

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Анализ методов сборки,  
обеспечивающих заданную точность**

Электронные методические указания  
к практической работе

САМАРА  
2012

УДК 629. 7. 017

Составитель: **Гареев Альберт Минеасхатович**

Рецензент: Козубенко Г. В., главный инженер-технолог ПТП  
«Самарагазэнергоремонт»

**Анализ методов сборки, обеспечивающих заданную точность**

[Электронный ресурс] : электрон. метод. указания к практ. работе / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. А. М. Гареев. - Электрон. текстовые и граф. дан. (0,4 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В методических указаниях приводятся примеры расчета погрешностей размерных цепей для различных вариантов сборки, рассмотрены варианты заданий, содержание и объем отчетов, необходимый справочный материал.

Методические указания предназначены для студентов факультета инженеров воздушного транспорта, обучающихся по направлению бакалавриата 162300.62 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» и изучающих дисциплину «Производство и ремонт летательных аппаратов и двигателей» в 8 семестре.

Разработаны на кафедре эксплуатации авиационной техники.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	4
2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ СБОРКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННУЮ ТОЧНОСТЬ.....	4
2.1 Точность сборки.....	5
2.2 Сборочные размерные цепи.....	7
2.3 Расчет линейных сборочных цепей.....	8
2.3.1 Расчет цепей по методу «минимум-максимум».....	9
2.3.2 Расчет цепей по методу «средних» размеров.....	10
2.4 Методы сборки, обеспечивающие заданную точность.....	11
2.4.1 Метод полной взаимозаменяемости.....	11
2.4.2 Метод частичной взаимозаменяемости.....	12
2.4.3 Метод компенсации.....	14
2.4.4 Метод доработки (метод приработки).....	16
2.4.5 Метод регулирования.....	16
2.5 Неоднородные сборочные погрешности.....	18
3 ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ .....	19
4 СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ .....	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	22
Приложения.....	23

## 1 ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Цель работы** – углубление и закрепление знаний студентов по разделу дисциплины «Производство и ремонт летательных аппаратов и двигателей», посвященному анализу методов сборки, обеспечивающих высокое качество выполнения ремонтных работ.

### **Порядок выполнения работы.**

В течении времени, отведенного на выполнение работы необходимо:

- ознакомиться с настоящими методическими указаниями;
- выполнить расчеты и провести анализ в соответствии с заданием;
- составить технический отчет и отчитаться преподавателю за выполненную расчетную работу.

## 2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ СБОРКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННУЮ ТОЧНОСТЬ

Технологический процесс сборки является завершающим и наиболее ответственным этапом производственного цикла изготовления или ремонта двигателей, как и многих других машин.

Эксплуатационные характеристики изделия, показатели надежности и экономичности в значительной степени определяются уровнем технологии сборки и ее качеством.

Процесс сборки характеризуется многообразием форм требований:

- разнообразие выходных параметров (геометрических, кинематических, весовых и др.;
- необходимость сохранения физических свойств материалов (деформации деталей, контактные напряжения, ползучесть и старение материалов и др.), что затрудняет расчеты и требует учета их при сборке;
- многообразие рабочих движений затрудняет автоматизацию сборочных работ.

В то же время трудоемкость сборки составляет в среднем 25 ... 35% от общей трудоемкости изготовления изделия.

По определению технологический процесс сборки представляет

собой процесс соединения взаимоориентируемых составных частей изделия, осуществляемый в определенной последовательности различными способами (свинчивание, запрессовка, сварка, пайка, клепка и т.п.). В соответствии с этим различают сборочные соединения: резьбовые, сварные, прессовые, подвижные с зазором, клепаные.

Значительное место в процессе общей сборки отводится подготовке к сборке: комплектация деталей и узлов на сборку, входной контроль параметров, дефектация, промывка и т.д.

Сборка узлов может осуществляться в отдельных цехах производящего завода (механосборочные цеха ротора компрессора, статора компрессора, камеры сгорания, шасси, центроплана, отъемной части крыла, оперения и др.).

Общая сборка ведется в специализированном сборочном цехе.

Сборочные единицы, собираемые независимо друг от друга на различных участках или цехах и участвующие в дальнейшей общей сборке как самостоятельное целое называют технологическими сборочными единицами. Это позволяет специализировать цехи и участки, рационально использовать оборудование и оснастку, квалификацию исполнителей.

С увеличением числа технологических сборочных единиц улучшается технологичность сборочных единиц, улучшается технологичность конструкции, упрощается производство, ремонт и техническое обслуживание в эксплуатации. Модульные схемы конструкции изделия закладываются при проектировании и считаются наиболее перспективными.

Важное место при сборке отводится выбору или назначению базовых поверхностей и базовых деталей.

## **2.1 Точность сборки**

Точность сборки есть степень соответствия действительных значений параметров, получаемых при сборке, значениям, заданным конструктором изделия и оговоренных в рабочих чертежах.

Каждый сборочный параметр задается не однозначно, а двумя допустимыми предельными значениями, разность которых представляет собой допустимую погрешность (допуск по этому параметру).

