

В.Г.Лацкий

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ  
АГРЕГАТОВ САМОЛЕТА

Взаимозаменяемость агрегатов самолета позволяет не только быстро заменять их в процессе эксплуатации, но приводит также к снижению трудоемкости сборки, создает предпосылки для автоматизации процессов сборки и обеспечивает увеличение технического ресурса и надежности конструкции.

Взаимозаменяемость агрегата оценивается коэффициентом взаимозаменяемости  $K_{вз}$ , учитывающим долю подгоночных работ при установке агрегата в общей трудоемкости монтажа агрегата на изделие. При полной взаимозаменяемости  $K_{вз} = 1$ . Однако для многих агрегатов, имеющих сложную форму и сопряжение с посадочным местом по нескольким разъемам, расположенным в разных плоскостях, сохраняется подгонка. Поэтому говорят о неполной взаимозаменяемости, т.е.  $K_{вз} < 1$ .

Обеспечение взаимозаменяемости является комплексной задачей, которая должна решаться при проектировании, подготовке производства, изготовлении агрегата и сборке самолета. Для успешного решения задачи необходим метод оценки достигнутой взаимозаменяемости на каждом из этих этапов. Такой методики определения коэффициента взаимозаменяемости в настоящее время нет.

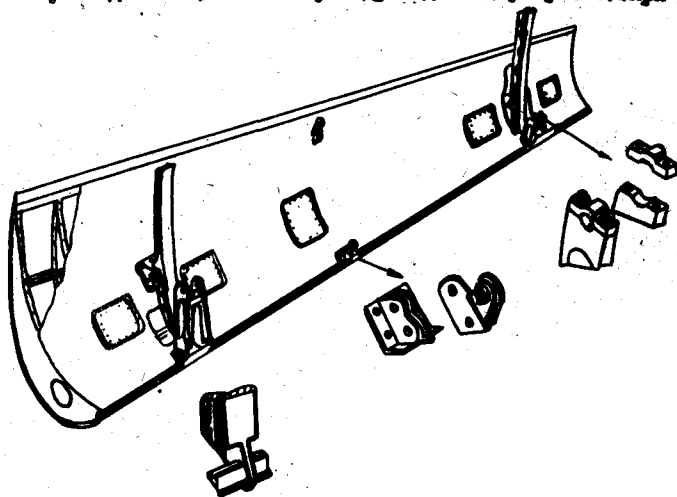
Существующие методы определения коэффициента взаимозаменяемости [1] позволяют определить  $K_{пв}$  только на этапе изготовления агрегата и сборки самолета или для применения компенсаторов [2]. Применение коэффициента жесткости допусков [3] для учета требований взаимозаменяемости при проектировании не отражает особенностей производства.

В настоящей работе автор излагает методику определения коэффициента взаимозаменяемости на основе экономически целесообразной точности изготовления агрегата. Для заданной конструкции агрегата необходимо определить возможно достижимую точность его изготовления в условиях производства, сравнить точность изготовления агрегата с допусками на его геометрические параметры, определить необходимость подгонки при монтаже и, проанализировав трудоемкость подгонки и монтажа агрегата, определить коэффициент взаимозаменяемости агрегата расчетным путем.

Точность изготовления и установки агрегата определяется погрешностями его геометрических параметров, влияющих на взаимозаменяемость. Погрешности геометрических параметров агрегатов определяют расчетом сборочных размерных цепей [4]. Сборочные размерные цепи составляют в соответствии со схемами обеспечения взаимозаменяемости. Погрешности этапов увязки оснастки и технологического процесса сборки заданы нормативами или определены опытным путем. В результате решения размерных цепей по каждому геометрическому параметру сочленения агрегата с посадочным местом определяют ожидаемое значение погрешности этого параметра (замыкающего звена размерной цепи) и распределение этой погрешности при изготовлении агрегата в производстве.


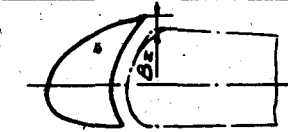
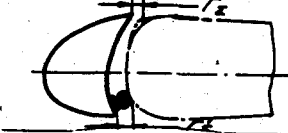
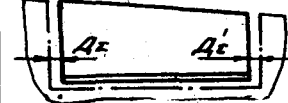

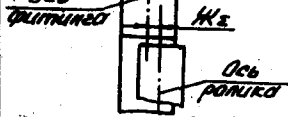
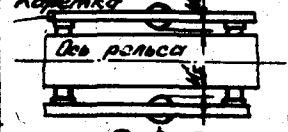
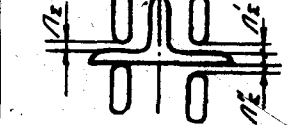
Для агрегатов сложной формы с большим количеством мест сопряжения точность изготовления часто не отвечает заданным требованиям (допускам), что неизбежно приводит к подгонке.

