

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА  
(национальный исследовательский университет)»

**СБОРКА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ  
В КОРОБКЕ ПРИВОДОВ АГРЕГАТОВ**

Электронное методическое пособие

САМАРА  
2010

**Составители:** СМИРНОВ Геннадий Владиславович  
ДМИТРИЕВ Валерий Николаевич

В методических указаниях рассмотрены теоретические основы обеспечения качества сборки зубчатых передач при производстве ДЛА, а также приведена методика проведения экспериментов и обработки результатов исследований.

Подробно рассмотрены приемы практической реализации методов обеспечения сборочных параметров, назначаемых конструктором.

Пособие предназначено для углубленного изучения курса технологии сборки студентами, обучающимися по технологической специализации. Оно может быть использовано инженерно-техническими работниками предприятий, проходящими обучение на ФПК и магистерской программы «Энергетика, экология и двигательные установки ракетных и космических систем» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов».

Разработано на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

**© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010**

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	4
2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	10
3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА...	11
3.1. КОНСТРУКЦИЯ КОРОБКИ ПРИВОДОВ АГРЕГАТОВ.....	11
3.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ НА СБОРКУ КОРОБКИ ПРИВО- ДОВ.....	15
4. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	16
5. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬ- НОЙ РАБОТЫ.....	17
6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ.....	18
7. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТ- КИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	19

## 1. Общие положения

Зубчатые передачи в двигателях летательных аппаратов, как в ЖРД, так и в ГТД, получили достаточно широкое распространение. Надежность и долговечность работы зубчатых передач в большой мере зависит от точности изготовления деталей передачи и точности сборки, так как наличие погрешностей изготовления деталей и сборки вызывает динамические нагрузки, шум, вибрации, нагрев, концентрацию напряжений на отдельных участках зубьев, а также несогласованность углов поворота ведущего и ведомого звеньев.

Качество работы зубчатой передачи достигается путем обеспечения при сборке следующих характеристик точности: кинематической точности, плавности работы, полноты контакта зубьев и бокового зазора в передаче. В настоящее время нормы точности регламентируются ГОСТ 1643-81 для цилиндрических передач и ГОСТ 1758-81 для конических и гипоидных передач. В этих ГОСТах предусмотрено 12 степеней точности и 6 видов сопряжений по боковому зазору. Для каждой степени точности установлены комплексные показатели точности для собранных зубчатых передач и поэлементные показатели для зубчатых колес, корпусов и других деталей.

Выбор степени точности передачи и вида сопряжения (по боковому зазору) производится конструктором на основе конкретных условий работы передачи и тех требований, которые к ней предъявляются (окружной скорости, передаваемой мощности, режима работы, требований к кинематической точности плавности и бесшумности работы, долговечности и т. д.). Так, например, кинематическая точность является основным требованием для делительных передач, а также планетарных передач с несколькими сателлитами. Плавность работы – основное требование для высокоскоростных передач. Полнота контакта зубьев имеет наибольшее значение для тяжело нагруженных тихоходных передач.

Следует также учитывать, что обеспечение того или иного показателя точности зависит от различных технологических факторов, отлаженности производства и т. п. Так, конструктор может в отдельных случаях не назначать контроль отдельных комплексных показателей точности передачи, если точность зубчатых колес по элементным по-

казателям для норм кинематической точности, плавности работы и так далее соответствует требованиям стандартов.

Для зубчатых передач двигателей летательных аппаратов, в качестве контролируемых часто назначают следующие комплексные показатели: боковой зазор в зацеплении, относительные размеры суммарного пятна контакта зубьев колес, а в некоторых быстроходных передачах, где особое значение имеет плавность вращения, вводится контроль разности шагов зацепления для пары колес. В качестве дополнительных параметров может быть назначен контроль радиального и торцового биения зубчатого венца.

*Боковой зазор передачи  $j_n$*  (рис. 1) – это наименьшее расстояние между профильными поверхностями двух соседних зубьев колес в передаче, обеспечивающее свободный поворот одного колеса при неподвижном втором колесе. По ГОСТ гарантированный боковой зазор в передаче достигается за счет уменьшения толщины зуба каждого колеса на соответствующую величину.

