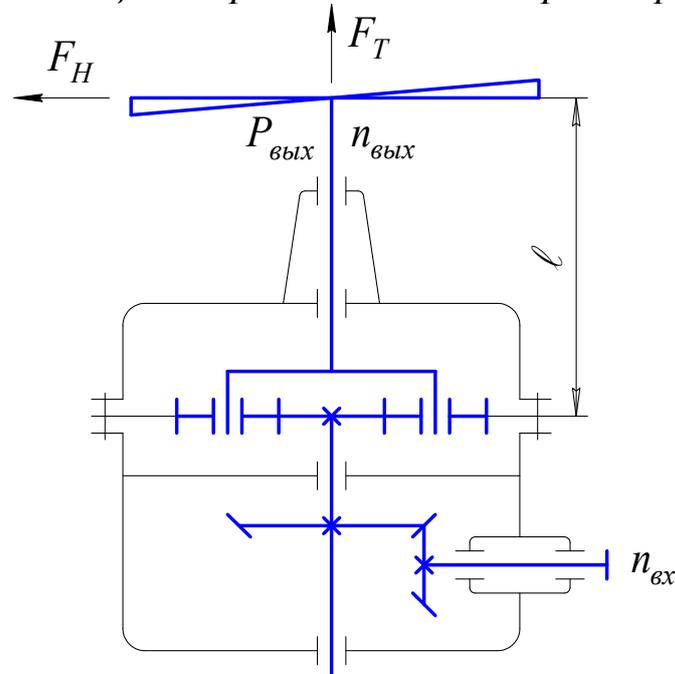


Рис. 7. Схема коническо-планетарного редуктора

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

$$u_{ag}^h = \frac{u_{пл} - 1}{2}.$$

Передаточное отношение от сателлита g к корончатому колесу b в обратном движении

$$u_{gb}^h = \frac{u_{пл} - 1}{u_{ag}^h}.$$

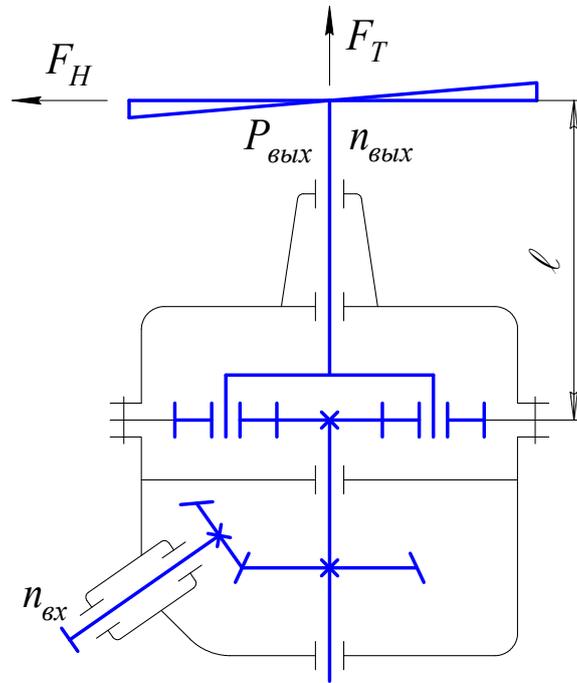


Рис. 8. Схема коническо-планетарного редуктора

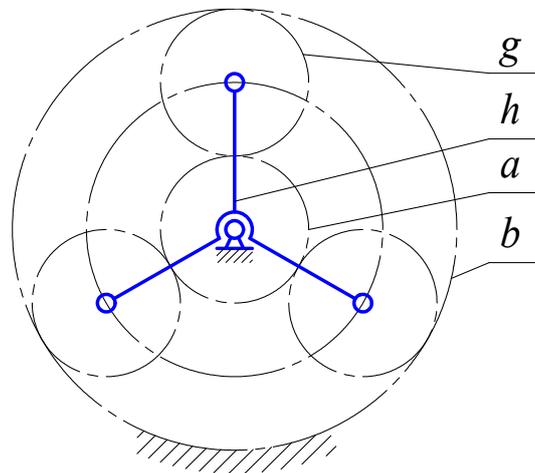


Рис. 9. Схема планетарной ступени $2k-h$ типа А

Общее передаточное отношение редуктора с отбором мощности на хвостовой винт определяется как

$$u_{ред} = u_1 u_2 .$$

В этом произведении не учитывается передаточное отношение вспомогательной передачи – конической ступени отбора мощности на хвостовой винт.