Например, сочленение внутреннего предкрылка самолета ТУ-154 с элементами крыла происходит по подвижным разъемам рельс-каретки, замковому соединению, винтовому гидрозамку (рис.1). При уста-



Р и с. 1. Внутренний предкрылок

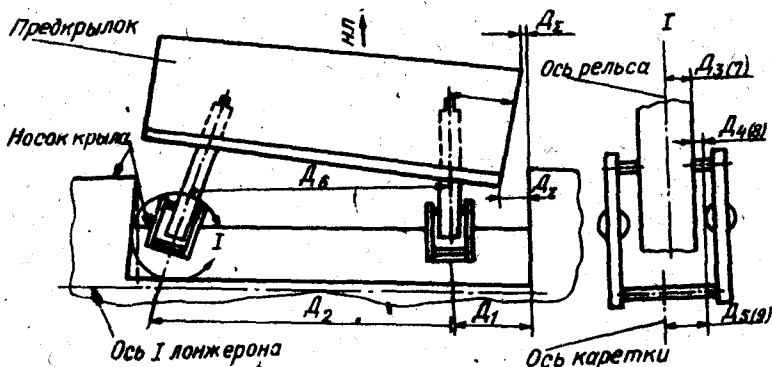
новке предкрылка на крыло необходимо обеспечить в пределах допусков геометрические параметры, определяющие его положение относи-

Наименование геометрического параметра	Эскиз замыкающего звена	Допуск $\sigma$ , мм	Результат расчета	
			$\omega_{x_i}$	$\Delta$
Отклонение от теоретического контура		$\pm 1,0$	1,0	0
Выступление относительно контура крыла		$\pm 1,0$	2,6	1,0
Зазор перпендикулярно набегающему потоку		$\pm 2,0$	3,3	1,3
Зазор между торцом предкрылка и торцом съемного носка крыла		$\pm 2,0$	3,0	-0,5
Зазор между роликом замка и опорным фитингом		$\Sigma \geq 2,0$ $\Sigma' = 0-0,5$	2,5	0,3
Смещение оси ролика относительно опорного фитинга		Не более $\pm 2,5$	2,5	0,3
Зазор между рельсом и боковым роликом каретки		0,05-0,6	1,3	0,2
Зазор между полкой рельса и роликами каретки		0,25-0,45	-	-

Р и с. 2. Геометрические параметры предкрылка, влияющие на взаимозаменяемость в положении "убрано"

тельно крыла (рис. 2). Для определения погрешности одного из геометрических параметров (зазор  $\Delta_2$ ) составлена оборотная размерная цепь (рис. 3). Результат расчета погрешности замыкающего звена ( $\Delta_{хч} = -0,5 \text{ мм}$ ;  $\omega_{хч} = 3,0 \text{ мм}$ ) больше допуска ( $\delta = \pm 2,0 \text{ мм}$ ) на этот параметр. Следовательно, при установке предкрылка необходима подгонка, которая в производстве осуществляется припилькой торца предкрылка.

Таким образом, можно сказать, что операции подгонки неизбежны, когда хотя бы по одному параметру точности агрегата фактические погрешности этих параметров не укладываются в поле допуска. В этом случае взаимозаменяемость будет неполная и необходимо определить  $K_{вз}$ .



Р и с. 3. Схема оборотной размерной цепи по зазору между торцом предкрылка и торцом съемного носка

Коэффициент взаимозаменяемости определяется по формуле

$$K_{вз} = \frac{T_{вз}}{T_{сб}} = \frac{T_k + T_c}{T_k + T_c + T_{под} + T_{а.с}}, \quad (I)$$

- где  $T_{сб}$  - общая трудоемкость монтажа агрегата;  
 $T_{вз}$  - трудоемкость сборки на базе полной взаимозаменяемости;  
 $T_k$  - трудоемкость взаимной координации агрегата и посадочного места;  
 $T_c$  - трудоемкость соединения агрегата с посадочным местом;

$T_{под}$  - трудоемкость операций подгонки;

$T_{дс}$  - трудоемкость выполнения дополнительных операций сборки.

