



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

Факультет «Авиационное строительство»

Кафедра «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования»

## **Ремонт**

*Методические указания к контрольной работе студентов заочной формы  
обучения направления подготовки  
25.03.01 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей»*

Ростов-на-Дону  
2025

## Содержание

Введение .....	5
1. Цель и задачи дисциплины.....	10
2. Содержание дисциплины для подготовки на очном отделении.....	10
2.1. Наименование разделов, их содержание, объем в часах лекционных занятий.....	10
2.2. Перечень лабораторных работ и их объем в часах .....	16
2.3. Перечень практических занятий и их объем в часах .....	17
2.4. Перечень других видов занятий (индивидуальные занятия с преподавателем).....	18
3. Содержание дисциплины для подготовки на заочном отделении.....	18
3.1. Наименование разделов, их содержание, объем в часах лекционных занятий .....	18
3.2. Перечень лабораторных работ и их объем в часах .....	19
3.3. Перечень других видов занятий (индивидуальные занятия с преподавателем).....	19
4. Литература по лекционному курсу, лабораторным и практическим занятиям.....	20
5. Дополнительная литература.....	23
6. Методические указания и задания на контрольную работу.....	27
6.1. Задание на контрольную работу.....	27
6.2. Методика выполнения примерного расчета по контрольной работе.....	29

## Введение

В процессе эксплуатации детали и соединения АТ изменяют исходное состояние – **повреждаются**. Накопление повреждений приводит к возникновению **неисправности** изделия, когда оно не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации. Накопление или рост неисправностей может вызвать **отказ** - нарушение работоспособности изделия.

Неисправности обнаруживают и устраняют в процессе эксплуатации АТ и на специализированных ремонтных заводах в процессе восстановления работоспособности.

Термины "**ремонт**" и "**восстановление**" часто неверно применяют как синонимы.

**Восстановить** АТ - означает привести ее свойства, утраченные в процессе эксплуатации, в состояние, соответствующее требованиям технических условий на его поставку.

**Ремонт** АТ - комплекс организационных, технических и экономических мероприятий по предупреждению или устранению неисправностей и повреждений с целью сохранения или восстановления ее работоспособности. Эта формулировка объединяет мероприятия по ремонту как в процессе эксплуатации ЛА, так и на ремонтных заводах.

**Эксплуатационные мероприятия преследуют цель поддержания работоспособности АТ в течение установленного ресурса.**

**Мероприятия, проводимые на специализированных авиаремонтных предприятиях, преследуют цель восстановления всех характеристик АТ, в том числе ресурса и надежности.**

Эти принципиальные различия показаны на рисунке.

Особенностью настоящего времени является: существенный спад производства авиационной техники (АТ), активное продление межремонтных ресурсов и сроков службы, неохотное финансирование авиакомпаниями работ по капитальному ремонту и другие негативные факторы привели к тому, что **подавляющий объем авиaperевозок выполняется на воздушных судах (ВС), основная часть которых находится на завершающей стадии эксплуатации с исчерпанными возможностями по продлению ресурсов.**

**Вернуть эти ВС в строй можно только путем восстановления в процессе ремонта.** И в этом есть потребность авиационного рынка.

Этим в первую очередь объясняются **три основные тенденции**:

1. Создание центров технического обслуживания и ремонта (ТоиР) на базе авиационно – технических баз.
2. Создание центров ТоиР на базе специализированных заводов по ремонту.

### 3. Создание сервисных центров ТоиР на базе предприятий авиационной промышленности (заводов-изготовителей и КБ).

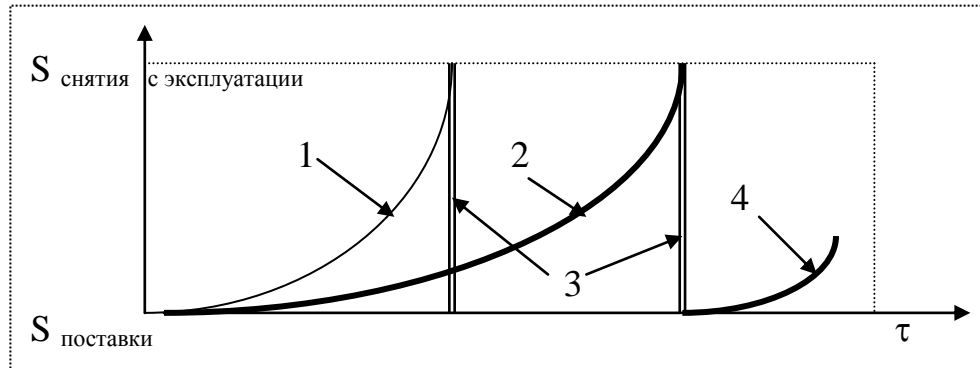


Рис. Принципиальная разница мероприятий в эксплуатации и на специализированных авиаремонтных предприятиях.