Передаточное отношение конической ступени отбора мощности на хвостовой винт определяется по формуле (рис. 10, 11)

$$u_{кон} = \frac{n_i}{n_{ХВ}},$$

где n_i – частота вращения вала, с которого осуществляется отбор мощности на хвостовой винт; $n_{ХВ}$ – частота вращения вала, передающего мощность на промежуточный редуктор вертолета.

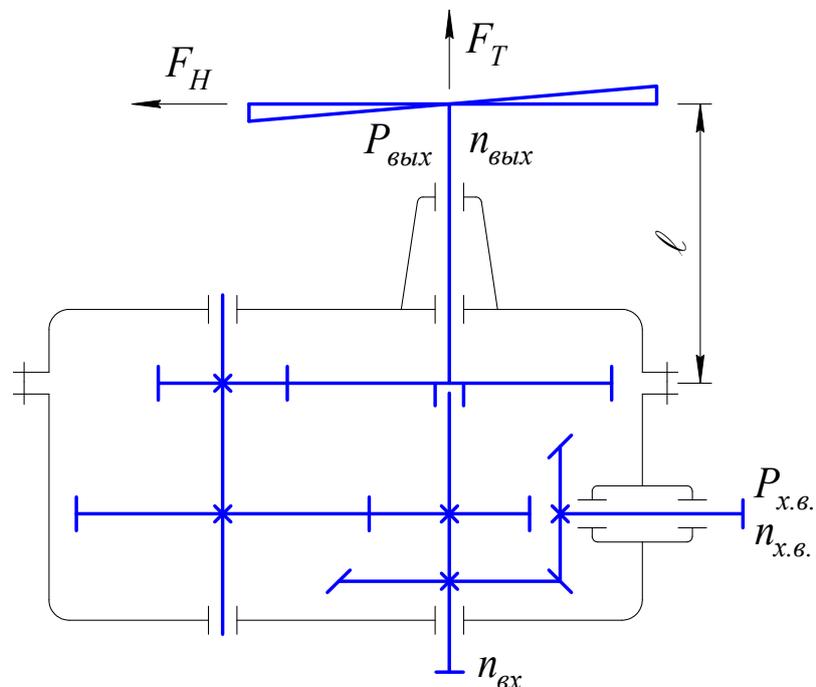


Рис. 10. Схема редуктора с отбором мощности на хвостовой винт

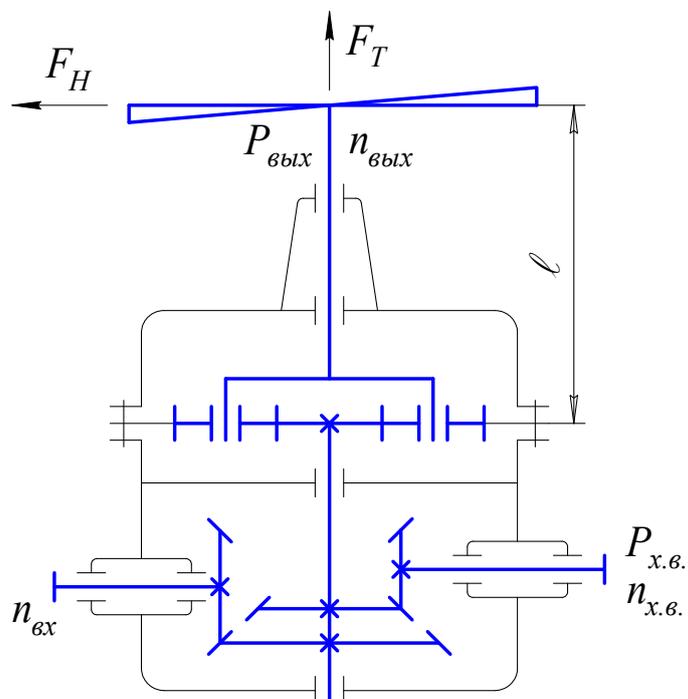


Рис. 11. Схема редуктора с отбором мощности на хвостовой винт

В раздаточных редукторах системы управления самолетом (рис. 12, 13) разбивку передаточного отношения следует производить, задаваясь передаточным отношением быстроходной ступени. Тихоходная коническая ступень предназначена для изменения направления оси вращения ступени.

