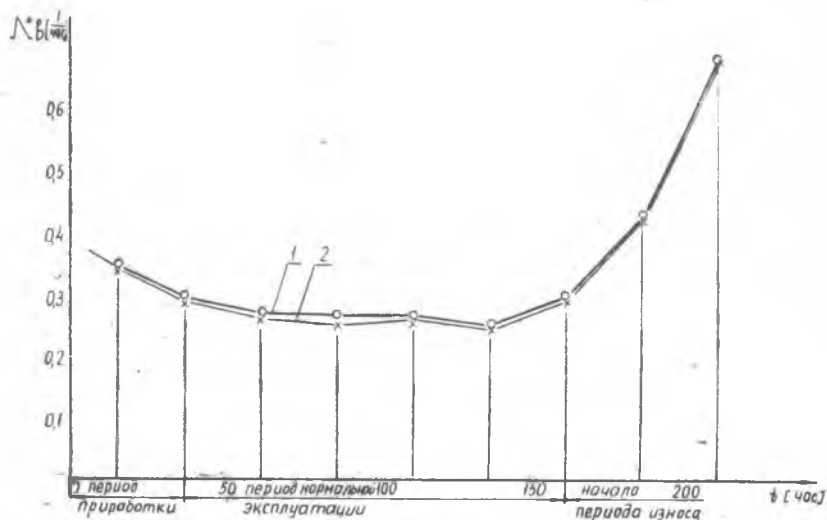


В. А. ГРЕШНИКОВ

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ САМОЛЕТНЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ КОМПЛЕКСНОЙ ПРИРАБОТКИ С НАЛОЖЕНИЕМ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

Начальный период эксплуатации летательного аппарата (ЛА) (период приработки) характерен повышенной интенсивностью отказов или пониженной средней наработкой на отказ. В этот период преобладают отказы, возникающие в результате скрытых неисправностей, вызванных ошибками при проектировании, несовершенной технологией и ошибками при монтаже (сборке) изделий. Это наглядно иллюстрируют данные, приведенные на фиг. 1, где показано



Фиг. 1. Изменение суммарного статистического параметра потока отказов в зависимости от наработки летательного аппарата.

изменение суммарного статистического параметра потока отказов λ_{Σ}^* летательного аппарата легкого типа в зависимости от времени эксплуатации t . Кривые на фиг. 1 построены по данным эксплуатации восьми изделий. Для снижения числа отказов и неисправностей в начальный период эксплуатации применяются наземная технологическая приработка и контрольно-сдаточные испытания, в результате которых можно достигнуть значительного повышения надежности ЛА. В процессе такой приработки аппаратуру и системы ЛА заставляют работать в условиях, близких к эксплуатационным.

При наземной технологической приработке к агрегатам и системам подводится рабочая нагрузка, но без имитации противодействующих нагрузок, возникающих в полете (аэродинамических, температурных, вибрационных и других).

В процессе летных контрольно-сдаточных испытаний проверка работоспособности и контроль параметров всех систем происходит в условиях эксплуатации. Общее время налета ЛА при контрольно-сдаточных испытаниях зависит от типа ЛА, количества проверяемых летно-технических данных, количества контрольно-сдаточных полетов.

Из фиг. 1 следует, что длительность периода приработки ЛА в эксплуатации колеблется от 35 до 60 часов. Таким образом, длительность проведения контрольно-сдаточных испытаний и наземной технологической приработки не соответствует периоду приработки агрегатов и систем ЛА. Это создает условия для сдачи в эксплуатацию ЛА с наличием скрытых дефектов. Но в то же время простое увеличение длительности летных испытаний и наземной технологической приработки связано с большими материальными затратами и увеличением производственного цикла сдачи готовой продукции. Указанное обстоятельство делает важной задачу увеличения эффективности наземной технологической приработки систем ЛА.

Основная цель, которая должна быть достигнута за период наземной технологической приработки, состоит в уменьшении числа отказов и неисправностей в начале эксплуатации. Для этого необходимо в процессе приработки отбраковать дефектные элементы. Общим критерием для выбора методов и интервала времени технологической приработки может служить для восстанавливаемых систем ЛА установление постоянного параметра потока отказов или неисправностей.

Распространенные в промышленности методы технологической приработки делятся на автономные и комплексные.