Обозначения на рисунке:

$S$  поставки и  $S$  снятия с эксплуатации - энтропия ЛА (степень внутренней неупорядоченности, дезорганизации, деградации системы; мера несоответствия системы квалиметрическим показателям качества; степень износа системы и т.д.) соответственно в состоянии поставки и снятия с эксплуатации по достижении опасного уровня.

$\tau$  - время эксплуатации

1. Рост энтропии при отсутствии мероприятий в эксплуатации.
2. Рост энтропии при проведении мероприятий в эксплуатации.
3. Снижение энтропии при проведении мероприятий на специализированных авиаремонтных предприятиях.
4. Рост энтропии при послеремонтной эксплуатации.

Деятельность предприятий, специализирующихся в сфере ТОиР, осуществляется в условиях жесткой конкуренции; свои услуги предлагают не только те, кто традиционно специализировался на этом виде деятельности, т.е. авиационно-технические базы и ремонтные заводы, но и заводы изготовители, разработчики авиационной техники, предприятия Министерства обороны и бывшего ДОСААФ, страны ближнего зарубежья. Предложение услуг по ремонту увеличилось примерно в 2,5 раза. Острая конкурентная борьба наблюдается как на уровне самолета или двигателя, так и на уровне отдельных комплектующих. Это привело к серьезному снижению загруженности специализированных предприятий по ремонту АТ; рынок ТОиР сейчас переполнен, предложение намного превышает спрос.

**Мировой опыт свидетельствует, что выполнение работ по ТОиР по всем трем формам организации технически и экономически выгодно:**

- «каждый рубль, вложенный в повышение надежности, дает 6 ... 10 рублей экономического эффекта» (Бричко А.С., Могилевский А.Д. Эффективность капитальных вложений и основных фондов в Украинской ССР.- Киев: НИЭИ Госплана УССР, 1983 г.; Чухлин Н. и др. Оценивая по критерию качества.- Экономическая газета. 1985. № 15);
- «стоимость ремонта составляет примерно 50% от нового изделия» (Морозов М.Ю. Техническое обслуживание и ремонт АТ требуют новых подходов.- Воздушный флот, 2003 г. № 46);
- «возможность повторного использования до 70% деталей, что приводит к экономии денежных средств, металла, материалов» (Рыков Н.Н. Организация капитального ремонта машин.- М.: Машиностроение, 1988)
- «себестоимость капитального ремонта автомобилей в заводских условиях не превышает 60-70% затрат на изготовление новых автомобилей, а расход металла на их ремонт в 10 – 15 раз меньше, чем на изготовление новой машины» (Рыков Н.Н. ...)
- «капитальные вложения на капитальный ремонт в 5 – 10 раз меньше, чем на изготовление нового автомобиля» (Рыков Н.Н. ...)
- «Соседство ремонтной базы и основного производства дает не только высокое качество ремонта; информация, поступающая с ремонтного завода, позволяет конструкторам и технологам основного производства более целенаправленно разрабатывать меры по повышению качества серийной продукции, совершенствовать методы расчетов и прогнозирования надежности, уточнять методику ремонтных и технических взаимодействий» (Рыков Н.Н....).
- «капитальный ремонт топливных насосов предусматривает синтез восстановительных операций с действующей технологией основного производства изготовления топливной аппаратуры; при этом необходимые доводочные и финишные операции, полностью восстанавливающие прецизионные поверхности, производятся на оборудовании головного завода» (Журбенко В.И. Опыт организации фирменного ремонта топливной аппаратуры.- Тракторы и сельхозмашины, 1983. № 5.).
- Такие технологические этапы капитального ремонта и изготовления новой АТ как комплектовка, узловая и общая сборка, технический контроль, испытания, консервация и упаковка могут выполняться в едином потоке.