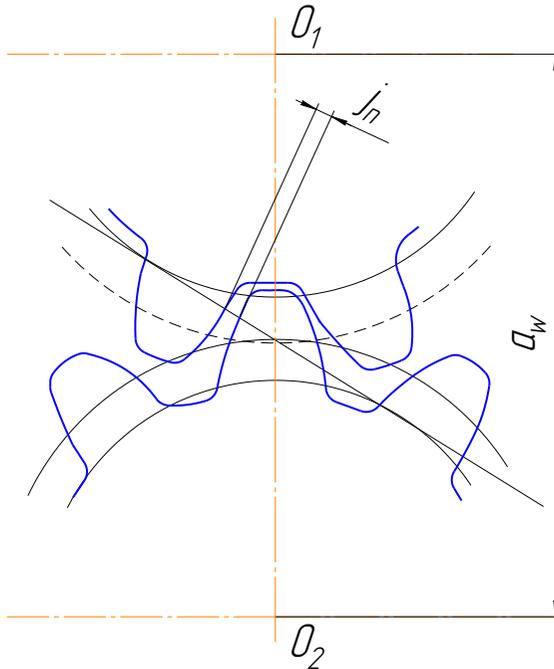


Рис. 1. Схема образования бокового зазора в зацеплении зубчатых колес

В цилиндрических зубчатых передачах ДЛА межцентровое расстояние  $a_w$  при сборке обычно не изменяется. Поэтому корректировка бокового зазора может быть произведена за счет замены одного или пары колес, имеющих различную толщину зубьев в пределах установленных допусков. Следует отметить, что на колебание бокового зазора (за один оборот колеса) большое влияние может оказать радиальное биение зубчатого венца.

В конических зубчатых передачах корректировка величины бокового зазора может быть достигнута за счет перемещения зубчатых колес в осевом направлении. С этой целью в конструкции передачи предусматриваются компенсаторы в виде шайб, колец, прокладок и т.п., размещаемых по варианту 1 и 2 (рис.2). Функциональная связь между изменением величины бокового зазора  $\Delta j_{\text{п}}$  передачи и осевым перемещением  $\Delta B$  одного из колес выражается следующим образом:

$$\Delta j_{\text{п}} = \Delta B \cdot 2 \sin \alpha \cdot \sin \delta, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол зацепления,

$\delta$  – угол начального конуса перемещаемого колеса.

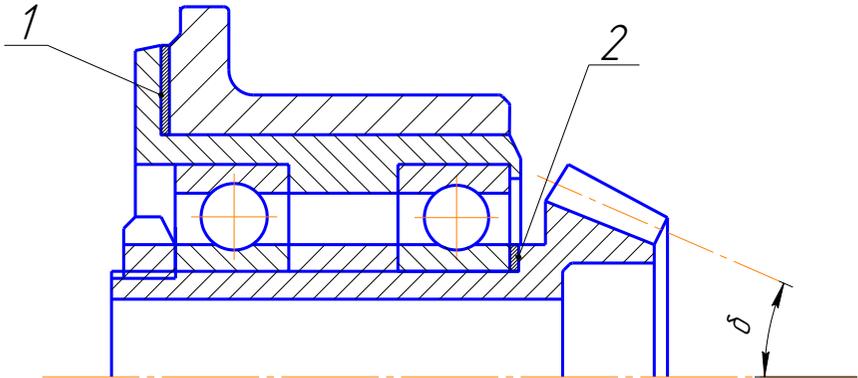


Рис. 2. Примеры расположения компенсаторов для обеспечения бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес

Необходимо иметь в виду, что при взаимном осевом перемещении конических зубчатых колес вместе с боковым зазором изменяются размеры и расположение суммарного пятна контакта в зацеплении зубьев. Это обстоятельство нужно учитывать при выборе колеса, подлежащего осевому смещению.

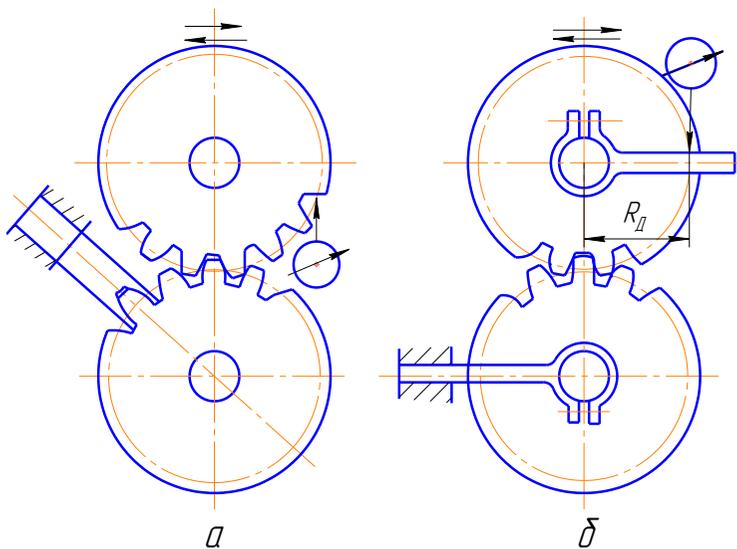


Рис. 3. Схема контроля бокового зазора в зацеплении зубчатых колес

Боковой зазор измеряют на расстоянии от оси вращения, равном радиусу делительной окружности колеса. Измерение производят либо с помощью пластин наборного щупа, либо при помощи индикаторных часов. При открытом доступе к зубьям колес ножка индикаторных часов прижимается непосредственно к зубу колеса (рис. 3 а). Другое колесо закрепляется неподвижно. Покачивая свободное колесо, измеряют с помощью индикаторных часов боковой зазор. Если доступ к зубу закрыт, применяются специальные приспособления – поводки, закрепляемые на валах зубчатых колес (рис. 3 б), или другие аналогичные приспособления. Для оценки величины бокового зазора в сопряжении других пар зубьев измерение производится не менее чем в четырех точках, равнорасположенных по окружности с поворотом зубчатых колес на  $90^\circ$ .