При автономных методах приработки изолированно проверяются изменения параметров в зависимости от наработки у блоков, агрегатов, приборов и элементов коммуникаций. По режимам нагружения автономные приработки делятся на приработки с применением внешних нагрузок (с созданием особых механических, электрических, температурных и других режимов работы, близких к эксплуатационным) и приработки без применения внешних нагрузок (без

создания особых режимов). Приработки проводятся с использованием специальных стендов, контрольной аппаратуры и имитаторов нагрузок.

При комплексных методах приработки производится проверка изменения параметров в зависимости от наработки у полностью смонтированных систем или отдельных участков. При этом проводится проверка коммуникаций, учитывается взаимное влияние различных систем или различных участков одной системы.

Комплексная приработка, естественно, полнее удовлетворяет требованию о максимальном приближении условий приработки к условиям эксплуатации, но зато автономную приработку можно осуществить раньше, не ожидая монтажа всей системы. Кроме того, при автономной приработке проще создавать особые режимы работы.

Основными недостатками указанных методов приработки являются:

1. При автономных приработках не учитывается взаимное влияние агрегатов, участков и коммуникаций систем. Не производится проверка качества монтажа. Применение особых режимов не полностью имитирует условия эксплуатации.

2. При комплексных приработках всех систем учитывается влияние лишь некоторых внешних факторов (нагрузок).

Хотя проверка (приработка) приборов, аппаратуры и систем выполняется многократно (входной контроль в специализированных лабораториях, технологическая приработка, проверка функционирования и т. д.), указанные недостатки не позволяют обеспечивать высокую эксплуатационную надежность в начальный период эксплуатации.

Действительно, такие отказы и неисправности как обрыв нитей накала ламп, выпадение радиоламп из панелей, трещины на обшивке планера, разрушение паяк и другие выявить существующими методами приработки невозможно, т. к. их основной причиной могут являться значительные вибрации ЛА при эксплуатации. Измерения показывают, что в полете виброперегрузка может достигать значений $n_y = (0,5 \div 7,0) g$, а частота $f = 10 \div 200$ гц.

Для уменьшения влияния приработочных отказов на надежность ЛА в эксплуатации и сокращения времени «тренировочных» и контрольно-сдаточных испытаний предлагается проведение комплексной приработки с применением вибраций.

Сущность предлагаемого метода приработки сводится к тому, что наряду с проведением автономных испытаний приборов и оборудования в лабораториях входного контроля, а также технологической отработкой систем в сборочных цехах, проводятся испытания систем и оборудования в комплексе с коммутационной аппаратурой при действии искусственно создаваемых вибраций. Испытания проводятся при номинальной нагрузке в каждой системе (электрической, гидравлической, пневматической). Периодически во время испытаний производится широкая и всесторонняя проверка систем объек-

тивными средствами контроля. Проверкой охватываются все наиболее типичные режимы работы оборудования и систем. Предлагаемый метод приработки учитывает тот факт, что в условиях эксплуатации ЛА подвергается действию вибраций и создает условия проверки, более близкие к эксплуатационным условиям (вибрации, тепловое воздействие и некоторый уровень рабочих нагрузок).

При проведении комплексной приработки с применением вибраций важным является выбор уровня нагрузок, времени непрерывной работы и общего времени приработки. Уровень нагрузок, при котором работают элементы в системе, определяет величину ожидаемой интенсивности отказов. Поэтому выбор уровня нагрузок во время приработки в основном будет определять эффективность данного метода. Выбор уровня нагрузок определяют следующие факторы:

1. Фактический уровень нагрузок, воздействующих на оборудование и системы при эксплуатации, определяемый при проведении ресурсных или других длительных специальных испытаний на различных режимах эксплуатации.

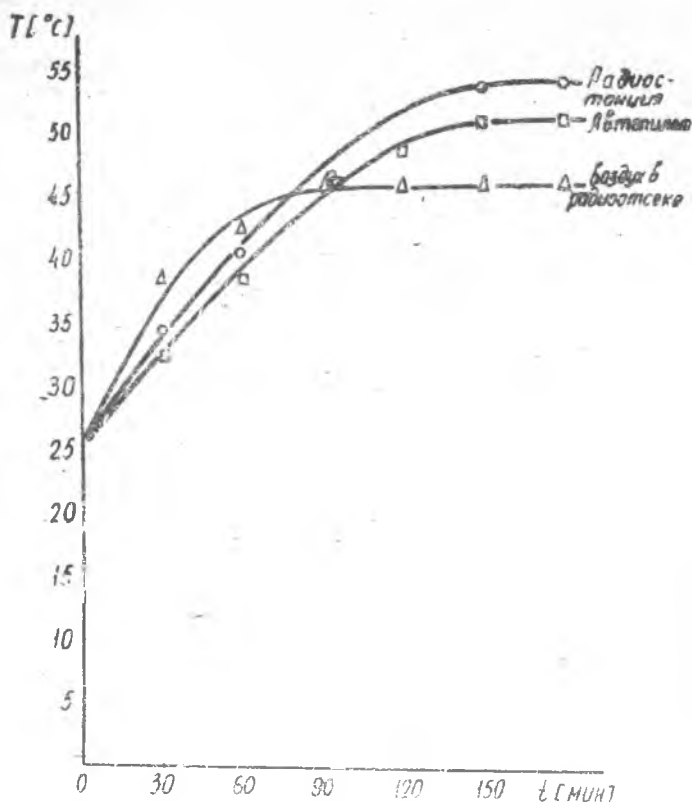
2. Длительность различных режимов эксплуатации, зависящая от типа ЛА.