**Вовлечение в рынок ремонта АТ большого количества предприятий ранее не специализировавшихся в данном виде работ усложняет систему**

**государственного регулирования и надзора за процессами поддержания летной годности.**

Встречаются мнения, что капитальный ремонт уже не нужен, он себя исчерпал, этот термин морально устарел, необходимо переходить на “безремонтную эксплуатацию”. Мотивация при этом следующая: изделия становятся более надежными и могут эксплуатироваться по состоянию; модульность конструкций позволяет заменять отдельные части ЛА не снимая его целиком с эксплуатации.

Причиной неверных высказываний при правильной мотивации является следующая логическая ошибка ("подмена тезиса"):

Исторически привыкли, что изделия авиатехники направлялись в планово-предупредительный (или регламентированный) капитальный ремонт. И эти разные классификационные термины как бы “срослись” между собой. Поэтому прогрессивный отказ от “предупредительного” (или “регламентированного”) ремонта посчитали и отказом от “капитального” ремонта, что в корне не верно.

- На самом деле это термины принадлежащие к разным классификациям: “текущий ремонт”, “средний ремонт” и “капитальный ремонт” относятся к классификации по “глубине” ремонтных работ;
- термины: “планово-предупредительный ремонт”, “регламентированный ремонт” и “ремонт по фактическому состоянию” относятся к классификации по времени отхода изделия АТ в ремонт.

Во время “**текущего ремонта**” неисправности устраняются заменой поврежденных или изношенных деталей. При “**среднем ремонте**” восстановление эксплуатационных характеристик производится заменой изношенных или поврежденных деталей с их регулировкой и проверкой технического состояния остальных частей изделия с устранением обнаруженных неисправностей. “**Капитальный ремонт**” заключается в полной разборке изделия АТ, очистке, дефектации, в замене или восстановлении всех составных частей изделия, сборки и испытаний.

При “**планово-предупредительном ремонте**” - изделиям назначаются ресурсы, по их истечении изделия направляются в ремонт независимо от их технического состояния; при “**регламентированном ремонте**” - весь объем капитального ремонта разбивается на несколько этапов, каждый из которых по определению представляет собой средний ремонт. По совокупности выполнения всех этапов образуется полный объем капитального ремонта. Для этих систем ремонта характерно то, что наработка до очередного ремонта задается заранее и не связана с техническим состоянием объекта авиатехники. При “**ремонте по состоянию**” изделие направляется в ремонт при наработке, отвечающей некоторому предельному состоянию АТ, при котором требуется устранение неисправностей.

Поступающие в “ремонт по состоянию” самостоятельные модули ЛА подвергаются капитальному ремонту и можно констатировать, что **ЛА в целом по сумме всех модульных ремонтов проходит капитальный ремонт, но он растянут по времени эксплуатации.**

Отказ от термина “капитальный ремонт” в действительности ничего не меняет, но отказ от капитального ремонта по существу означает отказ от получения уникальных данных о фактическом состоянии деталей изделий АТ в процессе эксплуатации, которые могут быть получены только при полной разборке изделия, очистке и дефектации каждой детали органолептическими и физическими методами контроля, что по определению осуществляется при капитальном ремонте авиационной техники.

**Уровень безопасности полетов и качество авиационных услуг обеспечивается и контролируется органами государственного управления и регулирования на основе законодательной и нормативной базы сертификации и лицензирования.** Под сертификацией объектов ГА понимается процедура подтверждения соответствия, посредством которой независимая от изготовителя (поставщика, исполнителя) и потребителя (покупателя) организация удостоверяет в письменной форме, что объект ГА соответствует установленным требованиям.

Принятая в 2000 году ИКАО поправка № 23 к Приложению 6 и в 2001 году поправка № 98 к Приложению 8 Чикагской Конвенции, определили **ремонт АТ как составляющая часть технического обслуживания (ТО).** Ремонт следует считать самостоятельной частью ТО АТ, поскольку Авиационными правилами (АП) Часть 145. «Ремонтные организации» и Руководством 145.1. «Процедуры сертификации ремонтных организаций» Авиационного Регистра Межгосударственного Авиационного Комитета установлен единый порядок сертификации ремонтных организаций и требования к выполнению ремонта (модификации) воздушных судов и их компонентов.

АП. Часть 145 и Руководство 145.1. предусматривает, в том числе, **проверку наличия в организации достаточного числа квалифицированного производственного и административно-управленческого персонала, системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов, занятых выполнением, приемкой и руководством работами по ремонту (модификации) АТ.**

Очевидно, что «квалифицированным персоналом» по ремонту АТ могут считаться работники прошедшие обучение по программе, соответствующей требованиям государственного образовательного стандарта, прошедшие итоговую аттестацию и получившие документ, дающий право осуществлять профессиональную деятельность в соответствии с полученной квалификацией по специальности обучения.