Например, конструктор в подвижном соединении деталей задал

диаметр сочленения  $\Phi 50 \frac{H_8}{d_8}$ . Это означает, что соединение выполнено в системе отверстия по 8 качеству точности. По таблицам допусков находим отклонения размеров вала и отверстия:

$$\Phi_{\text{ВАЛА}} = 50 \begin{matrix} -0,075 \\ -0,115 \end{matrix}; \quad \Phi_{\text{ОТВЕРСТИЯ}} = 50^{+0,05}.$$

Таким образом, сборочный параметр подвижного соединения – зазор

$\Delta$  – может быть выполнен технологом при изготовлении в пределах:

$$\Delta = 0,075 \dots 0,165.$$

При этом необходимо иметь ввиду, что в производстве надо обеспечить не только получение требуемой посадки (зазора) при сборке, но и возможность взаимозаменяемости (например, заменить в эксплуатации вал при сохранении детали типа «отверстие»). В этом случае на сборку должны поступать детали «вал» и «отверстие» не только обеспечивающие зазор (он может быть получен и индивидуальной подгонкой) но и выполненные с отклонениями размеров:

$$\Phi_{\text{ВАЛА}} = 49,925 \begin{matrix} -0,04 \\ -0,04 \end{matrix}; \quad \Phi_{\text{ОТВЕРСТИЯ}} = 50^{+0,05}$$

В данном примере имеется ввиду, что отклонение размеров (допуск) в технологических расчетах всегда назначается «в тело» детали, т.е. для вала берется максимальный размер, а для отверстия – минимальный размер и по ним исполнитель (производственный рабочий) ведет настройку станка, производственного оборудования. Допуск «в тело» для исполнителя является «запасом» для исправления возможных погрешностей обработки.

В рассмотренном примере требуемая величина зазора получается автоматически, не требуется дополнительных работ по подгонке, однако, имеется ввиду при этом, что на сборку поступают только «годные» детали, т.е. вал и отверстие поступают с указанными выше размерами и их отклонениями.

По этому принципу осуществляется сборка в крупномасштабном (массовом) производстве, построенному по принципу полной взаимозаменяемости, например в автомобилестроении.

Самолето- и двигателестроению присущи характеристики серийного и мелкосерийного производства, где принцип полной взаимозаменяемости экономически не всегда оправдан. В этом случае требуемая точность параметра сборки реализуется на основе расчета размерных цепей (расчета размеров деталей, входящих в сборку).

## 2.2 Сборочные размерные цепи

Сборной размерной цепью называется замкнутая цепь размеров, связывающих поверхности и оси деталей и координирующих их относительное положение в сборочной единице или изделии. Эти цепи могут быть линейными, плоскостными и пространственными.

Линейная размерная цепь строится для сборочных узлов, размеры деталей в которых лежат в одной плоскости и параллельны друг другу. В плоскостной размерной цепи направления размеров лежат в одной плоскости, но некоторые из них не параллельны.

В пространственной размерной цепи направления размеров собираемых деталей лежат в разных плоскостях под разными углами. Это наблюдается при сборке, например, картеров, имеющих сплошную пространственную конфигурацию.

Плоскостные и пространственные размерные цепи преобразуют в линейные методом «косинусов», при котором все размеры проектируются на направление одного размера с учетом углов взаимного расположения и их допусков. Все размеры, входящие в размерную цепь, называются составляющими звеньями. Одно из звеньев в цепи является замыкающим звеном. В качестве замыкающего звена сборочной (технологической) размерной цепи назначается свободный размер конструкторской размерной цепи. Это, как правило, зазор или натяг, назначенный конструктором из условий функционирования узла. Определение замыкающегося звена является исходным пунктом в построении сборочной размерной цепи. От этого звена проставляются размеры других звеньев. Для обозначения звеньев используются, как правило, буквы  $A_1, A_2, A_3 \dots A_i$ , замыкающее звено обозначается

обычно  $A_{\Delta}$  или  $A_{зам}$ .

Пример построения сборочной размерной цепи показана на рисунке 1.