*Суммарное пятно контакта* – часть активной боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного колеса после вращения передачи под рабочей нагрузкой (или в соответствии со специальными требованиями по нагрузке). Относительные размеры пятна контакта (рис. 4 а, б) устанавливаются

в зависимости от степени точности передачи и при сборке определяются следующим образом: по длине  $(a - c)/b \times 100\%$ , по высоте  $h_m/h_p \times 100\%$ .

Контроль суммарного пятна контакта производят следующим образом: на поверхность зубьев колеса с меньшим числом зубьев  $z_1$  наносится тонкий слой специальной краски, после чего колесо поворачивается, а второе колесо  $z_2$  притормаживается; при полном обороте колеса  $z_2$  краска с колеса  $z_1$  переносится на поверхность всех зубьев колеса  $z_2$ , образуя на них отпечаток, который затем измеряют.

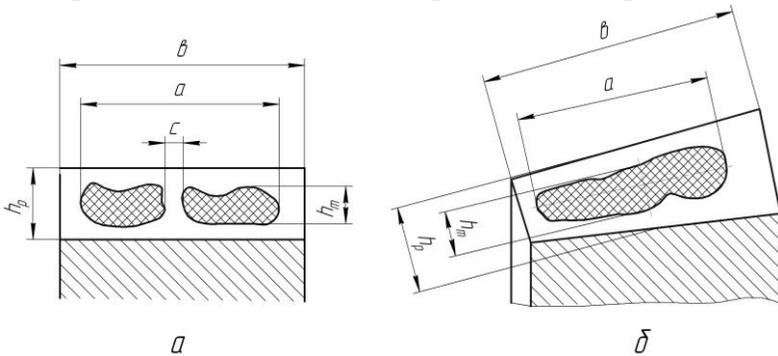


Рис. 4. Схема определения размеров суммарного пятна контакта

В отличие от цилиндрических зубчатых колес, где допустимое пятно контакта должно располагаться симметрично по длине зуба как при нагружении рабочей нагрузкой, так и при нагрузке меньше рабочей, в конических зубчатых передачах при нагрузке значительно меньше рабочей (легком торможении от руки) пятно контакта обычно располагается со смещением в сторону более тонкой части зуба. С учетом этого при деформации зуба под рабочей нагрузкой пятно контакта будет располагаться более равномерно по длине зуба. Образцы допустимых и недопустимых вариантов расположения суммарного пятна контакта конических зубчатых колес обычно указываются в конструкторской документации. На рис. 5 приведены примеры допустимых (рис. 5 а, б, в) и недопустимых (рис. 5 г, д, е) вариантов расположения суммарного пятна контакта. Расположение пятна контакта по варианту «г» не может быть исправлено при сборке без замены деталей. Расположение пятна контакта по варианту «д» (смещение пятна

ближе к ножке зуба) и по варианту «е» (смещение пятна ближе к головке зуба), хотя и является недопустимым, но могут быть исправлены изменением взаимного положения вершин начальных конусов для пары колес, т.е. размеров  $f_{AM1}$  и  $f_{AM2}$  (рис. 6).

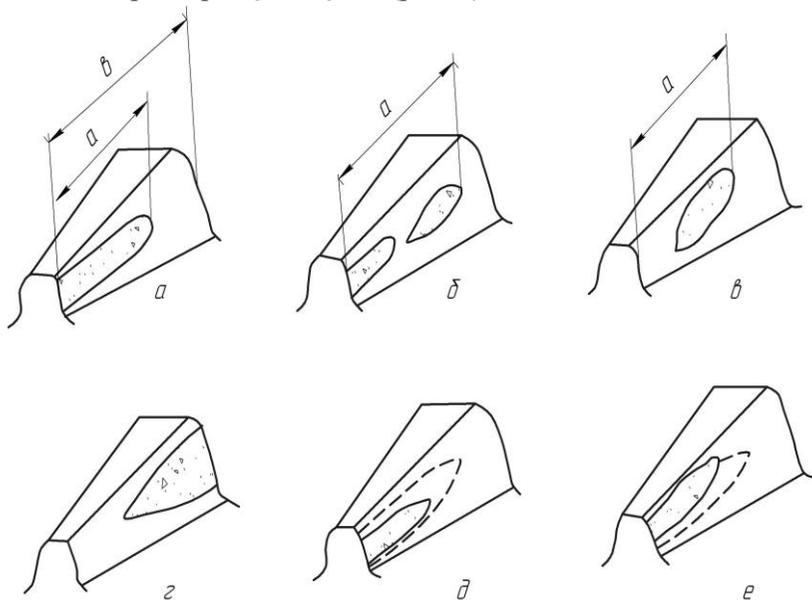


Рис. 5. Примеры допустимых (а, б, в) и недопустимых (г, д, е) вариантов расположения суммарного пятна контакта в зацеплении конических зубчатых колес