По ремонту АТ это специализация **130306 «Ремонт летательных аппаратов и авиационных двигателей»** (вопрос о ее открытии находится в стадии проработки) основной образовательной программы по специальности 130300 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей».

Программы дисциплины (утверждены проректором по УМР 15.09.2004 г.) **«Ремонт летательных аппаратов и авиационных двигателей»**, читаемые на 5 курсе очного обучения студентов и 6 курсе заочного обучения специальности 130300 разработаны в соответствии с указанными требованиями руководящих документов.

## **1. Цель и задачи дисциплины**

### **1.1. Цель преподавания дисциплины**

Цель преподавания дисциплины - сформировать знания и умения, позволяющие научно обосновано решать задачи по ремонту и восстановлению изделий авиационной техники с использованием достижений науки в области технологии и производства.

### **1.2. Задачи изучения дисциплины:**

#### **1.2.1. Иметь представления о:**

- теоретических основах ремонта авиационной техники (АТ);
- моделировании технологических и производственных процессов восстановления и ремонта АТ;
- особенностях ремонта АТ в современных экономических условиях;
- системе автоматизированного проектирования процессов ремонта АТ;

#### **1.2.2. Знать:**

- законодательство и систему сертификации предприятий по ремонту АТ;
- терминологию и классификацию в сфере ремонта АТ;
- организацию авиаремонтного производства;
- технологические процессы ремонта и восстановления основных деталей АТ;
- организацию системы управления качеством ремонта.

#### **1.2.3. Уметь:**

- применять математические методы при проектировании процессов ремонта АТ;
- проектировать технологические процессы ремонта АТ.

#### **1.2.4. Иметь опыт:**

- слесарно-механических работ при ремонте АТ;
- дефектации методами неразрушающего контроля;
- работы с ремонтной документацией.

## **2. Содержание дисциплины для подготовки на очном отделении**



## **2.1. Наименование разделов, их содержание, объем в часах лекционных занятий (всего - 34 часа)**

Раздел 1. Технологические процессы ремонта авиационной техники -  
14 часов

### **Лекция 1.1. – 2 часа. Общие сведения о ремонте авиационной техники**

Эксплуатационные повреждения и определение понятия «повреждаемость». Накопление повреждений приводящее к неисправностям и определение понятия «неисправность». Нарушение работоспособности и отказ вследствие роста неисправностей. Зависимость интенсивности возникновения неисправностей от наработки. Обнаружение и устранение неисправностей в процессе эксплуатации и капитального ремонта. Определение терминов «ремонт» и «восстановление».

Задачи ремонта в процессе эксплуатации. Капитальный ремонт на специализированных предприятиях. Тенденции создания центров «Технического обслуживания и ремонта». Тенденции сервисного ремонта на предприятиях изготовителях.

Роль ремонта с учетом основных принципов рыночной экономики: всеобщность рынка, конкуренция, диверсификация, самоокупаемость, качество, надежность, ремонтпригодность. Механизм обеспечения качества системой сертификации и лицензирования.

Организационная классификация ремонтов. Классификация ремонта по объему работ. Роль капитального ремонта с учетом модульности, контролепригодности и контролепригодности современной авиатехники.

#### **Литература по содержанию лекции:**

[1, стр. 3 ... 28]; [2, стр. 10 ... 27]; [3, стр. 5 ... 27]; [4, стр. 3 ... 6]; [5, стр. 4 ... 33, 66 ... 122]

### **Лекция 1.2. – 2 часа. Общие сведения об эксплуатационной повреждаемости**

Внешние и внутренние воздействия на элементы авиационной техники: внешние воздействия; внутренние воздействия; виды воздействий (вибрационные, ударные, акустические, климатические, радиационные, атмосферные, температурные, влажность, излучение, водное, пылевое и другие).

Характерные дефекты элементов конструкции авиатехники: подшипники, краны и клапаны, редуктора, остекление, обшивка, лопасти винтов, тросовое управление, агрегаты газовой и жидкостной систем, трубопроводы, силовые цилиндры, взлетно-посадочные устройства, турбины, компрессора, детали горячего тракта ГТД, агрегаты топливной аппаратуры и других.

