

**Гусева Р. И.**  
**R. I. Guseva**

**К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ СБОРКИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА**

**ON THE ISSUE OF THE CALCULATION OF ASSEMBLING ACCURACY FOR UNITS AND COMPONENTS OF THE FRAME OF AN AIRCRAFT**

**Гусева Роза Ивановна** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология самолетостроения», зам. декана самолетостроительного факультета Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: r\_guseva@knastu.ru.

**Ms. Roza I. Guseva** – PhD in Engineering, Professor, Department of Aircraft Engineering, Deputy Dean of the Aircraft Engineering Faculty, Komsomolsk-on-Amur State Technical University E-mail: r\_guseva@knastu.ru

**Аннотация.** Рассмотрены современные методы обеспечения точности и взаимозаменяемости узлов и агрегатов планера самолета, способы базирования элементов при сборке применительно к расчету ожидаемой точности сборки изделия.

**Summary.** The paper considers state-of-the-art methods for ensuring accuracy and interchangeability of parts and components of an aircraft's frame; ways of referencing components during assembly subject to the calculation of the expected assembling accuracy.

**Ключевые слова:** точность, взаимозаменяемость, способы базирования, узел, агрегат, плазово-шаблонный, электронный, сборка самолета.

**Key words:** accuracy, interchangeability, referencing methods, unit, plant, slot&template, electronic, aircraft assembling.

УДК 629.735

В самолетостроении сборку узлов, секций, отсеков, агрегатов планера самолета ведут с использованием специальных методов обеспечения взаимозаменяемости и точности сборочных контуров.

Для сборки узлов, отсеков и агрегатов из **нежестких деталей** в самолетостроении используют **зависимый (связанный) и независимый (электронный)** методы увязки размеров деталей и оснастки.

Принцип **связанного метода** обеспечения взаимозаменяемости основан на использовании **жестких носителей форм и размеров** в виде плазов и шаблонов и специальной контрольной оснастки в виде контрэталонов и эталонов, слепков и макетов поверхностей планера. Принцип связанного метода в самолетостроении реализуется как плазово-шаблонный метод обеспечения взаимозаменяемости и его модификации (макетно-инструментальный; эталонный).

Например, для обеспечения точности и взаимозаменяемости крыла самолета на рис. 1 представлен основной состав контрольно-эталонной оснастки, применяемый при изготовлении крыла самолета плазово-шаблонным методом.

Более усовершенствованным связанным методом обеспечения взаимозаменяемости отсеков и агрегатов планера является эталонно-шаблонный метод, в котором используются большее количество контрольной оснастки в виде эталонов, а также контрольные и рабочие шаблоны.

Структурная схема увязки размеров и форм обшивки и элементов оснастки при использовании эталонно-шаблонного метода может быть составлена в таком виде:



где ТП, КП, ШКК – соответственно теоретический плаз, конструктивный плаз, шаблоны контроля контура; КЭ, Э, МЭ – соответственно контрэтalon, этalon, монтажный этalon.

