

## **Обеспечение точности изготовления и проблемы экономии затрат в сборочных процессах производства летательных аппаратов**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Изложены результаты исследований экономии затрат на обеспечение точности образования аэродинамических поверхностей самолетов. Получены аналитические зависимости затрат на достижение заданной точности от методов и средств изготовления деталей и сборки изделий, принятых в самолетостроении. Это позволяет на этапе подготовки к производству нового самолета принять экономически и технически сбалансированное оптимальное решение.

**Ключевые слова:** самолетостроение, точность аэродинамических поверхностей, методы и средства изготовления, затраты труда, методы увязки форм и размеров, показатели качества, показатели эффективности.

### **Введение**

Эксплуатационная эффективность современного сверхзвукового самолета во многом определяется точностью выполнения аэродинамических обводов планера.

Стремление конструкторов назначить допуски на изготовление, измеряемых для первых аэродинамических зон планера в долях миллиметра, а для вторых зон в пределах одного-двух миллиметров, создает труднопреодолимые технологические проблемы обеспечения заданных допусков. Затраты на достижение требуемой геометрической точности обводов и взаимозаменяемости частей планера ЛА увеличиваются, как свидетельствует практика, в три-пять раз и более в сравнении с дозвуковыми ЛА.

Из статистического анализа распределения затрат на обеспечение качества ЛА следует, что при подготовке производства новых пассажирских самолетов, именно затраты на достижение заданных геометрических параметров качества обводов преобладают по сравнению с затратами на достижение функциональных параметров на всех основных этапах технологической подготовки (таблица 1). Учитывая, что реальную высокую точность и стабильность форм и размеров теоретических обводов аэродинамических поверхностей ЛА можно обеспечить только технологическими способами, то на всех этапах подготовки производства используются специфические высокоточные системы технологических процессов и конструкций технологической объемной оснастки для изготовления деталей и сборки в сборочных приспособлениях. Затраты на разработку и изготовление систем технологической оснастки достигают 70 – 80% общих затрат на технологическую подготовку производства ЛА. Поэтому проблема минимизации затрат в современных рыночных условиях при одновременном обеспечении заданного уровня качества ЛА является актуальной.

**Затраты на обеспечение заданного качества ЛА**

Этапы подготовки производства ЛА	Распределение затрат (%) на обеспечение параметров	
	функциональных	геометрических
1. Корректировка конструкций по требованиям технологичности	20-30	70-80
2. Разработка новых технологических процессов	30-40	60-70
3. Разработка технологической формообразующей и сборочной оснастки	10-15	85-90

**Содержание проблемы**

Как следует из таблицы 1, большое внимание специалистами уделяется затратам еще на этапе разработки директивных технологических материалов при корректировке конструкторских чертежей совместными усилиями конструкторов и технологов на предмет повышения технологичности деталей и сборных частей планера ЛА по геометрическим параметрам.

Большинство сборных конструкций планера ЛА состоят из маложестких листовых и профильных деталей, обладающих недостаточной стабильностью форм и размеров сопрягаемых поверхностей, что объясняется упруго-пластическими деформациями, сопровождающими формообразование штамповкой, а также деформированием деталей под действием собственной массы до установки их в сборочное приспособление. Обеспечение взаимособираемости и взаимозаменяемости подобных деталей по обводам и стыкам требует постоянного решения задач при подготовке производства по следующим направлениям с учетом оптимизации затрат на их разрешение:

- повышение точности и стабильности получения форм и размеров обводобразующих деталей, входящих в сборную конструкцию,
- изыскание методов и средств, обеспечивающих компенсацию нерегламентированных отклонений форм и размеров деталей в процессе сборки конструкций,
- совершенствование конструкций, повышение точности изготовления и точности увязки сборочных приспособлений.

**Результаты исследования**

Одним из основных показателей качества конструкций ЛА является уровень достигнутых в процессе производства геометрических отклонений от теоретически заданных размеров и форм. Для большинства типов современных высокоскоростных самолетов допускаемые отклонения по техническим требованиям на размеры наружных обводов поверхностей планера находятся в пределах  $\pm 0,1 \dots 2,0$  мм, а отклонения в местах стыковки (ступеньки и зазоры) панелей, секций, отсеков – в пределах  $\pm 0,5 \dots 2,5$  мм (таблица 2).