Так, контакт по варианту «д» может быть приведен к допустимому расположению либо смещением ведомого колеса в сторону точки пересечения вершин начальных конусов колес (что вызывает одновременно уменьшение бокового зазора), либо перемещением ведущего колеса по направлению от точки пересечения вершин начальных конусов (что вызывает одновременно увеличение бокового зазора). Для сохранения бокового зазора без изменения следует производить одновременное перемещение зубчатых колес пары.

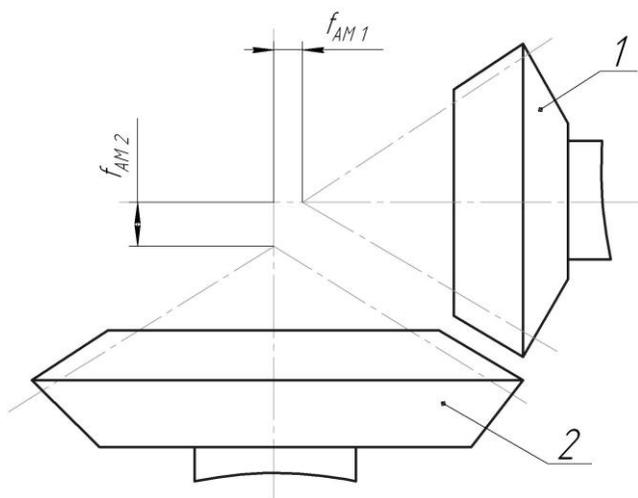


Рис. 6. Схема взаимного расположения вершин начальных конусов для конических зубчатых колес

Пятно контакта по варианту «е» может быть приведено к допустимому действиями, обратными по сравнению с предусмотренными для варианта «д» (то есть смещением ведомого колеса в сторону от точки пересечения вершин начальных конусов колес или перемещением ведущего колеса по направлению к точке пересечения вершин начальных конусов).

## 2. Цель и задачи лабораторного эксперимента

Целью лабораторного эксперимента является определение основных технологических характеристик сборки цилиндрических и конических зубчатых передач и практическое освоение процесса сборки передач. В соответствии с поставленной целью в эксперименте решаются следующие задачи:

- подтверждение на основе данных эксперимента основных теоретических зависимостей, имеющих место при сборке цилиндрических и конических зубчатых передач;
- привитие навыков в выборе методов контроля сборочных параметров и средств технологического оснащения.

### 3. Методика проведения лабораторного эксперимента

На основе ознакомления с конструкцией типовой сборочной единицы, включающей цилиндрические и конические зубчатые передачи, и изучения технических требований на сборку составляется последовательность сборки зубчатых передач, производится выбор соответствующих методов контроля сборочных параметров и методов достижения заданной точности сборки. Далее производится непосредственная сборка зубчатых передач с одновременным измерением сборочных параметров и выполнением работ по обеспечению заданной точности. По окончании сборки и обработки результатов подтверждаются основные теоретические положения и зависимости, а также проводится анализ погрешностей, влияющих на конкретный сборочный параметр.

#### 3.1. Конструкция коробки приводов агрегатов

Коробка приводов является редуктором для понижения частоты вращения приводов вспомогательных агрегатов, обслуживающих двигатель.