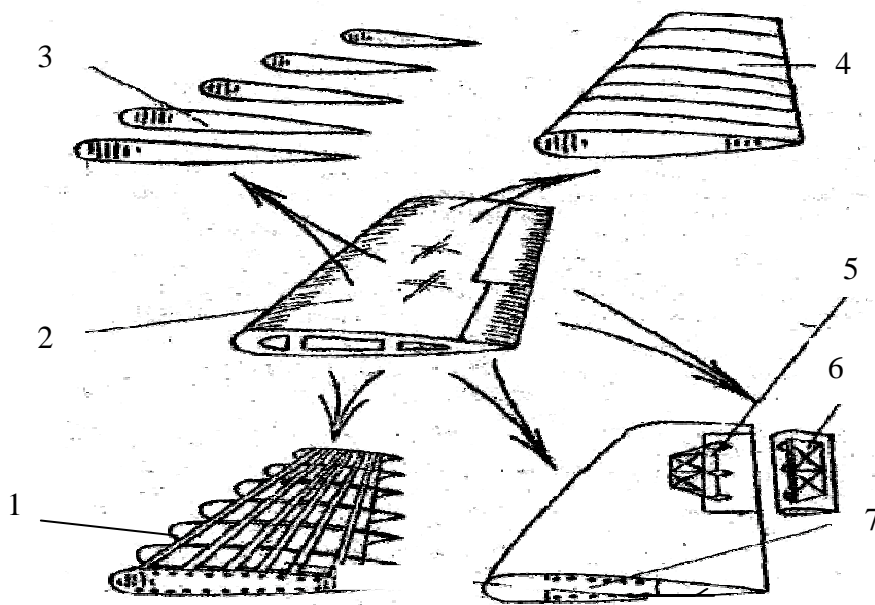


Рис. 1. Состав контрольной оснастки для крыла: 1 – комплексный этalon крыла; 2 – крыло; 3 – шаблоны сечений; 4 – этalon поверхности крыла; 5 – калибр разъема крыла с элероном; 6 – калибр разъема элерона с крылом; 7 – плита разъема крыла с фюзеляжем (центропланом)

Изготовление плазов, шаблонов, эталонных и другой контрольной и технологической оснастки является дорогостоящим и трудоемким процессом. Для крупногабаритного самолета изготовление такой оснастки потребует больших затрат как на материал, так и на технологическую документацию. Сопоставление допусков по стыкам и разъемам современных самолетов показывает, что изготовление жестких носителей размеров и форм целесообразно, если их размеры не превышают 2500 мм.

При дальнейшем увеличении размеров идет резкое возрастание погрешностей монтажа базовых, обводообразующих и стыковых узлов макетов каркаса, погрешностей из-за деформации макета от собственного веса при выставлении их в стапеле, а также температурной погрешности.

В последнее время на заводах отрасли внедряется специальный **независимый метод**, с применением которого получают сложные аэродинамические обводы планера самолета без применения жестких носителей размеров и форм деталей, узлов и агрегатов; который позволяет использовать упрощенные конструкции сборочной оснастки (стапелей, стенов) без снижения точности сборки изделия.

Принцип **независимого метода** обеспечения взаимозаменяемости узлов и агрегатов основан на использовании электронных моделей, выполненных с применением современных информационных технологий; разработке управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ и использовании контрольно-измерительных машин (КИМ).



Сущность **независимого метода** состоит в том, что, используя программное обеспечение современных ЭВМ, параметризацией строят электронные модели (ЭМ) как самого изделия, так и его сборки. Затем разрабатывают УП, которые передаются на СЧПУ и координатно-расточные станки, с их помощью изготавливаются элементы деталей и оснастки. Готовые детали проходят контроль на КИМ, где проводится сравнение размеров и форм изготовленной детали с выводом на экраны монитора реальных отклонений размеров детали от теоретических размеров.

Появление интегрированных систем высокого уровня CAD/CAM/CAE ("Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer Aided Engineering") позволяет выполнять электронное описание объекта производства с точностью до 1 – 3 микрон.

Если при сборке изделия использовать независимый электронный метод увязки, то один из вариантов структурной схемы увязки (согласование размеров и формы обшивки планера) может быть такой:



где ЭМ, ИС, ЛЦИС – соответственно электронная модель, инструментальный стенд, лазерные центрирующие измерительные системы.

Схема увязки **независимым** методом применительно к сборке кессона крыла самолета представлена на рис. 2.

Целесообразность применения связанного (ПШМ) или независимого электронного метода в каждом конкретном случае определяется в зависимости от различных факторов: габаритов самолета, программы выпуска, энергооснащенности авиационного предприятия.