Передаточное отношение второй ступени

$$u_2 = \frac{u_{\text{ред}}}{u_1}.$$

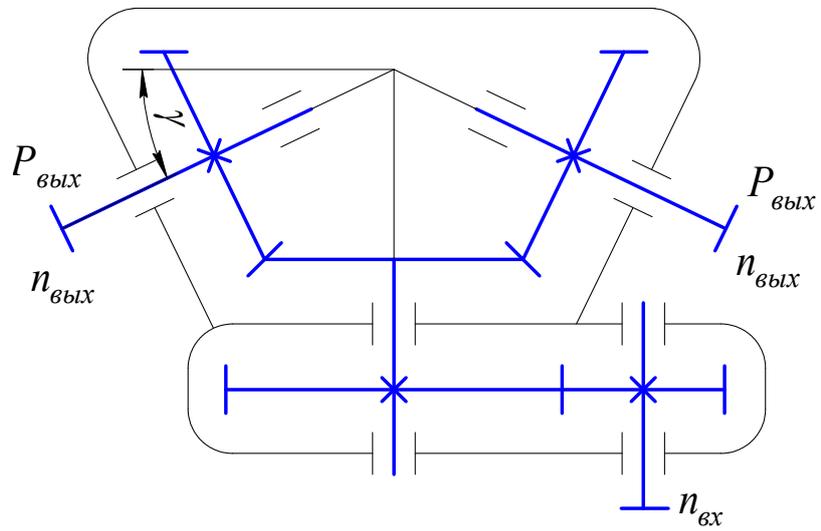


Рис. 12. Схема раздаточного редуктора

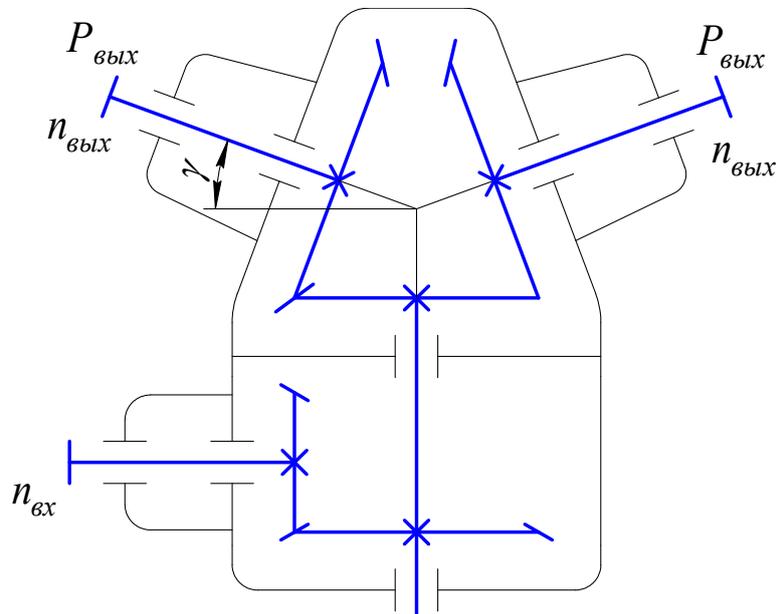


Рис. 13. Схема раздаточного редуктора

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 выходного вала 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 частотам вращения соответствующих валов.

Частоты вращения в обратном движении определяются по формулам:

$$n_a^h = n_a - n_h \quad \text{— для солнечного колеса «a»};$$
$$n_g^h = \frac{n_a^h}{u_{ag}^h} \quad \text{— для сателлита «g»};$$
$$n_b^h = n_h \quad \text{— для корончатого колеса «b»}.$$

3. Ориентировочные значения КПД

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

Для цилиндрических передач 5-й степени точности

$$\eta_{ц} = 0,990...0,995.$$

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

цилиндрических – $\eta_{ц} = 0,98...0,99$;

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

КПД планетарной передачи 2k-h типа А определяется по формуле

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

КПД редуктора в целом определяется произведением

$$\eta_{\text{ред}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3.$$

Здесь η_1 , η_2 и η_3 – значения КПД отдельных ступеней редуктора.