#### **Литература по содержанию лекции:**

[6, стр. 31 ... 34]; [17]; [5, стр.12 ... 27]; [8, стр.6 ...10 ]; [1, стр. 58 ...101]; [15, стр. 33 ...87]; [16, стр. 7 ...18]

### **Лекция 1.3. – 2 часа. Приемка в ремонт, разборка, очистка, дефектация авиатехники**

Приемка в ремонт. Предварительная дефектация. Проверка комплектности. Особенности приемки. Работы после приемки. Основные операции приемки в ремонт.

Разборка изделий. Общая и узловая разборка. Оборудование. Основные работы при разборке. Общие требования при разборке.

Очистка. Определение. Методы очистки: ручная, крацевание, галтовка, пневматическая, гидроабразивная, косточковой крошкой и глиной. Электрохимическая. Ультразвуковая. Электрическим разрядом. Промывка: механизм промывки, компоненты моющих жидкостей. Биотехнологический метод очистки. Основные требования к очистке и промывке.

Дефектация. Общие положения. Система контроля. Процесс контроля. Контролепригодность и контролеприспособленность. Классификации технического контроля. Основные методы неразрушающего контроля: органолептический, оптический, магнитный, капиллярный, акустический, вихретоковый, рентгенография, гаммография. Перспективные методы дефектации: энергетический и с использованием эффекта памяти.

#### **Литература по содержанию лекции:**

[6, стр. 3 ... 47]; [7, стр.108 ... 114]; [8, стр.6 ...33]; [1, стр. 40 ...58]; [3, стр. 50 ...71]; [9, стр. 3 ...58]; [10, стр. 85 ...159]; [11, стр. 52 ...81]

#### **Лекция 1.4. – 2 часа. Технологические процессы ремонта АТ: слесарная обработка; напыление; наплавка; сварка**

Слесарная обработка. Определение. Виды слесарных работ: разметка, рубка, правка и гибка металлов, резка, опилование металла, сверление, зенкование, развертывание, нарезание резьбы, клепка, шабрение, притирка и доводка и другие. Инструмент: универсальные контрольно-измерительные инструменты и приспособления (плоскопараллельные концевые меры длины (плитки), щупы пластинчатые, радиусомеры наборные, штангенциркули, штангенрейсмусы, штангенглубиномеры, угломеры, микрометры, микрометрические штихмассы, микрометрические глубиномеры, нутромеры индикаторные, индикаторы, глубиномеры индикаторные, микрометры рычажные, миниметры узкошкальные и широкомасштабные, резьбовые микрометры, резьбовые шаблоны и резьбомеры, ротаметры); Специальные средства измерения. - различные приспособления, предназначенные для измерения конструктивных и технологических размеров, узлов и деталей, которые нельзя измерить универсальными средствами. Эти приспособления базируются на использовании универсальных измерительных средств. Конструирование и изготовление таких измерительных приспособлений производит завод - изготовитель изделия и предоставляет вместе с комплектом ремонтно-монтажного инструмента. Сборочно-монтажный инструмент - бородки слесарные, кернеры, воротки, вставки для винтовертов и отверток, головки сменные, зубила слесарные, иглы, ножи, ключи, крейцмесели, кусачки, масленки, метчики, молотки, надфили, напильники, ножницы, острогубцы, отвертки, пинцеты, пломбиры, плоскогубцы, пассатижи, пневматические

отвертки, гайковерты, резьбонарезные машины, полотна ножовочные ручные, ножницы ручные для металла, станки ножовочные, струбцины, тиски, чертилки, шаберы, шплинтовидагиватели, электрообжигатели, электроклещи, зажимные устройства.

Технология напыления. Детонационное напыление: сущность процесса; особенности технологии; технологические рекомендации к использованию; преимущества и недостатки покрытий. Плазменное напыление: назначение технологии; сущность процесса; особенности технологии; плазматроны; плазменная горелка; перспективы совершенствования процесса; состав математической модели. Газопламенное напыление: сущность процесса; особенности технологии. Дуговая металлизация: сущность процесса; особенности технологии. Электроимпульсное нанесение покрытий: сущность процесса; особенности технологии

Технология наплавки. Отличие от напыления. Определение наплавки. Особенности применения напыления и наплавки. Газовая наплавка: сущность процесса; особенности технологии. Дуговая наплавка покрытыми электродами: сущность процесса; особенности технологии. Дуговая наплавка под флюсом. Наплавка электродной проволоки под флюсом. Многоэлектродная наплавка. Использование нагрева проволоки электросопротивлением. Наплавка электродной лентой под флюсом. Наплавка открытой дугой. Наплавка в среде углекислого газа. Наплавка в среде инертного газа. Электрошлаковая наплавка. Плазменная наплавка.