Для расчёта ожидаемой точности сборки узла или агрегата необходима следующая документация:

- технические требования или условия ТУ на точность сборки (допускаемые отклонения контура) изготавливаемого изделия;
- используемый способ базирования, который обеспечит заданную точность;
- выбранный метод взаимозаменяемости и разработанная схема увязки размеров деталей и оснастки для сборки узла или агрегата.

Ожидаемая, расчётная точность сборки изделия определяется погрешностями сборки и зависит от способов базирования и схемы увязки.

Для различных способов базирования при сборке используют различные уравнения погрешности.

При использовании **способа базирования по внешней поверхности обшивки** применяют следующее уравнение погрешности сборки:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)}K_{приж} , \quad (1)$$

где  $\delta_{сб}$  – точность сборки готового агрегата;  $\delta_{пр}$  – погрешность сборочного приспособления;  $\delta_{кон(пр-дет)}$  – погрешность увязки приспособления и устанавливаемой детали;  $K_{приж}$  – коэффициент прижима.

Коэффициент прижима рубильников характеризует степень фиксации изделия при сборке, выбирается в зависимости от длины изделия и числа прижимов в сборочном приспособлении.

Коэффициент 0,6 в левой части уравнения (1) учитывает сумму погрешностей клепки  $\delta_{кл}$ , деформаций деталей  $\delta_{деф}$  и изменений температуры в процессе сборки  $\delta_{темп}$  (до 40 % всей погрешности сборки).