3. Допускаемые величины температур и вибраций, определяемые техническими условиями на оборудование, приборы, агрегаты.

4. Предел усталости материалов конструкции.

Обычно фактический уровень нагрузок, воздействующих на системы и оборудование ЛА, соответствует в основном уровню допускаемых температур и вибраций, оговоренному в ТУ на эти системы и оборудование. Поэтому выбор уровня нагрузок в процессе приработки будет определять третий из указанных выше факторов. Уровень нагрузок принимается равным минимально допустимому уровню из оговоренных в ТУ на все агрегаты и системы ЛА. Например, для рассматриваемого ЛА легкого типа ограничения на характеристики вибрации накладываются по частоте агрегаты системы опознавания ($f=70$ гц), по виброускорениям — оборудование «слепой» посадки (амплитуда виброускорения $A_i = 2g$). С точки зрения усталостной прочности такие числовые характеристики вибрации оказываются вполне приемлемыми. Исследования [1] показывают, что частота вибраций до $f=280$ гц существенно не отражается на характеристиках усталости.

Нагрев оборудования в процессе приработки может ограничивать время непрерывной работы. При известной допустимой температуре нагрева время непрерывной работы легко определяется с помощью экспериментального графика зависимости температуры от времени наработки. На фиг. 2 показан такой график для рассматриваемого ЛА. При допустимой температуре 50°C время непрерывной работы равно 120 мин.



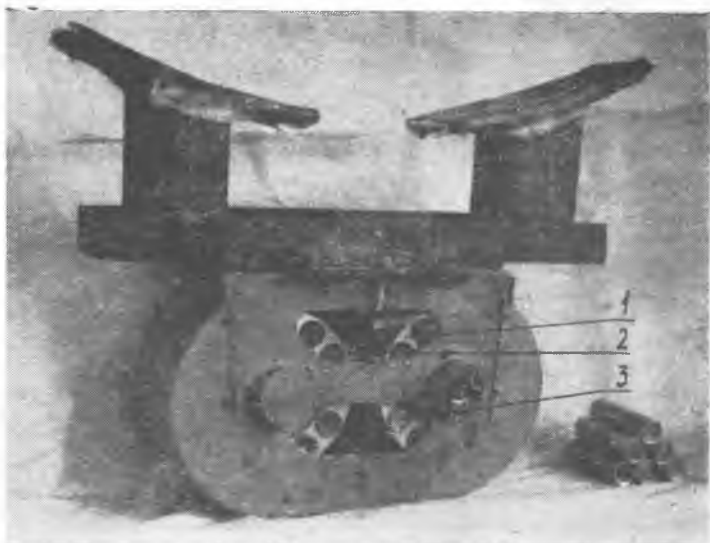
Фиг. 2. Изменение температуры агрегатов летательного аппарата и окружающего воздуха в зависимости от времени непрерывной работы.

Общее время, потребное на приработку, определяется известными соотношениями [2], [3] по аналитической закономерности распределения приработочных отказов и заданной средней наработке на отказ, которую нужно достигнуть для нормальной эксплуатации (за вычетом времени общей наработки в процессе контрольно-сдаточных испытаний).