4. Определение мощностей на валах редуктора

В соответствии с принятыми ранее обозначениями имеем

$$P_i = P_{\text{ВЫХ}}.$$

Здесь i – номер выходного вала. Тогда на всех валах редуктора мощности с учетом потерь на трение будут определяться по формулам:

$$P_{i-1} = \frac{P_i}{\eta_{i-1}}; \quad P_{i-2} = \frac{P_{i-1}}{\eta_{i-2}} \quad \text{и т. д.}$$

Мощность на входном валу определяется отношением:

$$P_{\text{ВХ}} = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{\eta_{\text{ред}}}.$$

В редукторе вертолета с отбором мощности на хвостовой винт найдем (рис. 10, 11):

мощность на выходном валу $P_3 = P_{\text{ВЫХ}},$

мощность на втором валу $P_2 = \frac{P_3}{\eta_2},$

мощность на входном валу $P_1 = \frac{P_2}{\eta_1} + \frac{P_{\text{Х.В.}}}{\eta_{\text{к}}}.$

Мощность на входном валу определяется отношением:

$$P_{\text{ВХ}} = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{\eta_{\text{ред}}} + \frac{P_{\text{ХВ}}}{\eta_{\text{к}}}$$

В раздаточном редукторе системы управления самолетом (рис. 12, 13) найдем:

мощность на выходном валу $P_3 = P_{\text{ВЫХ}},$

мощность на втором валу $P_2 = \frac{2P_3}{\eta_2},$

мощность на входном валу $P_1 = \frac{P_2}{\eta_1}.$

Мощность на входном валу определяется отношением:

$$P_{\text{ВХ}} = \frac{2P_{\text{ВЫХ}}}{\eta_{\text{ред}}}.$$

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

$$P_i = \frac{P_{i+1} k_{\text{нер}}}{M \eta_i}.$$

где P_{i+1} – мощность на последующем валу, кВт;

P_i – мощность на валу, кВт; η_i – КПД ступени.

При этом коэффициент неравномерности ориентировочно можно принять $k_{\text{нер}} = 1,05$ – при наличии самоустанавливающихся колёс, 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

$$P_{i-1} = \frac{P_i M}{k_{\text{нер}} \eta_{i-1}}.$$

В соосном многопоточном цилиндрическом редукторе (рис. 3, 4) найдем:

мощность на выходном валу $P_3 = P_{\text{вых}},$

мощность на втором валу $P_2 = \frac{P_3 k_{\text{нер}}}{M \eta_2},$

мощность на входном валу $P_1 = \frac{P_2 M}{k_{\text{нер}} \eta_1}.$

Мощность на входном валу определяется отношением:

$$P_{\text{вх}} = \frac{2P_{\text{вых}}}{\eta_{\text{ред}}}.$$

5. Определение моментов на валах редуктора

Определение крутящих моментов на всех валах редуктора производится по формуле

$$T = 9,55 \cdot 10^6 \frac{P}{n}.$$

В этой формуле момент имеет размерность Н·мм, мощность – кВт, частота вращения – об/мин.

В планетарной передаче 2k-h типа А (рис. 9) крутящий момент на солнечном колесе равен моменту на валу этого колеса

$$T_a = T_i.$$

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

$$T_{ag} = \frac{T_a k_{\text{нер}}}{a_c},$$

где $k_{\text{нер}}$ – коэффициент неравномерности.

При этом число спутников определяется условиями соседства из выражения

$$a_c \leq \frac{0,9\pi}{\arcsin \frac{u_{\text{пл}} - 2}{u_{\text{пл}}}}.$$

Коэффициент неравномерности распределения нагрузки между спутниками определяется ориентировочно по таблице.

Таблица. Коэффициенты неравномерности распределения нагрузки между спутниками планетарной передачи

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

На рис. 14 показан вариант плавающего центрального (солнечного) колеса. На входной вал 1 планетарной ступени (второй вал редуктора) при помощи эвольвентных шлицов 3 насажено центральное колесо 2. Фиксируют осевое положение солнечного колеса стопорное кольцо 4, оно дает некоторую свободу колесу и позволяют ему самоустанавливаться.