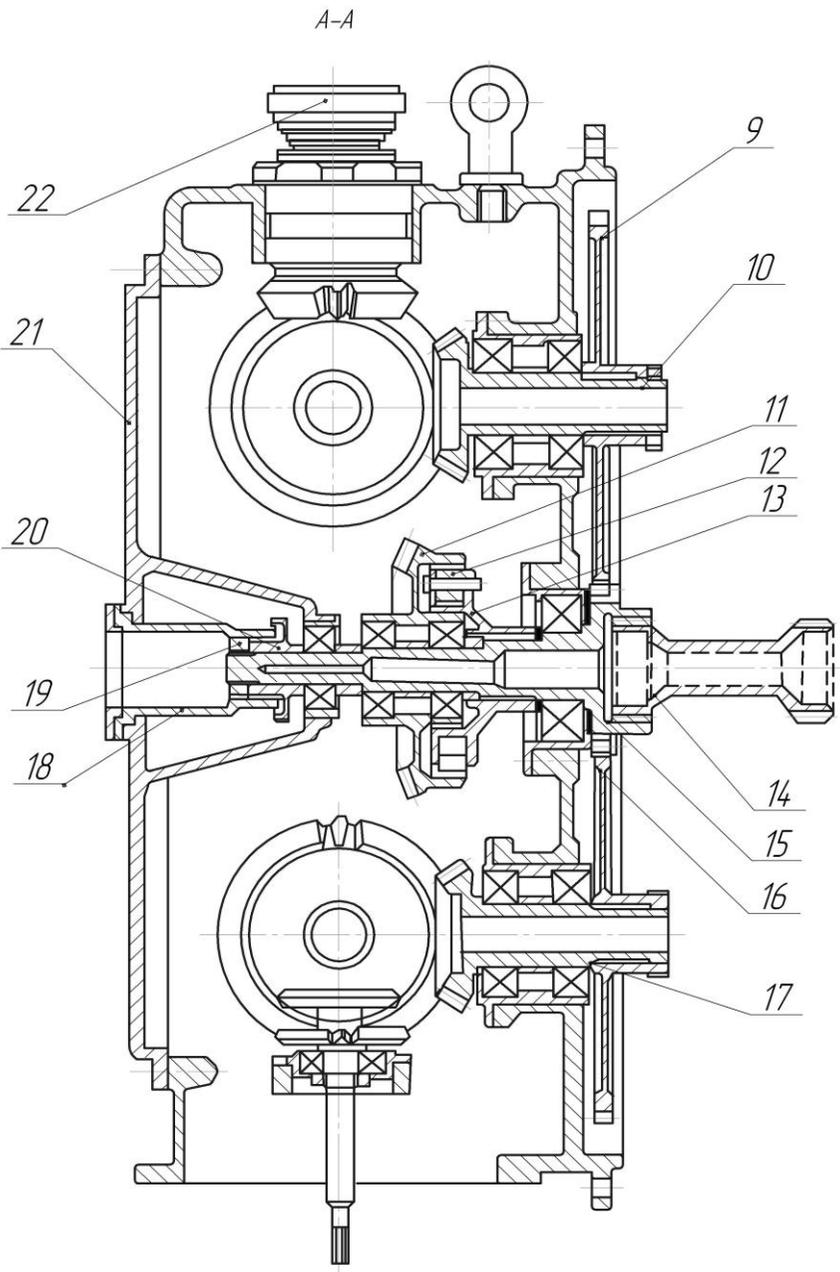
Корпус коробки 1 (рис. 7 а, б) представляет отливку из магниевого сплава. Внутри коробки приводов смонтированы конические зубчатые передачи, а снаружи корпуса имеются фланцы для установки и крепления вспомогательных агрегатов, получающих вращение от соответствующих зубчатых колес. К нижнему фланцу крепится на шпильках коробка масляных насосов. Вращение от ротора двигателя передается на ведущее цилиндрическое колесо 15 через промежуточную шлицевую рессору 14. Ведущее колесо вращается с частотой вращения ротора двигателя. В средней части валика ведущего цилиндрического колеса на двух шариковых подшипниках установлено свободно ведомое коническое колесо стартера 11. Это колесо находится в зацеплении с ведущим коническим колесом 5, передающим вращение от стартера, расположенного на фланце коробки приводов справа (если смотреть на коробку со стороны крышки 21).

Ведомое коническое колесо стартера имеет внутри храповой механизм 13, который связан с валиком ведущего цилиндрического колеса шлицами. Храповой механизм состоит из трех собачек 12 с пружина-

ми и служит для запуска двигателя от стартера и для отсоединения от последнего при работе двигателя.

Ведущее цилиндрическое колесо *15* находится в зацепления с двумя ведомыми цилиндрическими колесами *9* и *16*. Каждое из этих колес посажено на хвостовики ведущих конических колес *10* и *17*, расположенных внутри коробки. Верхнее ведущее коническое колесо *10* передает вращение колесу *2* привода верхнего топливного насоса, установленному на фланце коробки приводов слева. От колеса привода верхнего топливного насоса вращение передается на колесо *3* запасного привода *22* коробки.

Во внутренние шлицы конического колеса *2* верхнего топливного насоса вставлена рессора привода тахометра *4*. Фланец привода тахометра расположен на правой стороне коробки приводов. Нижнее ведущее коническое колесо *17* передает вращение колесу *2* привода нижнего топливного насоса, установленного также на фланце коробки приводов слева. В свою очередь, от конического колеса *2* привода нижнего топливного насоса вращение передается на колесо *7*, выполненное совместно с валиком привода маслоснабжения. Одновременно сдвоенное колесо *7* передает вращение колесу *8* ротора центрифуги, служащей для отделения воздуха от масла.