**Допускаемые отклонения по техническим требованиям  
на размеры наружных обводов поверхностей планера ЛА**

Параметры отклонения по техническим условиям	Допустимая величина отклонения, мм
1. Отклонения наружных обводов поверхностей в поперечных сечениях: – фюзеляжа, гондол двигателей, гондол шасси, – крыла, оперения	$\pm 0,2 \dots \pm 2,0$ $\pm 0,1 \dots \pm 1,5$
2. Отклонения в местах стыковки панелей, секций и отсеков планера ЛА: – ступеньки между стыкуемыми элементами в поперечных сечениях – зазоры между стыкуемыми элементами в продольных стыках	$\pm 0,15 \dots \pm 0,5$ $\pm 0,5 \dots \pm 2,5$
3. Отклонения на глубину волны обшивки в направлении потока	$\pm 0,1 \dots \pm 1,5$

Указанные в таблице (2) величины отклонений могут показаться достаточно широкими, если не принимать во внимание, для каких номинальных размеров изделий они заданы, а также не учитывать малую жесткость деталей, из которых собирают большинство панелей, секций и отсеков планера ЛА. У современных самолетов поперечное сечение профиля крыла у его основания достигает 1 м. и более, а сечение миделя фюзеляжа – 4,0...6,0 м. Определив число единиц допуска по стандартной зависимости  $K = \delta_{TV} / i$  (где  $\delta_{TV}$  – величина допустимого отклонения,  $i = 0,5\sqrt[3]{H}$  – единица допуска), получим:

$$\text{для крыла } K_{KP} = \frac{0,1}{0,5\sqrt[3]{1000}} \approx 20, \text{ для фюзеляжа } K_{\text{фюз}} = \frac{0,2}{0,5\sqrt[3]{8000}} \approx 23.$$

Вычисленные значения единиц допуска соответствуют второму классу точности, принятому в системе «отверстия» в общем машиностроении.

Обеспечение столь высокой точности в самолетостроении может быть достигнуто только специфическими методами сборки (с базированием деталей: «от обшивки», «от каркаса», «по УФО – установочно-фиксирующим отверстиям») и методам увязки размеров и форм обводообразующей оснастки для изготовления деталей (обтяжные пуансоны, оправки, форм блоки) и сборки (сборочные приспособления).

Поэтому при назначении допусков на геометрические параметры конструкции ЛА должна быть учтена та величина точности, которую может обеспечить принятый метод сборки [1].

Оценку соответствия фактической величины отклонения  $\Delta_{\phi}$  заданному допуску  $\delta_{TV}$  производят по величине «коэффициента жесткости допуска» [2]:

$$K_D = 1 - \frac{\Delta_{\phi}}{\delta_{TV}} \quad (1)$$

Так как окончательные размеры конструкций ЛА образуются на этапе сборки, то на практике величину допусков на обводообразующие детали стремятся уменьшить технологическими приемами, доводя коэффициент  $K_d$  до значений 0,1 ... 0,3, создавая таким образом запас точности на сборку. Однако при этом результате возрастают трудоемкость изготовления обводообразующей оснастки и изготовления по ней деталей, оцениваемые как двукратное увеличение затрат на их формообразование.

Особую роль в обеспечении точности обводов конструкции планера выполняют сборочные приспособления, которые изготавливают с точностью базовых устройств, превышающей в 1,5...2 раза величину допустимых отклонений аэродинамических обводов собираемых в них конструкций. Согласно статистическим данным точность изготовления и монтажа базово-фиксирующих устройств сборочных приспособлений лежит в пределах  $\Delta_{БФУ} = \pm 0,05 \dots \pm 0,7$  мм [4]. Для достижения такой точности применяют специальные технические средства: плаз-кондуктор, инструментальный стенд, станки с числовым программным управлением, оптические приборы, лазерные центрирующие и измерительные устройства, программные координатно-измерительные установки (таблица 3).