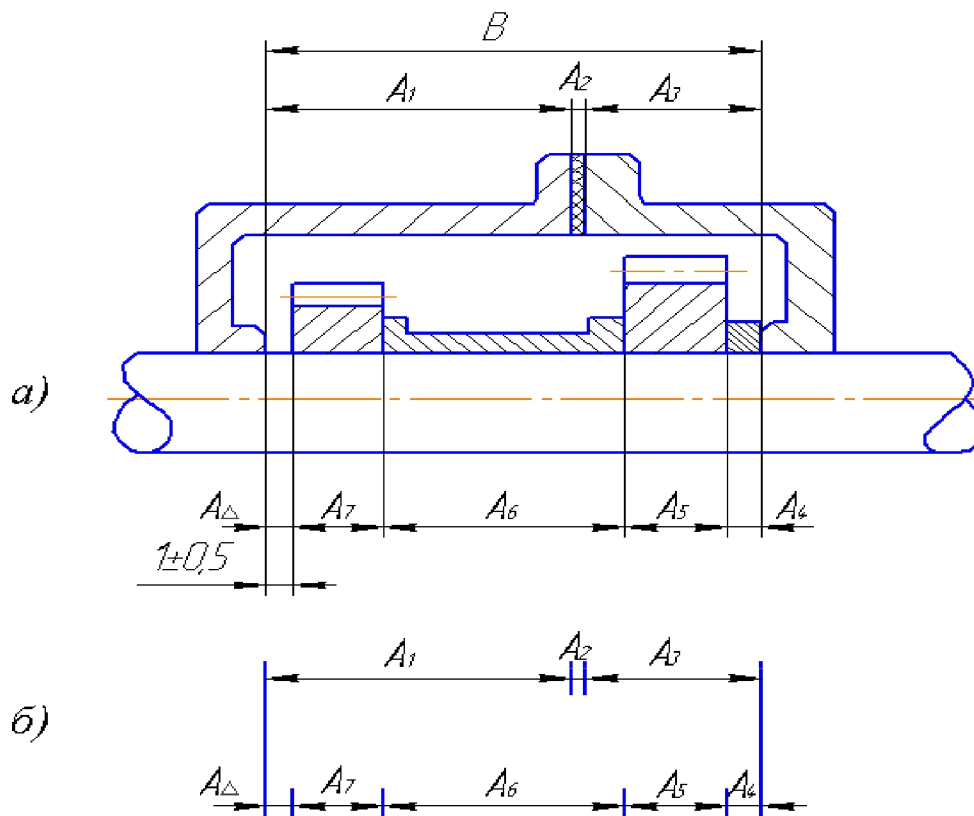


Рисунок 1 – Схема простановки размеров (а) и построения размерной цепи (б) сборочного узла

Звенья называются «увеличивающими» если они увеличивают размер замыкающего звена и, наоборот, «уменьшающими», если уменьшают размер замыкающего звена.

### 2.3 Расчет линейных сборочных цепей

Целью расчетов сборочных цепей для технологов, занимающихся производством деталей и сборкой узлов, является определение технологических размеров и их допусков, которые удовлетворяли бы конструкторским технологическим требованиям на чертеже узла.

Для расчета используются несколько методов: метод «минимум-максимум», метод «средних размеров», вероятностный метод.



### 2.3.1 Расчет цепей по методу «минимум-максимум»

В представленной на рисунке 1 размерной цепи размер  $A_{\Delta}$  замыкающего звена и его погрешность  $\delta A_{\Delta}$  зависят от размеров  $A_i$  и их погрешностей  $\delta A_i$ .

Погрешности звеньев определяются технологическими условиями производства (точность станка, инструмента, деформации от усилий резания и т.п.) и поэтому в готовом виде поступают на сборку с рассеиванием размеров в пределах  $A_{i \max} \dots A_{i \min}$ , причем погрешность

$$\delta A_i = A_{i \max} - A_{i \min}$$

ограничена допуском  $T_i$  на размер  $A_i$ . Этот допуск определяется в проектных, предварительных, технологических расчетах, которые необходимы для выбора условий изготовления деталей. При этом обязательным требованием должно быть:

$$T_i \geq \delta A_i.$$

Другими словами, деталь при изготовлении может быть выполнена и более точно, чем требует расчетный допуск; это не вызовет каких либо затруднений при сборке, однако это экономически не выгодно, т.к. более точное, чем нужно, производство потребует дополнительных затрат.

Расчетный метод «минимум-максимум» предполагает, что на сборку узла поступают детали с крайними значениями размеров  $A_i$ . В этом случае замыкающее звено  $A_{\Delta}$  может иметь два крайних значения размеров  $A_{\Delta \max}$  и  $A_{\Delta \min}$ . Для размерной цепи, представленной на рисунке 1 это будет:

$$A_{\Delta \max} = (A_{1 \max} + A_{2 \max} + A_{3 \max}) - (A_{4 \min} + A_{5 \min} + A_{6 \min} + A_{7 \min}); \quad (1)$$

$$A_{\Delta \min} = (A_{1 \min} + A_{2 \min} + A_{3 \min}) - (A_{4 \max} + A_{5 \max} + A_{6 \max} + A_{7 \max}). \quad (2)$$

Погрешность замыкающего звена  $\delta A_{\Delta}$  определяется разностью крайних возможных значений:

$$\delta A_{\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min}. \quad (3)$$

После раскрытия скобок в уравнениях и вычитания можно показать, что

$$\delta A_{\Delta} = \delta A_1 + \delta A_2 + \delta A_3 + \delta A_4 + \delta A_5 + \delta A_6 + \delta A_7 = \sum_{i=1}^n \delta A_i. \quad (4)$$

Откуда следует, что погрешность замыкающего звена всегда является суммой погрешностей составляющих звеньев.