a

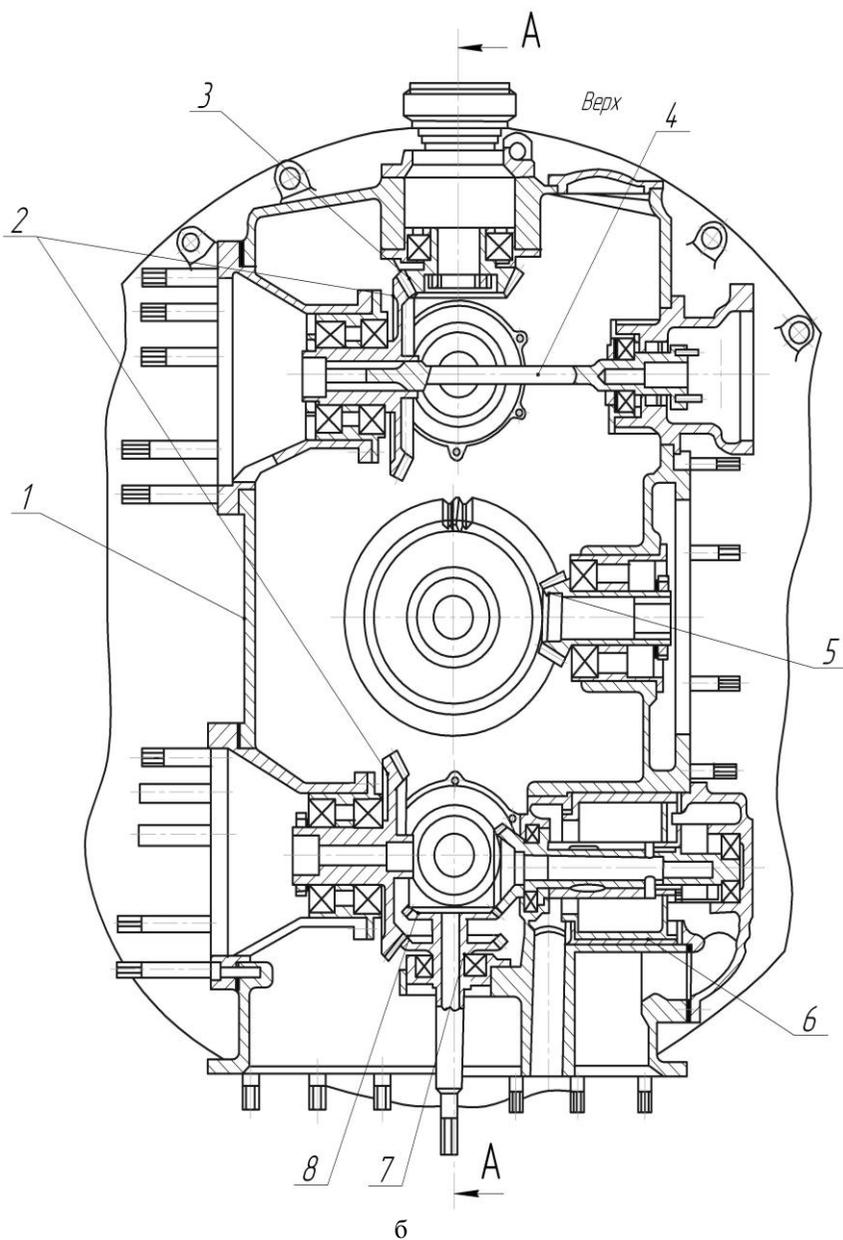


Рис. 7. Конструкция коробки приводов агрегатов

### 3.2. Технические требования на сборку коробки приводов

1. Боковой зазор в зацеплении цилиндрических зубчатых колес должен быть в пределах 0,2-0,35 мм. Обеспечить зазор заменой зубчатых колес.

2. Боковой зазор в зацеплении конических зубчатых колес должен быть в пределах 0,12-0,24 мм. Зазор обеспечить за счет изменения толщины регулировочных прокладок и колец, устанавливаемых в следующих местах: для пары зубчатых колес привода верхнего и нижнего топливных насосов – под торцом ведущего конического зубчатого колеса и под фланцем корпуса подшипников ведомого конического колеса; для пары конических колес привода стартера - под торцом ступицы храповой муфты для ведомого конического колеса и под фланцем стакана подшипников для ведущего конического колеса; для пары зубчатых колес привода маслонасоса - под фланцем корпуса подшипников для ведущего конического колеса и под фланцем стакана подшипника для ведомого конического колеса; для пары зубчатых колес привода ротора центрифуги - под фланцем стакана подшипника для ведущего конического колеса и под торцом ведомого конического колеса (рис.7 а, б).

3. Относительные размеры суммарного пятна контакта в зацеплении конических зубчатых колес по длине и высоте зуба должны быть не менее 70%. Расположение пятна контакта должно соответствовать рис. 5 (варианты а, б, в). При расположении пятна контакта по вариантам «д» и «е» (рис. 5 д, е) провести исправление за счет изменения взаимного расположения зубчатых колес в осевом направлении.

4. Осевой зазор  $A_{\Delta}$  (рис. 8) между торцом стакана 1 ротора центрифуги и торцом крышки 3 должен быть 0,2...0,4 мм. Обеспечить зазор за счет изменения толщины регулируемой прокладки 2 под торцом крышки.