Технология сварки. Определение. Электрическая дуговая сварка. Ручная дуговая сварка плавящимся электродом. Ручная сварка в среде защитных газов. Автоматическая сварка в среде защитных газов: неплавящимся электродом; под слоем флюса; электрошлаковая сварка; контактная электросварка. Газовая сварка. Особенности применения сварки при ремонте авиационной техники. Категории сварных соединений. Электронно-лучевая сварка (ЭЛС): определение; достоинства; сущность ЭЛС; строение электронной пушки; необходимость вакуумирования; пример ремонта лопаток. Лазерная сварка: определение; лазер (оптический квантовый генератор); принцип действия лазера; строение лазера; лазерное оборудование; особенности лазерной технологии.

Контроль качества сварных соединений. Основные правила техники безопасности: меры предохранения от поражения электрическим током; меры предохранения от излучения электрической дуги; меры безопасности при эксплуатации баллонов с инертными газами; меры безопасности при применении торированных вольфрамовых электродов.

#### **Литература по содержанию лекции:**

[6, стр. 48 ... 64]; [12, стр.3 ... 16]; [8, стр.6 ...33]; [4, стр. 45 ...46]; [3, стр. 72 ...87, 95 ... 102]; [13, стр. 5 ...75]; [19]

**Лекция 1.5. – 2 часа. Технологические процессы ремонта АТ: пайка; гальванохимическая обработка; химикотермическая обработка**

Пайка: Основы физико-химических процессов: определение; спаи; отличие от сварки; кинетика образования слоев; состав соединения; бездиффузионный спай; контактно-реактивная пайка; диспергированные спаи; смачивание и растекание припоев; капиллярное течение припоев; флюсование и самофлюсование. Способы пайки по ГОСТ 17949: капиллярная; контактно-реактивная; реактивно-флюсовая; диффузионная; некапиллярная; композиционными припоями. Припои, паяльные смеси и пасты. Флюсы. Газовые защитные среды. Паяльное оборудование. Технологический процесс пайки.

Гальванохимическая обработка. Определение гальванотехники. Классификация покрытий. Выбор и назначение покрытий. Требования к покрытиям. Технологический процесс: подготовка деталей под гальванические покрытия (шлифование, полирование, объемная вибрационная обработка, струйная абразивная обработка, галтовка, обезжиривание, травление, активация поверхности); электроосаждение покрытий; режимы электролиза; электролиты. Неметаллические органические покрытия. Металлические покрытия. Оборудование гальванических цехов. Расчеты и нормы при проектировании технологического процесса. Контроль качества покрытий.

Химико-термическая обработка металлов. Определение. Основные методы насыщения компонентами поверхностного слоя деталей. Физико-химические основы метода: адсорбция на поверхности насыщаемого материала, диффузия в металлах). Цементация (науглероживание). Нитроцементация (азотонауглероживание). Цианирование. Азотирование. Диффузионное насыщение: алитирование, силицирование, хромирование, борирование, титанирование, цинкование, многокомпонентные диффузионные покрытия.

#### **Литература по содержанию лекции:**

[6, стр. 65 ... 80]; [3, стр.81 ... 92]; [4, стр. 43 ...45]; [13, стр. 73 ...128, 145 ... 149]

**Лекция 1.6. – 2 часа. Технологические процессы ремонта АТ: термическая обработка стали; ремонт и восстановление лакокрасочных покрытий. Электроалмазное шлифование и удаление участков конструкций**

Термическая обработка стали. Определение. Отжиг: первого и второго рода, полный и неполный, изотермический, диффузионный, рекристаллизационный. Нормализация. Закалка. Отпуск. Обработка холодом.

Ремонт и восстановление лакокрасочных покрытий. Требования к лакокрасочным покрытиям. Состав лакокрасочных материалов. Основной характер разрушения лакокрасочных покрытий. Ремонт лакокрасочных покрытий. Общие правила нанесения лакокрасочных материалов.

Электроалмазное шлифование удаление участков конструкций. Электрохимическое (анодное) растворение металла и механическая обработка алмазными зернами. Удаление поврежденных участков стальных сотовых паяных конструкций.

**Литература по содержанию лекции: [6, стр. 80 ... 88]**

**Лекция 1.7. – 2 часа. Технологические процессы ремонта АТ: сборка, испытания, консервация, упаковка, сдача заказчику.**

Сборочные работы – определение. Особенности сборочных работ. Агрегатная сборка. Общая сборка. Сборка авиадвигателей.