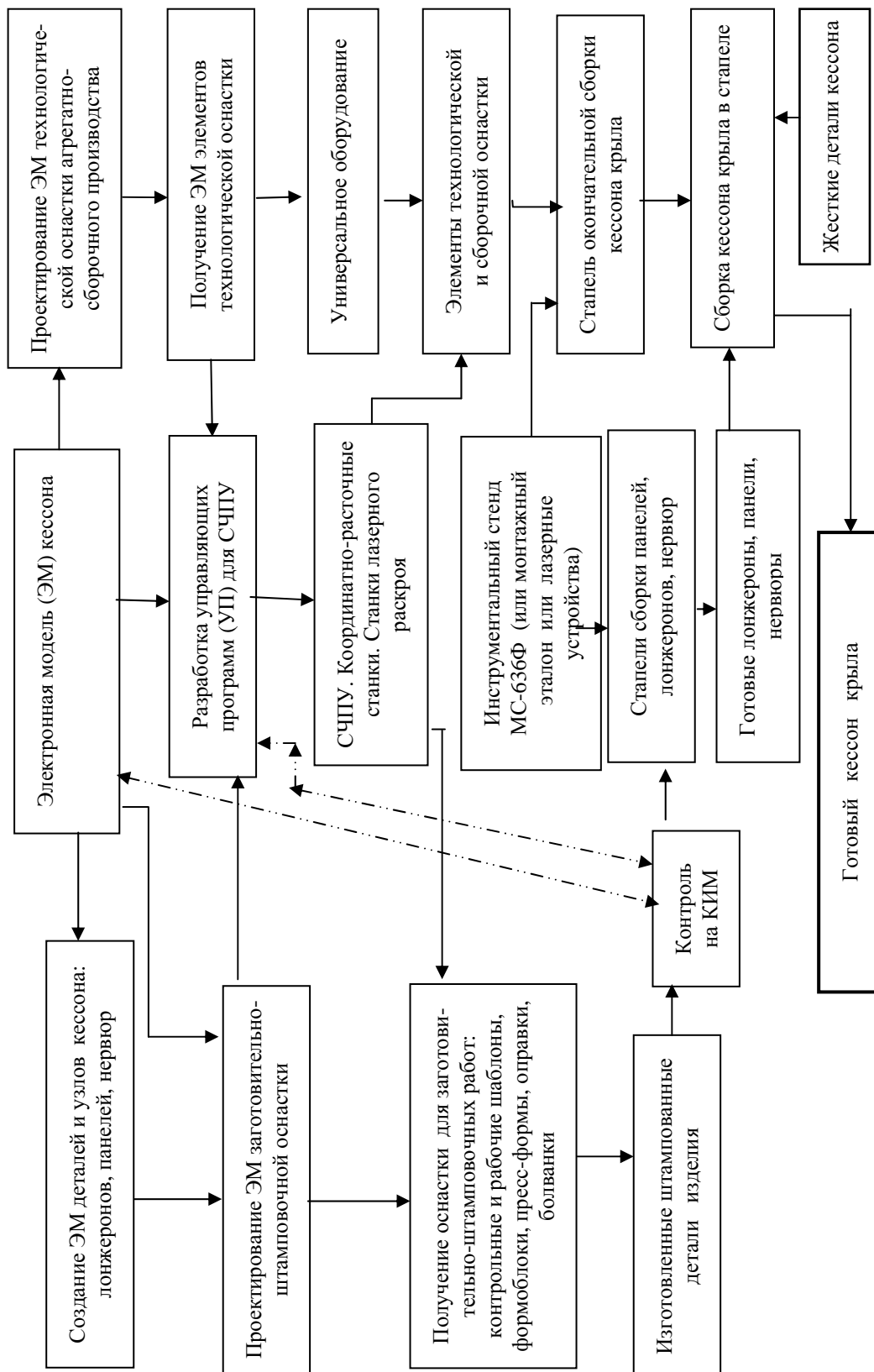


Рис. 2. Схема увязки размеров элементов оснастки и деталей кессона крыла самолета

Этот способ базирования выбирают для сборки узлов при базировании в стапеле, для сборки агрегатов и отсеков, расчлененных на панели, со сравнительно толстой обшивкой (толщина обшивки равна или более 1,5 мм) и при высоких требованиях к точности обводов внешних контуров агрегата.

Точность сборки при этом способе базирования лежит в пределах 0,4 – 0,6 мм.

При использовании **базирования по поверхности каркаса** используют следующее уравнение погрешностей:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)} + 2\delta_{обш} + 2\delta_{клея}, \quad (2)$$

где  $\delta_{обш}$  – погрешность толщины обшивки;  $\delta_{клея}$  – погрешность толщины клеевого или паяного слоя.

Базирование по поверхности каркаса используют при сборке агрегатов и отсеков не расчлененной на панели конструкции, имеющей мощный силовой каркас и тонкую обшивку (рули хвостового оперения, триммеры, закрылки, предкрылки, носовые и хвостовые отсеки крыла).

Погрешность сборки при этом способе базирования достигает значений 1,5 – 2,5 мм.

**При базировании по СО** деталей для сборки узлов точность сборки будет зависеть от точности изготовления базовой детали  $\delta_{баз}$  и точности устанавливаемых деталей, а также от погрешностей увязки  $\delta_{дет(кон-СО)}$ , погрешностей фиксации и клепки  $\delta_{кл} + 2\delta_{фикс}$ .

Точность сборки узлов невысока и лежит в пределах 2,0 – 2,4 мм.

Уравнение погрешностей, например, для сборки нервюры, состоящей из стенки и двух поясов, будет следующим:

$$0,7\delta_{сб} = \delta_{баз} + \delta_{дет1(кон-СО1)} + \delta_{дет2(кон-СО2)}. \quad (3)$$

Погрешности клепки и фиксации (зазоры между отверстиями СО и штырями-фиксаторами) по статистическим данным равны  $0,3\delta_{сб}$ .

**Базирование по БО стапеля** используют при агрегатной сборке для панелированных конструкций тяжелых и средних самолетов.