Контроль уровня вибронагрузок можно проводить путем замера амплитуды вибросмещений A_s , которая определяется по выбранной величине A_i с помощью формулы

$$A_s = \frac{A_i \cdot 250}{f^2}$$

Для этого целесообразно применить виброаппаратуру АВ-44 с датчиками МВ-22Г и МВ-22В, расположенными на конструкции ЛА в местах наиболее насыщенных оборудованием. Место крепления

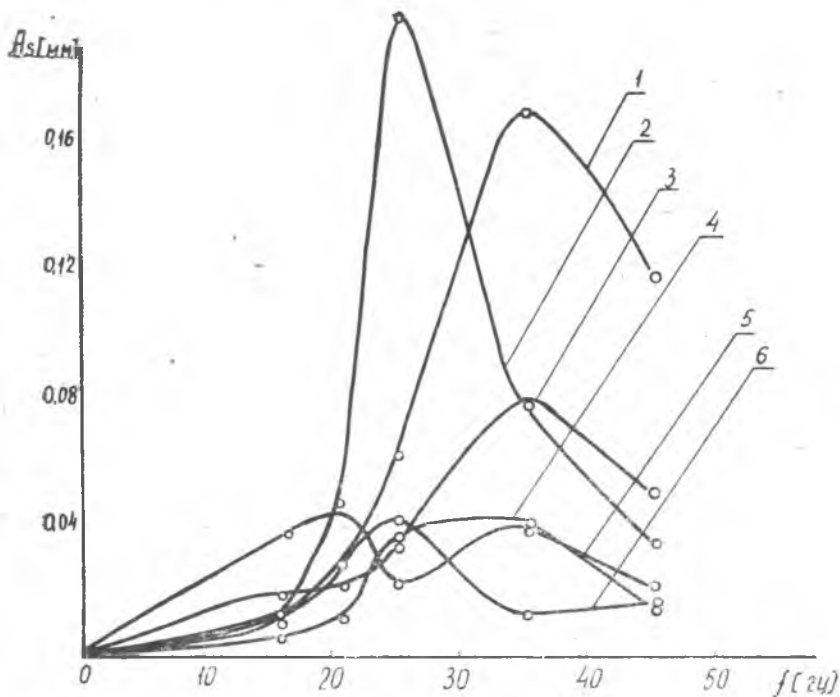


Фиг. 3. Вибратор с ложементом для крепления.
 1 — барабан вибратора; 2 — отверстия для грузов; 3 — грузики.



Фиг. 4. Крепление вибратора.
 1 — моторы постоянного тока; 2 — отверстия для грузов; 3 — грузики

вибратора оказывает существенное влияние на величину A_i (или A_s) и характер ее распределения по элементам конструкции. На фиг. 5 и 6 показаны значения A_s для различных агрегатов рассматриваемого ЛА при различном положении вибратора. Рациональное место крепления вибратора отыскивается опытным путем. Конструкция вибратора состоит из двух цилиндрических барабанов 1 (фиг. 3), с просверленными отверстиями 2 параллельно образу-

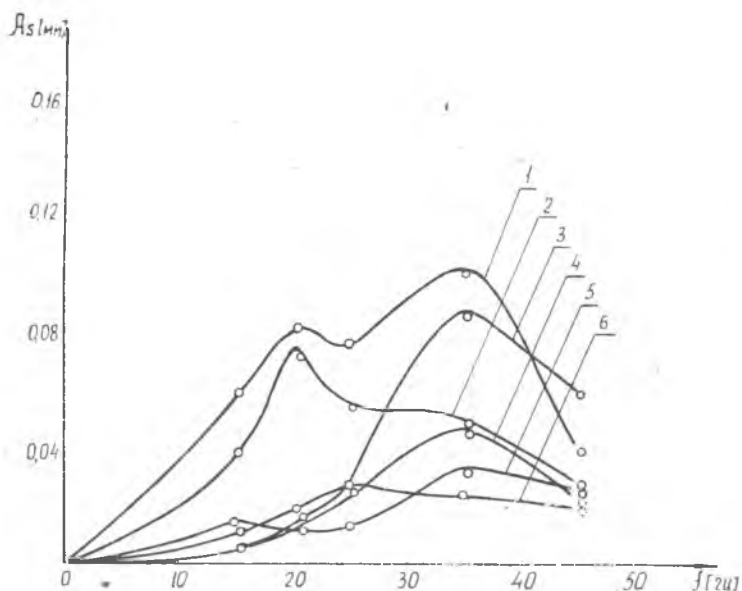


Фиг. 5. Изменение амплитуд колебаний летательного аппарата при установке вибратора в центре тяжести.

1 — колебания носовой части фюзеляжа; 2 — колебания крыла в вертикальной плоскости; 3 — колебания фюзеляжа в вертикальной плоскости; 4 — колебания фюзеляжа в поперечной плоскости; 5 — колебания фюзеляжа в продольной плоскости; 6 — колебания крыла в поперечной плоскости.