Испытания АТ. Стендовые, наземные, летные испытания. Испытания авиадвигателей. Основные проверки в процессе испытаний.

Консервация. Упаковка. Сдача заказчику. Определение данных технологических этапов ремонта их особенности.

**Литература по содержанию лекции:**

[6, стр. 88...95]; [14, стр. 63...83]; [15, стр. 103...120]; [13, стр. 248...252]; [16, стр. 112...133]

## **Раздел 2. Ремонт элементов конструкции авиационной техники - 4 часа**

**Лекция 2.1. – 2 часа. Ремонт: обшивки и силового каркаса планера; лопастей винтов; узлов управления; агрегатов газовой-жидкостных систем; трубопроводов; силовых цилиндров; взлетно-посадочных устройств; остекления.**

**Литература по содержанию лекции:**

[4, стр. 16...43]; [15, стр. 215...248]; [20, стр. 14...81]; [21, стр. 42...98]

**Лекция 2.2. – 2 часа. Ремонт авиационных двигателей.**

**Литература по содержанию лекции:**

[16, стр. 61...112]; [15, стр. 12...90]

## **Раздел 3. Основы общей теории ремонта авиационной техники - 8 часов**

**Лекция 3.1. – 2 часа. Особенности организации и технологии авиаремонтного производства в условиях рыночной экономики. Организационные структуры АРП в условиях рыночной экономики. Цели и задачи переходного этапа. Историография технологических процессов ремонта**

**Литература по содержанию лекции:**

[18, стр. 4...27]

**Лекция 3.2. – 2 часа. Направления развития теоретических основ общей теории авиаремонтного производства. Роль и место процессов проектирования ремонтных технологий. Математическая модель проектирования технологических процессов ремонта.**

**Литература по содержанию лекции:**

[18, стр. 28...49]

**Лекция 3.3. – 2 часа. Анализ эффективности системы авиаремонтного производства путем модельного эксперимента. Методология формирования математических моделей технологических процессов, физико-химические и производственные процессы которых достаточно хорошо изучены**

**Литература по содержанию лекции:**

[18, стр. 50...67]

**Лекция 3.4. – 2 часа. Методология формирования математических моделей вновь разрабатываемых технологических процессов ремонта**

**Литература по содержанию лекции:**

[18, стр. 68...79]

**Раздел 4. Прогрессивные технологические процессы восстановления изделий АТ и основы их моделирования - 8 часов**

**Лекция 4.1. – 2 часа. Технологии плазменного восстановления деталей АТ**

Понятие о плазме применительно к технологиям ремонта. Принципиальная схема и сущность процесса. Математическая модель технологии восстановления деталей плазменной обработкой.

**Литература по содержанию лекции:**

[22, стр.237...239, 302...311, 358...366]; [23]

**Лекция 4.2. – 2 часа. Технологии восстановления деталей АТ с применением лазеров**

Понятие о лазерах применительно к технологиям ремонта. Принципиальная схема и сущность процесса. Математическая модель технологии восстановления деталей лазерной обработкой.

**Литература по содержанию лекции:**

[22, стр.240...241, 312...316]

**Лекция 4.3. – 2 часа. Ремонт элементов конструкции ЛА и АД с использованием материалов, обладающих эффектом памяти формы**

**Литература по содержанию лекции:**

[24]; [25]; [26]; [27]; [28]

**Лекция 4.4. – 2 часа. Восстановление деталей АТ вакуумными методами сварки, наплавки и пайки дуговым разрядом с полым катодом и ионно-плазменного напыления**

**Литература по содержанию лекции:**

[29]; [30]; [31]; [32]; [33]

**2.2. Перечень лабораторных работ и их объем в часах (всего - 22 часа)**

**2.2.1. Органолептический метод определения технического состояния деталей, узлов и конструктивных элементов ЛА и АД в авиаремонтных предприятиях – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[34]

**2.2.2. Технические измерения объектов АТ при определении их технического состояния – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[35]

**2.2.3. Акустический метод дефектоскопии – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[36]

**2.2.4. Капиллярный метод дефектоскопии – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[37]

**2.2.5. Вихретоковый метод дефектоскопии – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[38, стр. 22 ... 30]

**2.2.6. Магнитный метод дефектоскопии – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[38, стр. 31 ... 43]

**2.2.7. Определение технического состояния деталей авиационной техники – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[39]