Таблица 3

**Точность изготовления и монтажа сборочных приспособлений  
при различных методах увязки форм и размеров**

Наименование методов и средств увязки форм и размеров	Точность мм.
1. Плазово-шаблонный метод и использование плоских шаблонов приспособления (ШП)	$\pm 0,3 \dots \pm 0,7$
2. Эталонно-шаблонный метод и использование монтажных эталонов	$\pm 0,3 \dots \pm 0,5$
3. Координатно-шаблонный метод и использованием плаз-кондуктора и инструментального стенда	$\pm 0,3 \dots \pm 0,7$
4. Инструментальный метод с использованием оптических приборов (нивелира, теодолита, автоколлиматора)	$\pm 0,15 \dots \pm 0,25$
5. Инструментальный метод с использованием лазерных центрирующих и измерительных устройств	$\pm 0,05 \dots \pm 0,15$

Вследствие того, что затраты на достижение максимальной точности изготовления и увязки сборочных приспособлений являются разовыми при подготовке производства, то экономически целесообразно произвести большие первоначальные затраты и обеспечить их точность в пределах  $\Delta_{БФУ} = (0,3 \dots 0,5) [\delta_{Изд}]_{ТУ}$ .

О тенденции роста объема затрат на производство обводообразующей оснастки свидетельствует фактическое распределение удельной трудоемкости на изготовление по видам технологической оснастки для производства самолетов среднего класса (таблица 4).

**Удельный вес трудоемкости изготовления оснастки для  
производства самолетов среднего класса**

Вид технологической оснастки	Трудоемкость, нормо-ч/м <sup>2</sup>
1. Плазово-шаблонная оснастка (шаблоны, эталоны, макеты и др.)	4,5...6,5
2. Заготовительно-штамповочная оснастка (штампы, обтяжные пуансоны, формблоки, оправки и др.)	24...27
3. Механообрабатывающая оснастка (фрезерные, токарные, сверлильные и др. приспособления)	16...17
4. Литейная и сварочная оснастка (модели, сварочные приспособления и др.)	6,0...11
5. Сборочная оснастка	25...40
6. Специальный режущий инструмент	7,5...9,5

Очевидно, что изложенная система обеспечения заданной точности форм и размеров, обеспечивающая геометрическое качество собранных конструкций, взаимозаменяемость деталей и взаимозаменяемость конструктивных элементов планера ЛА, должна быть оценена в зависимости от величины затрат «коэффициентом взаимособираемости» дополнительных расходов на доводочно-компенсационные работы:

$$K_{\text{доп}} = \frac{Z_{\text{уст}} + Z_{\text{дов}}}{Z_{\text{уст}}} = 1 + \frac{Z_{\text{дов}}}{Z_{\text{уст}}}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{уст}}$  – величина затрат на установку-базирование деталей в сборочном приспособлении,

$Z_{\text{дов}}$  – величина затрат на доводочно-компенсационные работы, т.е. затраты на компенсацию разности между фактической погрешностью  $\Delta_{\phi}$  и заданным допуском  $\delta_{\text{ТУ}}$ .

Если принять, что доводочные затраты  $Z_{\text{дов}}$  пропорциональны величине погрешностей, то их можно определить по зависимости:

$$Z_{\text{дов}} = A(\Delta_{\phi} - \delta_{\text{ТУ}}), \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент, определяемый в зависимости от способов компенсации погрешностей при сборке. Так при компенсации отклонений (погрешностей) обводов обшивок при сборке панелей различными способами доводки трудоемкость колеблется от 1,0 до 35,0 нормо-ч/м<sup>2</sup> (таблица 5).

**Удельная трудоемкость операций доводки обводов панелей ЛА**

Тип панелей	Способы компенсации отклонений	Трудоемкость нормо-ч/м <sup>2</sup>
Тонколистовые обшивочные панели	1. Предварительная правка-рихтовка обшивок	5,0...20,0
	2. Деформирование и прижим обшивок к базовым устройствам приспособления	1,0...3,0
Монолитно-сборные панели	1. Комплектовка с фрезированием припусков	8,0...12,0
	2. Доводка припиловкой по месту в процессе сборки	20,0...35,0

Приведенные в таблице 5 значения удельной трудоемкости доводочных операций в пересчете на абсолютные значения трудоемкости для панелей самолетов среднего класса (типа пассажирских самолетов Ту-134, Ту-154) составляют 200...800 нормо-ч для тонколистовых панелей и 400...1600 нормо-ч для монолитно-сборных панелей [3].