5. Вращение зубчатых передач должно быть легким, плавным, без заедания и резкого шума.

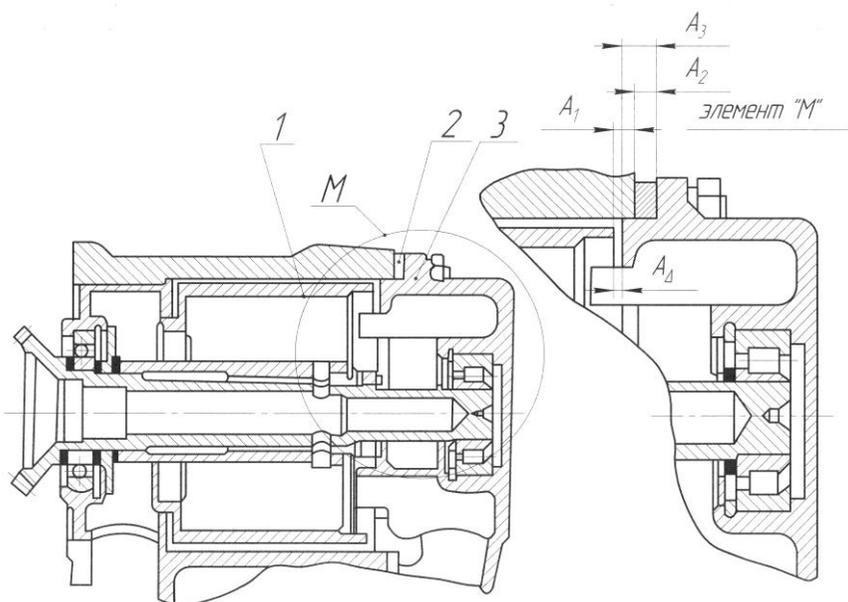


Рис. 8. Схема определения осевого зазора в центрифуге

#### 4. Проведение лабораторного эксперимента

Лабораторный эксперимент проводится в соответствии с операционными картами на разборку и сборку зубчатых передач. При этом используется технологическая оснастка, указанная в перечне. Полученные при эксперименте результаты измерений, методика расчета размера компенсаторов и другие данные заносятся в отчет.

К числу особенностей сборки коробки приводов можно отнести следующее. При установке крышки центрифуги на корпус коробки в соответствии с ТТ должен быть проконтролирован и обеспечен осевой зазор  $A_{\Delta}$  (рис. 8). Наличие этого зазора гарантирует отсутствие касания вращающейся детали о неподвижную деталь при работе узла. Необходимая толщина компенсатора (размер  $A_2$  регулировочной прокладки) рассчитывается по формуле:

$$A_2 = A_3 + A_{\Delta \text{ ср}} - A_1 \quad , \quad (2)$$

где размеры  $A_1$  и  $A_3$  определяются путем непосредственного измерения.

Сборка коробки заканчивается операцией установки и крепления крышки. Фланец крышки крепится с помощью 22 гаек. Для устранения перекосов и коробления крышки в процессе ее крепления затяжка гаек производится в соответствии со схемой на рис. 9 (позиции на рисунке показывают очередность затяжки).

Для механизации процесса затяжки используется гайковерт.

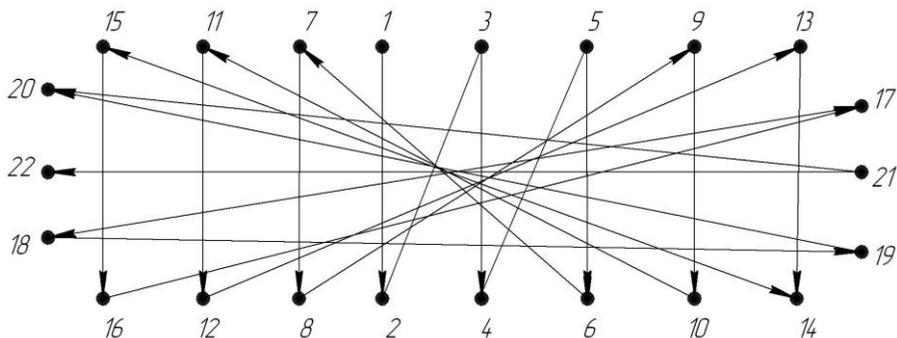


Рис. 9. Схема затяжки гаек крепления крышки

## 5. Составление отчета о выполнении экспериментальной работы

В отчете по лабораторному эксперименту должны быть указаны:

- величина бокового зазора в зацеплении цилиндрических и конических зубчатых колес;
- методика расчета величины компенсаторов для обеспечения величины бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес;
- схема и методика исправления суммарного пятна контакта в одной из пар конических зубчатых колес (по указанию преподавателя);
- схема и методика расчета толщины регулировочной прокладки под крышкой центрифуги;
- оценка влияния погрешностей изготовления зубчатых колес, корпуса и других деталей на величину бокового зазора и размеры суммарного пятна контакта для конкретной пары зубча-