Составляющие трудоемкости  $T_{сб}$  в разной степени зависят от точности изготовления агрегата, поэтому необходимо четко определить порядок их расчета.

Для рассмотренного примера (внутреннего предкрылка) трудоемкость на базе полной взаимозаменяемости ( $T_{вз} = T_{к} + T_{с}$ ) можно представить в виде

$$T_{вз} = T_{н.п} + T_{у.сб.п} + T_{с.п} + T_{конт}, \quad (2)$$

где  $T_{н.п}$  - трудоемкость навески предкрылка;

$T_{у.сб.п}$  - трудоемкость установки в сборочное положение (накатка предкрылка в сборочное положение);

$T_{с.п}$  - трудоемкость соединения подъемников;

$T_{конт}$  - трудоемкость контроля геометрических параметров установки предкрылка.

Составляющие трудоемкости  $T_{вз}$  состоят из типовых переходов сборочных операций и определяются по нормативам на агрегатную сборку [5].

Трудоемкость  $T_{дс}$  связана с трудоемкостью  $T_{под}$ , так как вызвана необходимостью обеспечить подходы к месту подгонки. Таким образом,  $T_{дс}$  можно представить

$$T_{д.с} = T_{дем} + T_{монт}, \quad (3)$$

где  $T_{дем}$  - трудоемкость операций демонтажа для обеспечения подхода к месту подгонки;

$T_{монт}$  - трудоемкость обратного монтажа после осуществления подгонки.

Операции демонтажа и монтажа зависят от конструкции агрегата и состоят из типовых переходов, которые имеют постоянные нормы времени, определенные нормативами [5]. При определении  $T_{дс}$  необходимо учесть, что для подхода к разным местам подгонки может требоваться одна и та же разборка.

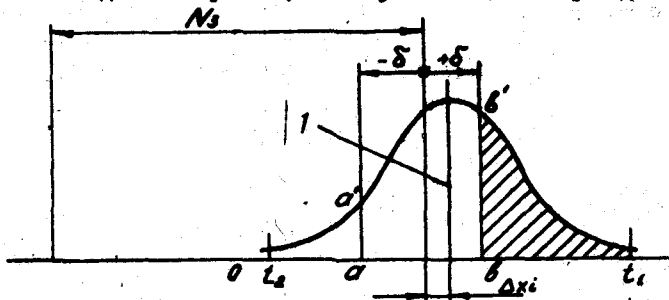
В рассматриваемом примере для подхода к месту подгонки (припиловки торцев) необходимо выпустить предкрылок (от ручного привода), поэтому  $T_{дс} = T_{вып}$ , т.е. трудоемкости выпуска предкрылка.

Большие трудности возникают при определении трудоемкости  $T_{под}$  ввиду сложности определения факторов продолжительности операций

подгонки (геометрические характеристики места подгонки, величина снимаемого припуска, класс точности при обработке). Для определения факторов продолжительности операций подгонки необходимо определить величину компенсации погрешности геометрического параметра агрегата, т.е. величину, на которую необходимо изменить эту погрешность (припилить, пришабрить, рассверлить, подколлотить, отрегулировать, т.е. подогнать).

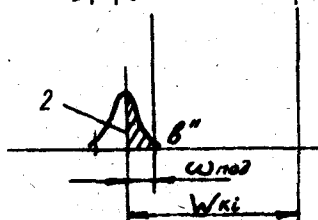
Компенсацию ( $W_{X_i}$ ) по каждому геометрическому параметру агрегата определяют сравнением поля допуска ( $2\delta$ ) этого параметра с погрешностью в результате расчета размерной цепи. При расчете размерной цепи получают погрешность замыкающего звена в виде координат центра группирования погрешности геометрического параметра ( $\Delta X_i$ ) и половины размаха погрешности параметра ( $\omega_{X_i}$ ). При расчете величины компенсации необходимо также учесть точность заключительной операции подгонки, т.е. половину размаха погрешности подгонки ( $\omega_{под}$ ).