Расчет замыкающего звена  $A_{\Delta}$  по методу «минимум-максимум» сводится к нахождению величин  $A_{\Delta \max}$  либо  $A_{\Delta \min}$ , а также величины погрешности  $\delta A_{\Delta}$ . В результате будем иметь:

$$\begin{aligned} A_{\Delta} &= A_{\Delta \min} + \delta A_{\Delta} \\ &\text{или} \\ A_{\Delta} &= A_{\Delta \max} - \delta A_{\Delta}. \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.3.2 Расчет цепей по методу «средних размеров»

Как известно поле допуска в зависимости от вида посадки (сопряжения) может иметь два крайних отклонения. Для рассмотренного примера в разделе 2.1 оно может быть представлено размерами:

$$\begin{aligned} A_1 &= 50^{+0,05}, \\ A_2 &= 50_{-0,115}^{-0,075}. \end{aligned}$$

По этому методу поле допуска «располовинивается» и находятся средние размеры:

$$\begin{aligned} A'_1 &= 50,025 \pm 0,025; \\ A'_2 &= 49,905 \pm 0,02. \end{aligned}$$

На основе средних значений размеров находится средний размер замыкающего звена – средний размер зазора в данном примере:

$$A'_{\Delta \text{cp}} = 50,025 - 49,905 = 0,12.$$

Погрешность замыкающего звена представляется в данном случае как симметричное поле отклонений:

$$A'_{\Delta} = A'_{\Delta \text{cp}} \pm \delta A'_{\Delta \text{cp}}$$

или

$$A'_{\Delta} = 0,12 \pm 0,045.$$

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена находятся соответственно суммированием верхних и нижних отклонений составляющих звеньев.

Вероятностный метод расчета размерных цепей в данном пособии не рассматривается.

## 2.4 Методы сборки, обеспечивающие заданную точность

### 2.4.1 Метод полной взаимозаменяемости

Этот метод предполагает, что на сборку поступают партии деталей, любая из которых может быть поставлена в сборочный узел без подгонок и доработок. Очевидным условием такой сборки является:

$$T_{\Delta} \geq \sum_{i=1}^n \delta A_i \quad \text{или} \quad \delta A_{\Delta} \leq T_{\Delta}, \quad (6)$$

т.е. сумма погрешностей составляющих звеньев меньше или равна допуску на замыкающее звено. Это, как правило, конструкторский допуск на свободный размер. Используя принцип «равных влияний», т.е. предполагая одинаковыми погрешности составляющих звеньев, находится допустимая погрешность отдельно взятого составляющего звена:

$$\delta A_i = \frac{T_{\Delta}}{n}. \quad (7)$$

Например, при допуске на размер  $T_{\Delta} = 0,05$  погрешности составляющих звеньев для узла из 6 деталей будут очень малыми

$$\delta A_i = \frac{0,05}{6} = 0,0083,$$

что при изготовлении их потребует серьезных затрат. Для увеличения допустимой погрешности рекомендуется использовать принцип «кратчайшего пути», путем уменьшения количества деталей в узле. Например, для представленной на рисунке 1 схемы

возможно соединить шестерни и проставку между ними в одну деталь. Количество звеньев уменьшится и допустимая погрешность станет больше. Однако это ведет к конструктивным усложнениям, удорожает оснастку и т.п.

После нахождения средних значений погрешностей они могут быть скорректированы: деталь больших линейных размеров может иметь большую погрешность и наоборот. Однако коррекция не должна нарушать условие (6).

Метод полной взаимозаменяемости получил широкое распространение при сборке в условиях массового производства.

**Примечание.** Условиями сборки при полной взаимозаменяемости и в других методах, которые будут рассмотрены ниже, должен быть учтен не только допуск  $T_{\Delta}$ , но и значения  $A_{i \max}$  или  $A_{i \min}$  и их положение относительно поля допуска. Это учитывается при нахождении линейных размеров деталей, входящих в сборочную единицу. В данных методических указаниях в целях упрощения расчет линейных размеров сборной цепи не рассматривается.

#### 2.4.2 Метод частичной взаимозаменяемости

В связи с высокой стоимостью производства при сборке по методу «полной взаимозаменяемости» на практике получим применение метод, когда детали узла изготавливаются с расширенным допуском (повышенной погрешностью так, что получается:

$$T_{\Delta} \cdot \sum_{i=1}^n \delta A_i .$$

Строго говоря, такое производство деталей делает сборку невозможной, однако имеется ввиду что в партии каждой из деталей имеется рассеяние размеров, которое в силу действия случайных факторов имеет вероятностный характер (рассеянии по нормальному закону Гаусса, линейному закону Симпсона и др.) с центром группирования в близи среднего значения размера (рисунок 2). В

поле допуска  $6\tau$  ( $\tau$  - среднеквадратичное отклонение размера) укладывается 99,99% всех деталей в партии. Если говорить, что в поле допуска  $4\tau$  (95,4% всех деталей) укладываются размеры деталей, которые могут собираться в узле по принципу полной взаимозаменяемости, то 4,6% деталей окажутся браком.