Если принять погрешности клепки, деформации деталей, фиксации  $\delta_{кл} + \delta_{деф} + 2\delta_{фикс} = 0,4\delta_{сб}$ , то уравнение погрешности, определяющее точность сборки, запишется:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{дет1(кон-БО1)} + \delta_{дет2(кон-БО2)}. \quad (4)$$

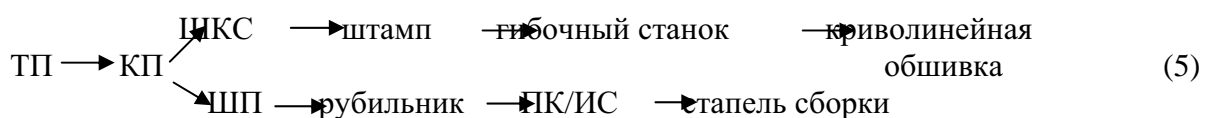
Точность сборки агрегатов при использовании этого способа базирования находится в пределах 0,6 – 0,8 мм.

При сборке узлов или агрегатов с применением связанного ПШМ увязки расчёт ожидаемой точности сборки изделия зависит от числа этапов в структурной схеме увязки, точности переноса размеров с плазов и шаблонов на элементы оснастки и деталей.

Так как от этапа к этапу происходит накопление погрешностей размеров, то необходимо выбирать оптимальное число этапов. Но при этом надо учесть, что при большом числе этапов получают большую погрешность сборки, при малом числе этапов трудно получить взаимозаменяемые агрегаты и изделие.

В зависимости от числа этапов и выбранной схемы увязки получают различные значения точности сборки.

При использовании ПШМ один из вариантов структурной схемы увязки для криволинейной обшивки выглядит так:



Возьмем для примера уравнение погрешностей при сборке с базированием по внешней поверхности обшивки:

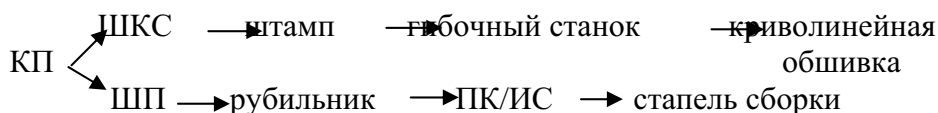
$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)} K_{приж}.$$

Из него следует, что на точность сборки узла или агрегата влияют погрешность приспособления и погрешность увязки, которые могут быть определены исходя из структурных схем увязки (5).

Для определения погрешности приспособления  $\delta_{пр}$  необходимо в расчет ввести только цепочку этапов для приспособления. Это следующие этапы цепочки в (5):



Для определения погрешности увязки  $\delta_{кон(пр-дет)}$  принимают в расчет только независимые этапы обеих цепочек структурной схемы, погрешность в которых не компенсируется за счет увязки. Согласно (5), это цепочки



Погрешности  $\delta_{пр}$  и  $\delta_{кон(пр-дет)}$  определяют из условия, что замыкающий размер сборочной размерной цепи  $\Delta_{зам}$  в каждом случае (для погрешности приспособления и для погрешности увязки) равен сумме погрешностей составляющих звеньев (этапов). Погрешность замыкающего звена для приспособления определится следующим уравнением погрешностей:

$$\Delta_{зам}^{присп} = \sum_{n=1} \sum_{m=1}^{n,m} A_i \Delta_i^{\Sigma}, \quad (6)$$

где  $\Delta_i^{\Sigma}$  – погрешности составляющих звеньев сборочной размерной цепи;  $n$  и  $m$  – число увеличивающих и уменьшающих звеньев;  $A_i$  – передаточное отношение, характеризующее влияние составляющих звеньев на замыкающее звено:  $A_i = 1$  – для увеличивающих звеньев,  $A_i = -1$  – для уменьшающих звеньев, с ростом которых уменьшается замыкающее звено.

Погрешность замыкающего звена при увязке запишется соответственно как уравнение погрешности

$$\Delta_{зам}^{увязки} = \sum_{n=1} \sum_{m=1}^{n,m} A_i \Delta_i^{\Sigma}. \quad (7)$$

Решение уравнений (6) – (7) можно вести по методу «максимум-минимум», по методу «равных допусков» или теоретико-вероятностным методом. В статье представлена методика расчёта точности сборки узла или агрегата теоретико-вероятностным методом.