На рис. 4 показана схема определения величины компенсации для рассмотренного примера (нерегулируемый зазор). В результате расчета размерной цепи получено распределение зазора I, соответствующее нормальному закону распределения с границами  $t_1$  и  $t_2$  (степень риска 0,27%). В производстве чаще всего подгонку зазора осуществляют за счет подгонки агрегата, поэтому изменение зазора сминуто



Р и с.4. Схема определения величины компенсации в соединении с нерегулируемым зазором:

aa' и ba' - границы поля допуска ( $2\delta$ ) зазора



к одной границе номинального зазора ( $N_j$ ) с учетом центра группирования погрешности ( $\Delta_{xy}$ ). Значения погрешностей зазора, соответствующих отрезку  $\delta t_1$ , приводит к увеличению зазора за пределы допуска, что может привести к неисправимому дефекту (браку). Поэтому в производстве назначают припуск по длине агрегата. Величина этого припуска и является компенсацией при подгонке. При доработке необходимо обеспечить зазор, соответствующий границе вв, т.е. величина припуска равна  $W_{K1} = \Delta_{xy} + \omega_{xy} - \delta$ . Однако заключительная операция подгонки имеет свою погрешность с распределением 2. Для обеспечения зазора в пределах допуска необходимо увеличить припуск (компенсацию) на половину размаха погрешности подгонки. Итак, минимально необходимая компенсация равна

$$W_{K2} = \omega_{xi} - \delta + \Delta_{xi} + \omega_{под} \quad (4)$$

Необходимо отметить, что погрешность операции подгонки ( $2\omega_{под}$ ) должна быть не больше половины поля допуска ( $\delta$ ), т.е.

$$\omega_{под} \leq \frac{\delta}{2} \quad (5)$$

Соотношение (5) обусловлено тем, что в процессе сборки может потребоваться доработка и посадочного места. Из (5) определяется класс точности обработки при подгонке, а в соответствии ему подбирается оборудование.

По известной величине компенсации для типовой операции подгонки, выбранной с учетом соотношения (5), в нормативах [5] выбирают формулу для расчета трудоемкости подгонки и определяют величину трудоемкости  $T_{подi}$  для данного параметра. Общая трудоемкость подгонки агрегата равна

$$T_{под} = \sum_{i=1}^n T_{подi} \quad (6)$$

где  $n$  - число геометрических параметров, влияющих на взаимозаменяемость агрегата.

Таким образом, подставляя в формулу (1) составляющие трудоемкостей  $T_{вз}$  и  $T_{об}$ , определенные по формулам (2), (3) и (6), определим ожидаемый коэффициент взаимозаменяемости агрегата.

По предложенной методике произведен расчет коэффициента производственной взаимозаменяемости внутреннего предкрылка самолета ТУ-154. В результате расчета размерных цепей по основным гео-

метрическим параметрам получены величины погрешностей этих параметров (рис.2). По известным величинам компенсации определена  $T_{\text{под}} = 3,65$  н/час. Исходя из конструкции агрегата и нормативов [5], определены:  $T_{\text{вз}} = 3,28$  н/час и  $T_{\text{дс}} = 1,20$  н/час.

Подставляя в формулу (1), получим  $K_{\text{пв}} = \frac{3,28}{7,13} = 0,46$ . Коэффициент производственной взаимозаменяемости, определенный в условиях серийного производства, равен  $K_{\text{пв}} = 0,55$ . Расхождение в значениях  $K_{\text{пв}}$ , полученных расчетом и определенных в условиях серийного производства, объясняется различием в подходе при определении  $T_{\text{под}}$ .

## В ы в о д ы

1. Коэффициент производственной взаимозаменяемости может быть определен расчетным путем на этапе проектирования и подготовки производства.

2. Трудоемкость подгоночных работ зависит от конструкции соединений агрегата с элементами крыла и от величины компенсации, которая определяется на основании расчета размерных цепей по функциональным параметрам агрегата.

3. При определении величины компенсации необходимо учитывать точность заключительной операции подгонки.

## Л и т е р а т у р а

1. Григорьев В.П. Взаимозаменяемость агрегатов в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1969.
2. Миркин И.Я. Об оценке взаимозаменяемости агрегатов планера при серийном производстве изделий. - Авиационная промышленность, № 9, 1971.
3. Коноров Д.А., Косорук Н.И. К вопросу обеспечения взаимозаменяемости в самолетостроении. - Авиационная промышленность, № 8, 1959.
4. Горбунов И.Н. Основы технологии производства самолетов. М.: Машиностроение, 1976.
5. Нормативы времени на узловую и агрегатную сборку. НИАТ, 1973.