ющей и кинематически связанных между собой с помощью цилиндрических шестерен. Для создания возмущающей силы в отверстия цилиндров вставляются грузики 3. Величина возмущающей силы зависит от веса грузиков и их количества. Один из возможных вариантов крепления вибратора к конструкции ЛА показан на фиг. 4. Вращение барабанов вибратора производится электромотором постоянного тока 1. Регулировка оборотов осуществляется реостатом, расположенным на пульте управления 2. Для замера числа оборотов барабанов вибратора применялась стандартная измерительная аппаратура ТСФУ-1.

После определения рассмотренных параметров вибраций и оборудования для процесса комплексной приработки ее целесообразно проводить в следующем порядке.



Фиг. 6. Изменение амплитуд колебаний летательного аппарата при установке вибратора на расстоянии $A = 5700$ мм от центра тяжести

1 — колебания приборной доски в вертикальной плоскости; 2 — колебания приборов, установленных на амортизаторах, в вертикальной плоскости; 3 — колебания фюзеляжа в вертикальной плоскости; 4 — колебания фюзеляжа в поперечной плоскости; 5 — колебания фюзеляжа в продольной плоскости; 6 — колебания крыла в поперечной плоскости.

1. Подключить к ЛА наземные средства питания (постоянный и переменный ток, гидравлическое давление и т. д.) и контрольную аппаратуру для замера параметров работы систем.

2. Произвести проверку всех систем ЛА на функционирование и замерить параметры их работы.

3. Закрепить вибратор на конструкции фюзеляжа (корпуса) и датчики МВ-22Г и МВ-22В.

4. Включить все источники питания и системы ЛА в нормальный режим работы.

5. Включить вибратор и создать вибрации с характеристиками в заданных пределах.

6. Постоянно осуществлять контроль за характеристиками вибраций, режимами работы систем и температурой нагрева приборов и оборудования.

7. Изменения режима приработки производить в соответствии с разработанной программой испытаний.

Метод приработки	Длитель- ность приработки (час)	Суммарный палет (час)	Отказы			Неисправности		
			число отказов	средний параметр потока отказов	среднее время наработки на отказ (час)	число неисправ- ностей	средний параметр потока неисправ- ностей	среднее время наработки на неисправность (час)
Без приработки	—	23,67	11	0,465	2,15	25	1,05	0,95
Автономная приработка	6	23,17	11	0,476	2,10	20	0,865	1,16
Комплексная приработка	10	28,50	13	0,458	2,20	12	0,423	2,37
Комплексная приработка с виб- рациями	10	23,57	4	0,169	5,92	7	0,295	3,40

Комплексная приработка с наложением вибраций по сравнению с другими методами дает уровень нагрузок, наиболее близкий к эксплуатационному. При этом методе одновременно воздействуют нагрузки вибрационные, температурные и некоторый уровень рабочих нагрузок. Это позволяет уже в процессе приработки выявить такие отказы и неисправности, как обрыв элементов соединений, смещение подвижных частей, нарушение разъемных соединений, разрушение паек, замыкания и размыкания контактов, разрушение нитей накала ламп, замыкание близкорасположенных проводников на элементы конструкции, разрушение элементов конструкции и другие. За счет температурного воздействия выявляются такие отказы и неисправности, как изменение люфтов в движущихся соединениях, изменение натяжения тросов управления, размыкание или замыкание контактов вследствие коробления, размягчение и нарушение изоляции, нарушение герметичности соединений, изменение прочности конструктивных элементов, изменение значений электрических констант, потеря смазочных свойств и другие.

Сравнение эффективности различных методов приработки, произведенное по изменению среднего параметра потока отказов (или по средней наработке на отказ) при летных контрольно-сдаточных испытаниях, представлено в таблице № 1. Из приведенных данных следует, что 10-часовая комплексная приработка практически не увеличивает среднего времени наработки на отказ по сравнению с 6-часовой автономной приработкой.

Для увеличения этого времени требуется значительное увеличение длительности приработки. При 10-часовой комплексной приработке с применением вибраций среднее время наработки на отказ возросло в 2,7 раза, параметр потока отказов снизился в 2,7 раза по сравнению с комплексной приработкой без применения вибраций.

Это позволяет рекомендовать метод комплексной приработки с наложением вибраций для практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Испытания деталей машин на прочность, сб. статей, Машгиз, М., 1960.
2. А. Д. Епифанов. Надежность автоматических систем. Машиностроение, 1964.
3. И. Базовский. Надежность, теория и практика, Изд-во «Мир», 1965.