Основываясь на принципах теории вероятности, решение уравнений погрешностей (6) – (7) для сборочных размерных цепей сводится к определению двух основных статистических характеристик: координаты центра группирования погрешностей сборки  $\Delta_{\Sigma}$  и среднеквадратичного отклонения или половины поля допуска замыкающего звена  $\delta_{\Sigma}$ , т.е. погрешность замыкающего размера  $\Delta_{зам}$  определится суммой двух статистических характеристик:

$$\Delta_{зам} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}.$$

Эти статистические характеристики определяются по формулам

$$\Delta_{\Sigma} = \sum (A_i \Delta_i + A_i \delta_i \alpha_i); \quad \delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum A_i^2 \delta_i^2 K_i^2}, \quad (8)$$

где  $A_i = 1$  (при сборке все составляющие звенья являются увеличивающими);  $\Delta_i$  – координата центра группирования погрешностей составляющего звена;  $\delta_i$  – среднеквадратичное отклонение составляющего звена;  $\alpha_i$  – коэффициент относительной асимметрии распределения составляющего звена;  $K_i$  – коэффициент относительного рассеивания размера составляющего звена.

Значения допускаемых производственных погрешностей (верхние и нижние отклонения размеров) и значения  $\alpha_i$  и  $K_i$  определяют на основе экспериментально подтвержденных, статистически обработанных замеров отклонений от номинальных размеров. Величины отклонений производственных погрешностей сведены в специальные таблицы, которые имеются на самолетостроительном предприятии.

В табл. 1 представлены среднестатистические отклонения размеров при переносе размера с одного носителя на другой (поэтапно), а также метод переноса размера и значения коэффициентов  $\alpha_i$  и  $K_i$ .

**Координаты центра группирования погрешностей** составляющих звеньев  $\Delta_i$  определяются:

$$\Delta_i = \frac{BO_i + HO_i}{2}, \quad (9)$$

где  $BO_i$  и  $HO_i$  – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров составляющих звеньев. При симметричном расположении верхнего и нижнего отклонений  $\Delta_i = 0$ .

Таблица 1

Величины отклонений размера на различных этапах переноса размеров

Обозначение этапа	Метод переноса размеров	Отклонение кон- тура, мм	Коэффициент $\alpha_i$	Коэффициент $K_i$
ТП – КП	Расчерчивание	0; - 0,1	0,0	1,0
КП – ОК	Фотопечать	+0,1; - 0,1	0,0	1,0
ОК – ШК	Припиловка	0; - 0,15	0,5	1,4
ШК – ШВК	Припиловка	0; +0,15	0,5	1,4
ШК – ШРД	Припиловка	0,3; 0,0	0,5	1,4

**Среднеквадратичное отклонение или половина поля допуска** составляющего звена  $\delta_i$  определится формулой

$$\delta_i = \frac{BO_i - HO_i}{2}. \quad (10)$$

Затем, используя (9) – (10), рассчитывают погрешность сборочного приспособления

$$\delta_{пр} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}$$

и погрешность увязки

$$\delta_{увяз(кон-дет)} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}.$$

Затем определяют точность сборки, используя (1).

Полученную расчетную точность сборки сравнивают с заданными допускаемыми значениями точности и делают вывод о правильности выбора способа базирования и схемы увязки размеров деталей и оснастки.

Полученная расчётом точность сборки не должна превышать допустимых отклонений, заданных по ТУ на изделие.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Братухин, А. Г. Приоритеты авиационных технологий: в 2 т. / А. Г. Братухин. – М.: Изд-во МАИ, 2004. – Т. 1-2.
2. Гусева, Р. И. Теоретические основы сборки самолета: учеб. пособие / Р. И. Гусева, А. В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2005. – 96 с.
3. Современные технологии авиастроения / колл. авт.; под ред. А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 532 с.