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

$$T_{gb} = T_{ag} u_{ag}^h.$$

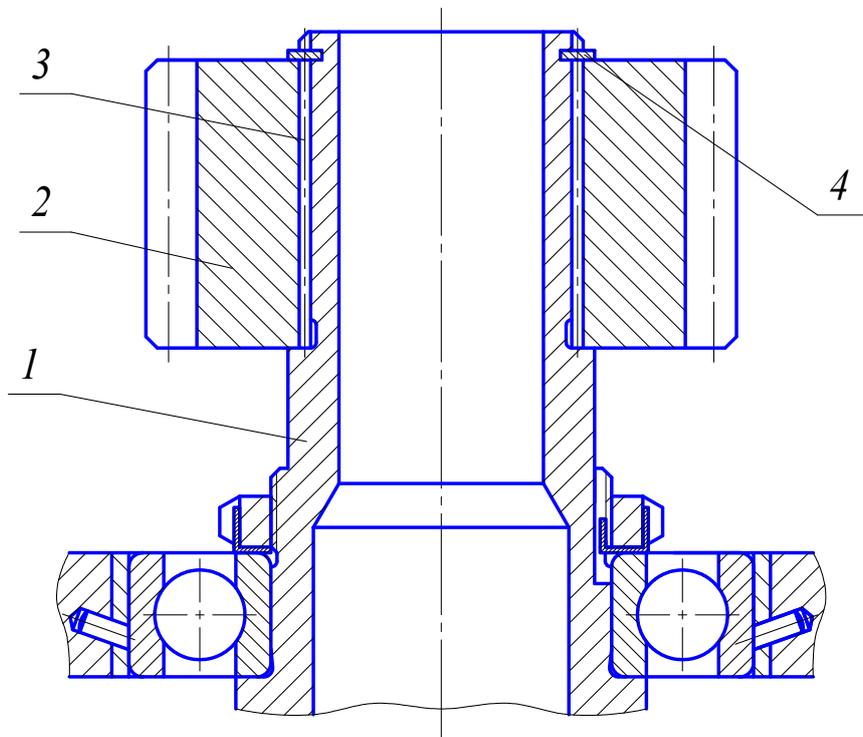


Рис. 14. Схема установки центрального колеса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационный турбовинтовой двигатель НК-12 МВ [текст]: техническое описание. – М.: Машиностроение, 1966. – 296 с.
2. Авиационные зубчатые передачи и редукторы [текст]: справочник / В.И. Алексеев [и др.]; под ред. Э.Б. Вулгакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 376 с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [текст]: В 3 т. – М.: Машиностроение, – 1982. Т. 1. 728 с.; Т. 2. 559 с; Т. 3. 557 с.
4. Атлас конструкций турбовинтовых и турбовальных ГТД [чертежи общих видов]. – М.: Машиностроение, 1975. – 25 с.
5. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин [текст]: учеб. пособие для машиностроительных вузов. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2007. – 560 с.
6. Кестельман В.Н., Федоров А.В. Механизмы управления самолетов [текст]. – М.: Машиностроение, 1987. – 184 с.
7. Кудрявцев В.Н. Детали машин [текст]: учебник. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с.
8. Курсовое проектирование деталей машин [текст]: учеб. пособие /В.Н. Кудрявцев, Ю.А. Державец, И.И. Арефьев и др. – Л.: Машиностроение. 1984. – 400 с.
9. Механические передачи вертолетов [текст]/ Л.Б. Бушмарин, П.П. Дементьев Г.И. Иоффе и др.; Под ред. В.Н. Кестельмана. – М.: Машиностроение, 1983. – 120 с.
10. Никитин Ю.М. Конструирование элементов деталей машин и узлов авиадвигателей [текст]. – М.: Машиностроение, 1968. – 332 с.
11. Орлов П.И. Основы конструирования [текст]: справочно-методическое пособие: В 3 т. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 1. 560 с; Кн. 2. 574 с.
12. Планетарные передачи [текст]: справочник / В.Н. Кудрявцев, Ю.И. Кирдяшев, Е.Г. Гинзбург и др. – Л.: Машиностроение, 1977. 535 с.
13. Подшипники качения [текст]: справочник-каталог / Под ред. В.Н. Нарышкина и Р.В. Коросташевского. М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
14. Проектирование механических передач [текст]: учеб.-справ. пособие для вузов/ С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев

и др. 5-изд. – М.: Машиностроение, 1984. – 560 с.