Отсюда следует вывод о необходимости оценки целесообразности степени ужесточения требований к повышению коэффициента  $K_d$  (1), что приведет к уменьшению  $\Delta_\phi$  и увеличению коэффициента  $K_{доп}$  и расширению  $\Delta_\phi$ , что ведет к резкому увеличению затрат при сборке.

Как следует из вышеизложенного, между затратами на доводочно-компенсационные работы (характеризуемые коэффициентом взаимособираемости  $K_{доп}$ ) и точностными параметрами размерной технологичности деталей и изделий (характеризуемые коэффициентом жесткости допусков  $K_d$ ) существует определенная взаимосвязь. Воспользовавшись зависимостями (1,2,3), получено следующее выражение:

$$K_{доп} = \frac{1}{1 + K_d} \quad (4)$$

**Выводы**

Анализ зависимости (4) показывает, что при принятии конкретных конструктивно-технологических решений, когда уровень коэффициента жесткости допусков  $K_d$  на обводообразование деталей можно принять близким к нулевому, что соответственно, приблизит к единице коэффициент взаимособираемости  $K_{доп}$ , то будет отсутствовать необходимость в доводке контуров и в дополнительных затратах на компенсацию погрешностей при сборке. Однако и запаса допуска на сборку так же не будет, т.к.  $K_d = 0$  только при условии  $\Delta_d = [\delta]_{гв}$ . Для создания необходимого запаса допуска на сборку порядка  $0,5...0,7[\delta]_{гв}$ , необходимо, чтобы  $K_d \leq 0,3...0,5$ . При этом коэффициент взаимособираемости снизится до  $K_{доп} = 0,59...0,67$ . Для повышения  $K_{доп}$  следует

сбалансировать требования к задаваемой точности с возможностями современной техники и перехода к оборудованию с ЧПУ

### Список литературы

1. Бабушкин А.И. Методы сборки самолетных конструкций. М.: Машиностроение, 1985, - 242с
2. Якушев А.И. Основы взаимозаменяемости и технические измерения. М.: Машиностроение, 1968
3. Кононенко В.Г, Боборыкин Ю.А, Березок А.А. Оптимизация технологических решений при сборке силовых конструкций планера самолета. Сб. «Самолетостроение и техника воздушного флота». Харьков: ХАИ, вып.41, 1976
4. Бабушкин А.А. Обеспечение точности изготовления и точности увязки сборочных приспособлений в авиастроении. Вісник Інженерної академії України. – 2008. - №1. – с 8-11

Поступила в редакцию 12.02.15

## Забезпечення точності виготовлення та проблеми економії витрат в складальних процесах виробництва літальних апаратів

Викладено результати досліджень економії витрат на забезпечення точності утворення аеродинамічних поверхонь літаків. Отримано аналітичні залежності витрат на досягнення заданої точності від методів і засобів виготовлення деталей і складання виробів, прийнятих в літакобудуванні. Це дозволяє на етапі підготовки до виробництва нового літака прийняти економічно і технічно збалансоване оптимальне рішення.

**Ключові слова:** літакобудування, точність аеродинамічних поверхонь, методи і засоби виготовлення, витрати праці, методи ув'язки форм і розмірів, показники якості, показники ефективності.

## This article is devoted to results of investigation of economic expenditure on ensuring of precision aerodynamics of airplane surface

There are analytical correlations of expenditure on the planned precision in depend upon the methods and means of production of manufacturing details and assembly of products received, using in aircraft industry. It gives a possibility to chance economic and technical balanced and optimum decisions during the preparation of manufacturing new airplane.

**Keywords:** aircraft industry, precision, aerodynamics surfaces, methods and means of production, methods of correlation forms and sizes, indices of quality and effectiveness.