тых колес. К числу основных погрешностей, включаемых для анализа, следует отнести следующие: отклонение межосевого расстояния  $E_a$ ; непараллельность рабочих осей зубчатых колес  $f_x$ ; перекося рабочих осей зубчатых колес  $f_y$ ; погрешность направления (перекося) зуба  $F_\beta$ ; погрешность профиля зуба  $f_f$ ; радиальное биение зубчатого венца  $F_r$ ; торцовое биение зубчатого венца  $F_T$ ; отклонение средней длины общей нормали  $E_\omega$ ; отклонение толщины зуба  $E_c$ ; колебание межосевого угла конической зубчатой передачи  $E_\Sigma$ ; осевое смещение зубчатого венца конического колеса  $f_{AM}$ .

## 6. Вопросы для самоконтроля

1. Какие характеристики точности регламентируются для зубчатых передач по ГОСТу?
2. Какие комплексные показатели точности назначаются при контроле зубчатых передач в процессе сборки?
3. Что такое боковой зазор? Какой способ достижения гарантированного бокового зазора рекомендуется по ГОСТу?
4. Какой применяется способ корректировки бокового зазора в цилиндрической передаче и конической зубчатой передаче?
5. Какие факторы включаются в функциональную зависимость между величиной бокового зазора в конической зубчатой передаче и осевым перемещением зубчатого колеса?
6. Какие способы применяются для контроля бокового зазора в зацеплении зубчатых колес?
7. Что такое суммарное пятно контакта зубьев в передаче? Каким образом нормируется суммарное пятно контакта по ГОСТу?
8. Какие существуют способы исправления расположения пятна контакта в конической зубчатой передаче, если пятно смещено к вершине или ножке зуба?
9. Каково назначение отдельных зубчатых передач в коробке приводов? Где эти передачи конструктивно размещены?
10. Какова номенклатура сборочных параметров, которые необходимо обеспечить при сборке коробки приводов?
11. Какова последовательность сборки зубчатых передач в коробке

приводов и чем обуславливается эта последовательность?

12. Какова методика контроля бокового зазора и применяемая технологическая оснастка при сборке зубчатых передач коробки приводов?

13. В каких местах размещаются регулировочные элементы для корректировки бокового зазора в конических зубчатых передачах коробки приводов?

14. Какие погрешности могут оказать непосредственное влияние на величину бокового зазора и размеры суммарного пятна контакта при сборке зубчатых передач коробки приводов?

15. Каковы методика контроля осевого зазора  $A_{\Delta}$  в центрифуге коробки приводов и способы обеспечения этого зазора?

## **7. Перечень технологического оборудования и оснастки для выполнения лабораторного эксперимента**

*Оборудование:* подставка поворотная для сборки коробки приводов.

*Приспособления:*

Л4-01 – съемник для выпрессовки ведомого конического зубчатого колеса стартера,

Л4-02 – съемник для выпрессовки привода ведущего конического зубчатого колеса стартера;

Л4-03 – приспособление для запрессовки ведомого конического зубчатого колеса стартера;

Л4-05 – приспособление для стопорения ведущего цилиндрического колеса;

Л4-06– приспособление для измерения бокового зазора в зацеплении цилиндрических зубчатых колес и конических зубчатых колес привода топливных насосов;

Л4-07 – приспособление для стопорения конического зубчатого колеса привода топливного насоса;

Л4-08 – съемник ударного типа для выпрессовки привода центрифуги,

Л4-09 – кронштейн с индикатором для измерения бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес стартера;

- Л4-10 – оправа цанговая для измерения бокового зазора в зацеплении конических зубчатых колес стартера;
- Л4-11 – рукоятка для вращения зубчатых передач коробки приводов;
- Л4-12 – оправа для запрессовки привода ведущего конического зубчатого колеса стартера;
- Л4-13 – оправа для запрессовки привода топливного насоса.

*Сборочный инструмент*

- Л4-14 – ключ специальный  $S=6 \times 6$  для винтов привода маслонасоса;
- Л4-15 – ключ специальный для гайки крепления роликоподшипника на центральном валике;
- пневмогайковерт;
- ключи плоские  $S = 9 \times 11$ ,  $S = 17 \times 19$ ,
- ключи торцовые  $S = 9$ ,  $S = 11$ ;
- оправа свинцовая,
- отвертка,
- молоток 500 г.

*Контрольно-измерительный инструмент:*

- индикаторные часы (с ценой деления 0,01 мм),
- индикаторные часы рычажные (с ценой деления 0,01 мм),
- микрометр 0 - 25мм,
- штангенциркуль;
- штангенглубиномер;
- щуп наборный;
- стойка для индикаторных часов.