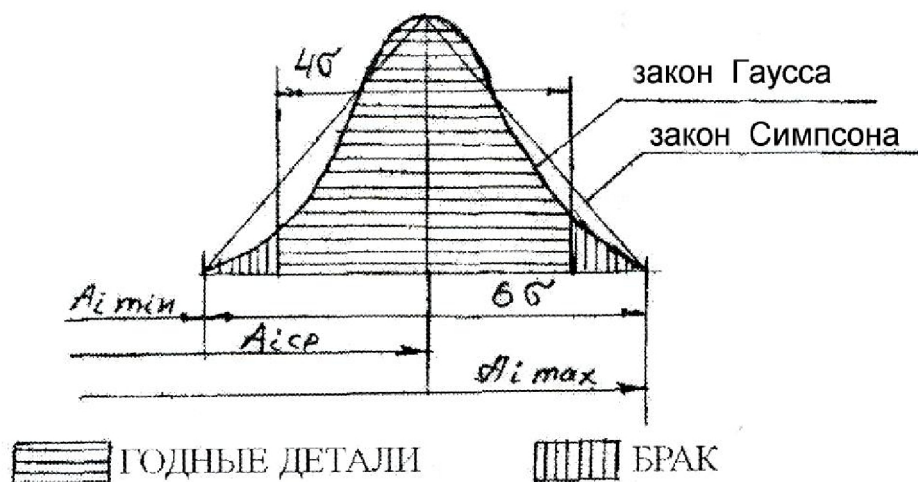


Рисунок 2 – Рассеяние размеров деталей

Расчет допустимых погрешностей составляющих звеньев размерной цепи при «равном влиянии» всех звеньев учитывает коэффициент риска  $t$ , который определяется приемлемым процентом брака  $P, \%$ . Задаваясь  $P$  по графику на рисунке 3 находят значение  $t$ . Допустимая погрешность составляющих звеньев размерной находится по формуле:

$$\delta A_i = \frac{T_{\Delta}}{t \sqrt{\lambda \cdot n}}, \quad (8)$$

где  $\lambda$  - коэффициент формы кривой рассеяния. В расчетах принимается:

$$\lambda = \frac{1}{9} - \text{закон нормального распределения Гаусса};$$

$$\lambda = \frac{1}{6} - \text{закон рассеяния размеров Симпсона}.$$

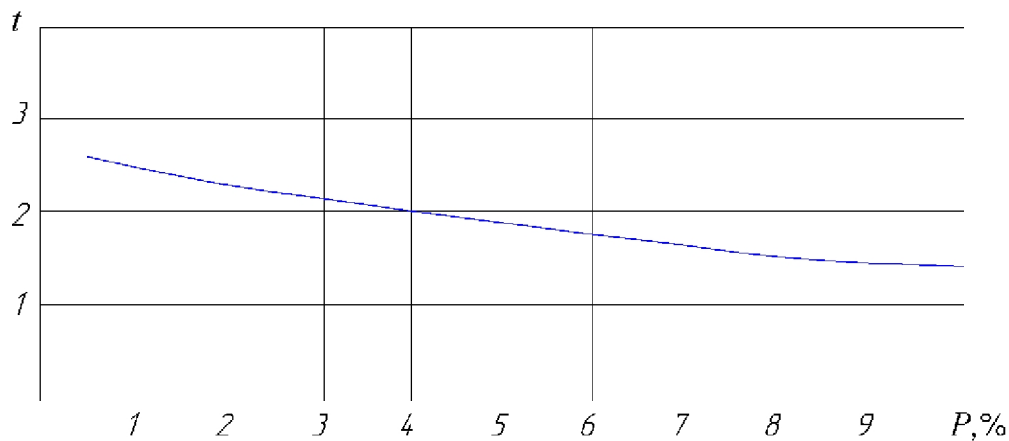


Рисунок 3 – Зависимость риска  $t$  от вероятности брака  $P$

Для рассмотрения выше численного примера, где  $T_{\Delta} = 0,05$ ;  $n = 6$  при  $P = 4,6\%$  и, соответственно,  $t = 2$  и для закона рассеяния Гаусса  $\lambda = \frac{1}{9}$  находим:

$$\delta A_i = \frac{0,05}{2\sqrt{\frac{1}{9} \cdot 6}} = 0,031$$

Сравнивая с погрешностью составляющего звена по методу «полной взаимозаменяемости»  $\delta A_i = 0,0083$  получим примерно в четыре раза большую допустимую погрешность, что удешевляет производство и компенсирует затраты на брак 4,6% от всех деталей.

### 2.4.3 Метод компенсации

При этом методе детали, входящие в сборочный узел изготавливаются с еще более широкими допусками на размеры составляющих звеньев так, что условно можно записать:

$$T_{\Delta} \cdot \cdot \sum_{i=1}^n \delta A_i$$

В этом случае для обеспечения сборки с заданной точностью замыкающего звена одно из составляющих звеньев выполняется с расширенным полем допуска. Причем изготавливается несколько штук этого компенсирующего звена  $A_k$  с размерами в пределах расширенного допуска

$$\delta A_K = A_{K \max} - A_{K \min},$$

который находится из условия:

$$\delta A_k = \sum_{i=1}^n \delta A_i - T_{\Delta}. \quad (9)$$

Метод значительно удешевляет производство (изготовление) деталей. Однако, при этом необходимо иметь достаточно большой комплект деталей – компенсаторов и, главное, выполнять «ложную сборку», в результате которой определяется фактическая погрешность замыкающего звена и подбирается из комплекта деталь-компенсатор, при установке которой обеспечивается условие сборки.

На рисунке 4 представлена схема узла опоры ротора ГТД-16, где компенсирующим звеном является кольцо 5. На участке сборки с разными размерами по толщине. Такая сборка узла требует индивидуального метода при выполнении ремонтных и эксплуатационных работ.