15. Скубаческий Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей [текст]. – М.: Машиностроение, 1981. – 550 с.
16. Слюдииков М.Н. Механизмы приводов систем управления летательными аппаратами [текст]. – М.: Машиностроение, 1975. – 383 с.
17. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин [текст]: учеб. пособие для техникумов. – М.: Высш. шк., 1991. – 432 с.
18. Курсовое проектирование по деталям машин для авиационных специальностей [текст]: метод. указания / сост. Е.П. Жильников, М.И. Курушин, А.М. Циприн. – Куйбышев: КуАИ, 1990. – 19 с.
19. Кинематические схемы авиационных приводов [текст]: метод. указания / сост. Б.М. Силаев, Е.П. Жильников, М.И. Курушин. – Самара: СГАУ, 2008. – 46 с.
20. Силаев Б.М. Расчет и конструирование деталей авиационных механических передач [текст]: учебно – справочное пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 150 с.
21. Кинематический и энергетический расчет авиационных редукторов [текст]: метод. указания / сост. Е.П. Жильников, В.П. Тукмаков – Самара: СГАУ, 2008. – 24 с.
22. Расчет на прочность цилиндрической зубчатой передачи на ЭВМ [текст]: метод. указания / сост. Е.П. Жильников, А.Н. Тихонов – Самара: СГАУ, 1996. – 24 с.
23. Расчет на прочность конической зубчатой передачи на ЭВМ [текст]: метод. указания / сост. Е.П. Жильников, А.Н. Тихонов, С.И. Шубин. – Самара: СГАУ, 1993. – 22 с.
24. Расчет на прочность планетарных передач на ЭВМ [текст]: метод. указания / сост. Е.П. Жильников, А.М. Циприн, А.Н. Тихонов; Самара: СГАУ, 1993. – 20 с.
25. Расчет на прочность червячной передачи с использованием ЭВМ [текст]: метод. указания / сост. Е.П. Жильников, А.М. Циприн, С.И. Шубин. – Самара: СГАУ, 1992. – 20 с.
26. Расчёт и проектирование валов, осей и опор качения авиационных редукторов [текст]: пособие по расчету на прочность / сост. В.Б. Балякин, Е.П. Жильников. – Самар.гос. аэрокосм.ун-т. Самара: Издательство СГАУ, 2007. – 72 с.

27. Расчет болтов крепления редуктора вертолета к раме [текст]: метод. указания / сост. Е.П. Жильников, А.С. Калинина, С.И. Шубин; Куйбышев: КуАИ, 1987. – 20 с.
28. Стандарт предприятия СТП СГАУ 6.1.4–07. Общие требования к оформлению учебных текстовых документов [текст]. – Самара: СГАУ, 2007. – 34 с.
29. Оформление рабочих чертежей при курсовом проектировании [текст]: метод. указания / сост. В.Б. Балякин, В.Н. Васин, А.Н. Тихонов. – Самара: СГАУ, 2004. – 40 с.
30. Атлас конструкций прототипов механических передач вертолетов и самолетов [чертежи] / сост. Б.М. Силаев, Е.П. Жильников, В.Б. Балякин, М.А. Мальтеев. – Самара: СГАУ, 2007. – 28 с.
31. Кинематические схемы одноступенчатых авиационных приводов [схемы]: Сбор. заданий для курсового проектирования / сост. Б.М. Силаев, М.И. Курушин, М.А. Мальтеев. – Самара: СГАУ, 2006. – 40 с.

Учебное издание

Жильников Евгений Петрович,
Силаев Борис Михайлович,
Тукмаков Владимир Петрович

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПО ДЕТАЛЯМ МАШИН
ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
Методические указания

Редактор Ю.Н. Литвинова
Компьютерная верстка В.П. Тукмаков

Подписано в печать 10.11.08. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2,0 Усл. кр.-отт. 2, Уч.-изд. л. 2,
Тираж 100 экз. Заказ Арт. С-14/2006.

Самарский государственный аэрокосмический университет
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета
443086 Самара, Московское шоссе, 34.