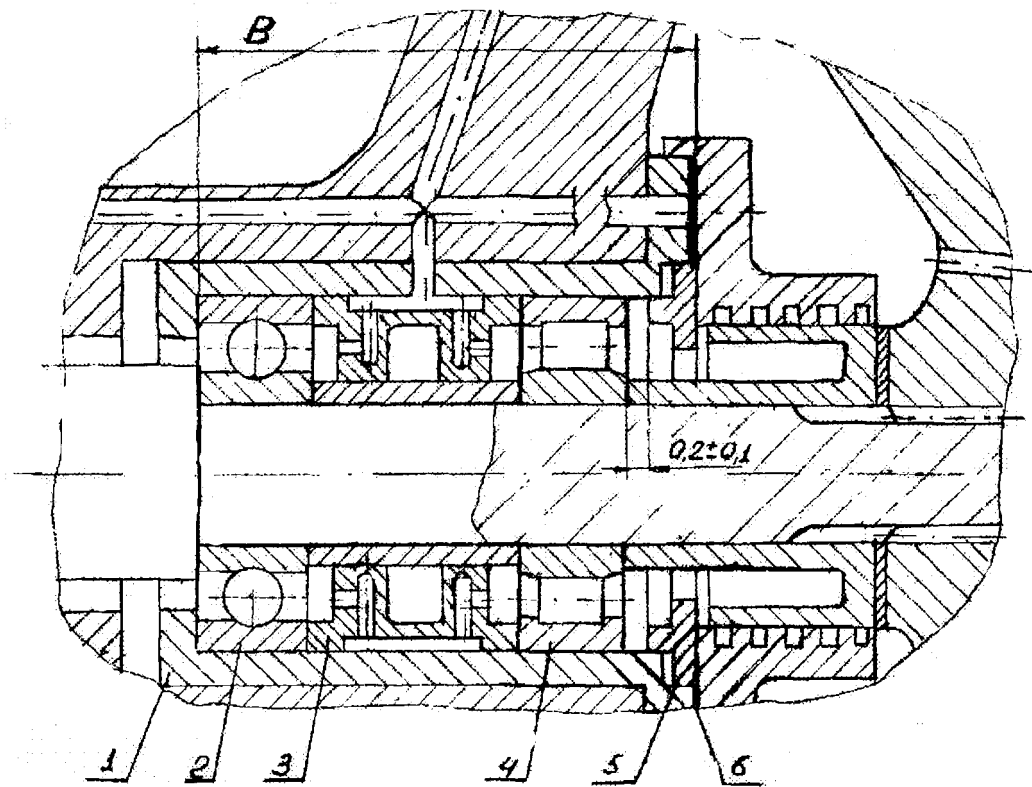


Рисунок 4 – Схема узла передней опоры ротора двигателя ГТД-16:  
1 – стакан; 2,4 – подшипники; 3 – форсунка; 5 – кольцо компенсации;  
6 – медная прокладка

#### 2.4.4 Метод доработки (метод приработки)

Во многом этот метод похож на предыдущий. Детали поступают на сборку с увеличенными погрешностями так, что

$$T_{\Delta} \cdot \cdot \sum_{i=1}^n \delta A_i$$

Одна из деталей (звено) имеет увеличенный размер и непосредственно на участке сборки дорабатывается. Это должно быть звено, увеличивающее размерную цепь. Величина приработки  $П_p$  находится из условия

$$\sum_{i=1}^n \delta A_i - T_{\Delta} = П_p .$$

Например, при сборке двигателей Аи-20, требуемый радиальный зазор по лопаткам турбины устанавливался протачиванием металлокерамических вставок уплотнительного кольца после предварительной сборки и промеров.

Объем работ по доработке заранее нельзя определить, снижается культура производства, что является существенным недостатком при значительном удешевлении изготовления деталей.

#### 2.4.5 Метод регулирования

Этот метод обеспечения точности замыкающего звена также близок к двум рассмотренным выше. Одно из составляющих звеньев размерной цепи конструктивно выполнено так, что можно изменять его размер (плавно) без каких либо доработок. Это может быть, например, установленная в корпус втулка, имеющая в центре эксцентричную расточку. При повороте втулки в корпусе смещается положение оси вала, установленного в расточку, относительно оси корпуса.

Так конструктивно выполнен узел цилиндрических шестерен привода кулачковой шайбы механизма газораспределения поршневого двигателя АШ-62ИР, устанавливаемого на самолете Ан-2. Для установления заданного зазора в зацеплении шестерен межосевое расстояние шестерен изменяется поворотом



эксцентричной втулки вала одной из шестерен. Упрощенная схема узла привода механизма газораспределения представлена на рисунке 5. В этом случае

$$T_{\Delta} \ll \sum_{i=1}^n \delta A_i .$$

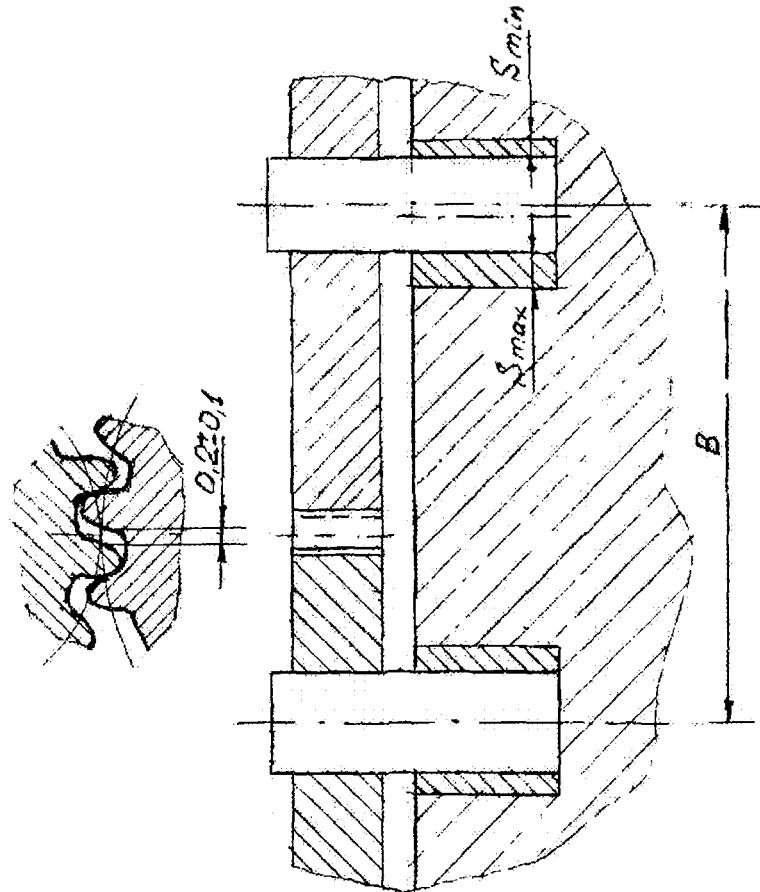


Рисунок 5 – Схема привода механизма газораспределения двигателя АШ – 62ИР

Для обеспечения зазора в зацеплении с заданным допуском при расширенных допусках на изготовление составляющих звеньев необходимо выполнить условие:

$${}_{\Delta} R = \sum_{i=1}^n \delta A_i - T_{\Delta} .$$

Величина  ${}_{\Delta} R$  является регулирующим (компенсирующим) звеном размерной цепи и в данном примере является результатом разностенного толщин стенки  $S$  эксцентричной втулки

$${}_{\Delta} R = S_{\max} - S_{\min} .$$

Метод позволяет компенсировать значительные погрешности отдельных звеньев, например, разметку осей отверстий в корпусе под сверление отверстий для установки втулок. Однако, для обеспечения зазора в зацеплении с заданным допуском необходимо выполнять предварительную «ложную» сборку с измерением фактического зазора с последующим регулированием его соответствующим поворотом эксцентричной втулки и окончательной сборки. Конструктивно узел усложняется, цикл сборки увеличивается.

## 2.5 Неоднородные сборочные погрешности

Процесс сборки не следует рассматривать как простое «складывание» деталей в узле. При сборке и затяжке гаек прикладываются усилия, обеспечивающие герметичность стыков, не раскрытие соединений деталей, необходимые при работе узла с реальными нагрузками эксплуатации. Вследствие податливости материала деталей возникают упругие (иногда пластические) деформации, которые влияют на величину замыкающего звена (зазора) в соединении деталей. Например, при сборке шестеренчатого насоса величина бокового зазора шестерен зависит от условий затяжки двух половин корпуса. Как правило, в стыке половины стоит прокладка. При малом усилии затяжки возможны течь по стыку и большие внутренние перетекания с выхода на вход в насос. При большом усилии затяжки возможно заклинивание шестерен в корпусе. Деформация прокладки выступает в данном случае в роли дополнительной погрешности размерной цепи помимо погрешности толщины самой прокладки. Эта дополнительная погрешность считается неоднородной, т.к. зависит от усилий при сборке и материале прокладки.

Предполагая, что усилия в стыке прокладки находятся в пределах упругих деформаций материала прокладки можно получить:

$$\Delta\Pi = \frac{\Pi \cdot Q_3}{E_n \cdot F_n}, \quad (10)$$

где  $\Pi$  – толщина прокладки;

$E_n$  - модуль упругости прокладки;

$F_n$  - площадь прокладки (площадь стыка);

$Q_3$  - усилие затяжки стыка.

В качестве прокладки используются различные материалы: резина, фибра, фторопласт, поранит, отощенная медь и др. Выбор материала прокладки определяется удельным давлением в стыке  $\delta_n$ , которое должно быть больше давления среды  $P_c$  на величину прокладочного коэффициента  $m$ :

$$\delta_n = m \cdot P_c.$$

Прокладочный коэффициент зависит от текучести среды:  $m \sim 1,5$  для масляных сред и  $m \sim 2,5$  для керосина. Кроме того, из условий обжатия прокладки необходимо обеспечить:

$$\delta_{n \min} < \delta_n < \delta_{n \max}.$$

Значения  $\delta_{n \min}$  и  $\delta_{n \max}$  даются в специальных справочниках для различных материалов.

### 3 Задание на выполнение расчетной работы

Задание представлено в виде таблицы 1. Номер варианта соответствует номеру студента по списку.

Таблица 1 - Задание на расчетную работу

Вариант	Исходные данные				Задание
	Схема узла	Размер В, Н <sub>к</sub> , мм	Прокладка	Другие параметры	
1	2	3	4	5	6
1	Рис. 4	70	Медь	-	Определить качества детали
2	-//-	100	-//-	-	-//-
3	-//-	120	-//-	-	-//-
4	-//-	90	-//-	-	-//-
5	-//-	130	-//-	-	-//-
6	-//-	70	-//-	Квалитет детали 12	Определить величину комп. $\delta A_K$
7	-//-	100	-//-	-//-	-//-
8	-//-	120	-//-	-//-	-//-
9	-//-	70	-//-	Квалитет детали 11	-//-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
10	-//-	100	-//-	-//-	-//-
11	-//-	120	-//-	-//-	-//-
12	-//-	100	-//-	% брака 4,6; $\lambda = \frac{1}{9}$	Определить кавалитеты деталей
13	-//-	80	-//-	% брака 7; $\lambda = \frac{1}{9}$	-//-
14	-//-	100	-//-	% брака 10; $\lambda = \frac{1}{9}$	-//-
15	-//-	120	-//-	% брака 8; $\lambda = \frac{1}{9}$	-//-
16	Рис.5	150	-	Квалитет детали 12	Определить величину регул. $\Delta R$
17	-//-	200	-	-//-	-//-
18	-//-	150	-	Квалитет детали 11	-//-
19	-//-	200	-	-//-	-//-
20	-//-	400	-	Квалитет детали 15	-//-
21	Рис.1	200	Резина	Давление масла $P_c = 0,2$ МПа	Определить кавалитеты деталей
22	-//-	-//-	Фторопласт	Давление масла $P_c = 0,5$ МПа	-//-
23	-//-	-//-	Поранит	Давление масла $P_c = 0,1$ МПа	-//-

## 4 Содержание расчетной работы

Расчетная работа включает в себя анализ точности различных методов сборки и выполнение расчетов погрешностей размерной цепи для одного заданного варианта.

Для нахождения погрешностей составляющих звеньев необходимо знать линейный размер звена и качество точности изготовления детали (звена). Для нахождения размеров в варианте заданий в зависимости от схемы сборочного узла указан габаритный размер (В). По этому размеру исходя из пропорций размеров на схеме узла находятся приблизительные размеры звеньев. Далее по таблице качеств находится допуск на размер звена. Для некоторых деталей (подшипники, листовой прокат, штампованный профиль, прокладки, заклепки и др.) качество оговорено в исходных данных задания для расчетов. В некоторых вариантах это качество необходимо определить исходя из заданной точности замыкающего звена и метода сборки. Метод сборки указывается заданием.

Во всех вариантах задания отчет по работе должен включать:

- краткий анализ методов сборки;
- схему сборочного узла варианта задания;
- размерную цепь с указанием замыкающего звена;
- расчеты по варианту задания;
- преимущества и недостатки использованного метода сборки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Фираго, В.П. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений [Текст]. – М.: Машиностроение, 1973.
- 2 Абибов, А.П. Технология самолетостроения. [Текст]. – М.: Машиностроение, 1982.
- 3 Ремонт летательных аппаратов. [Текст]. / Голего Н.Л. – М.: Транспорт, 1984.
- 4 Кручинский, Г.А. Ремонт авиационной техники. [Текст]. – М.: Машиностроение, 1980.
- 5 Евстигнеев, М.Е. Технология производства двигателей летательных аппаратов. [Текст]. – М.: Машиностроение, 1985.
- 6 Сулима, А.А. Основы технологии производства ВРД. [Текст]. – М.: Машиностроение, 1992.
- 7 Никитин, А.Н. Технология сборки двигателей летательных аппаратов. [Текст]. – М.: Машиностроение, 1982.
- 8 Новиков, М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. [Текст]. – М.: Машиностроение, 1978.

Таблица 1А – Числовые значения допусков для размеров до 500 мм по ГОСТ 25346-82

Интервал размеров, мм	К в а л и т е т ы																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
6 - 10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
10 - 18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
18 - 30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
30 - 50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
50 - 80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
80 - 120	2,5	4	6	10	15	29	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
120 - 180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
180 - 250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
250 - 315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
315 - 400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
400 - 500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Таблица 2А – Характеристики некоторых деталей узлов

Детали	Квалитет точности	$E \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\delta_{\text{нтр}}$ , МПа	$\delta_{\text{нтр}}$ , МПа	$\delta_{\text{нтр}}$ , МПа
Листовой алюминий, прокат	14	70		50	100
Листовая медь, прокат	10	110		70	160
Угловый профиль, штамп.	14	.	.	.	.
Листовой поранит, штамповка	12	3		10	32
Листовой фторопласт, литье	14	2		4	10
Листовая резина, литье	14	0,04		2,0	3,5
Прошивка отверстий в листе	12	.	.	.	.
Детали подшипников	6	.	.	.	.