**2.2.8. Ремонт титановых лопаток – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[40]

**2.2.9. Ремонт электромагнитных устройств систем аварийного выключения двигателей Д-30 КУ и Д-30 КП – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[41]

**2.2.10. Технологические пути повышения надежности воздухо-воздушного радиатора (изделие 4487 АТ) самолета Ту-154 – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[42]

**2.2.11. Ремонт клеевых алюминиевых сотовых конструкций самолетов – 2 часа**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[43]

**2.3. Перечень практических занятий и их объем в часах (всего - 12 часов)**

**2.3.1. Расчеты при обработке статистической информации при ремонте авиационной техники**

**Литература по содержанию практического занятия:**

[44]

**2.3.2. Ремонт обшивки и стрингеров фюзеляжа самолетов Ту-154**

**Литература по содержанию практического занятия:**

[45]

**2.3.3. Оптимизация ремонтных вариантов заклепочных соединений при восстановлении поврежденных силовых элементов планера**

**Литература по содержанию практического занятия:**

[46]

#### **2.3.4. Расчеты при выборе рациональных режимов лазерной сварки и резки стального листа лазерной сваркой**

**Литература по содержанию практического занятия:**

[47]

#### **2.3.5. Расчеты при выборе рациональных режимов восстановления подшипников диффузионной металлизацией**

**Литература по содержанию практического занятия:**

[48]

#### **2.3.6. Расчеты при выборе рациональных режимов восстановления электромагнитных устройств методом диффузионной металлизации**

**Литература по содержанию практического занятия:**

[18, стр. 71 ... 77]

#### **2.4. Перечень других видов занятий (индивидуальные занятия с преподавателем)**

Корректировка, закрепление и контроль знаний и умений по вопросам ремонта и восстановления АТ

### **3. Содержание дисциплины для подготовки на заочном отделении**

#### **3.1. Наименование разделов, их содержание, объем в часах лекционных занятий (всего - 8 часов)**

##### **Лекция 1. – 2 часа. Общие сведения о ремонте авиационной техники**

Эксплуатационные повреждения и определение понятия «повреждаемость». Накопление повреждений приводящее к неисправностям и определение понятия «неисправность». Нарушение работоспособности и отказ вследствие роста неисправностей. Зависимость интенсивности возникновения неисправностей от наработки. Обнаружение и устранение неисправностей в процессе эксплуатации и капитального ремонта. Определение терминов «ремонт» и «восстановление».

Задачи ремонта в процессе эксплуатации. Капитальный ремонт на специализированных предприятиях. Тенденции создания центров «Технического обслуживания и ремонта». Тенденции сервисного ремонта на предприятиях изготовителях.

Роль ремонта с учетом основных принципов рыночной экономики: всеобщность рынка, конкуренция, диверсификация, самоокупаемость, качество, надежность, ремонтпригодность. Механизм обеспечения качества системой сертификации и лицензирования.

Организационная классификация ремонтов. Классификация ремонта по объему работ. Роль капитального ремонта с учетом модульности, контролепригодности и контролепригодности современной авиатехники.

**Литература по содержанию лекции:**

Основная: [4, стр. 3 ... 6];



Дополнительная: [1, стр. 3 ... 28]; [2, стр. 10 ... 27]; [3, стр. 5 ... 27]; [5, стр. 4 ... 33, 66 ... 122]

**Лекция 2. – 2 часа. Приемка в ремонт, разборка, очистка, дефектация авиатехники. Технологические процессы ремонта АТ: слесарная обработка; напыление; наплавка; сварка**

**Литература по содержанию лекции:**

Основная: [6, стр. 3 ... 64]; [4, стр. 45 ... 46];

Дополнительная: [7, стр. 108 ... 114]; [8, стр. 6 ... 33]; [1, стр. 40 ... 58]; [9, стр. 3 ... 58]; [10, стр. 85 ... 159]; [11, стр. 52 ... 81]; [12, стр. 3 ... 16]; [3, стр. 50 ... 87, 95 ... 102]; [13, стр. 5 ... 75]; [19]

**Лекция 3. – 2 часа. Технологические процессы ремонта АТ: пайка; гальванохимическая обработка; химикотермическая обработка; термическая обработка стали; ремонт и восстановление лакокрасочных покрытий. Электроалмазное шлифование и удаление участков конструкций. Сборка, испытания, консервация, упаковка, сдача заказчику.**

**Литература по содержанию лекции:**

Основная: [6, стр. 65 ... 95]; [4, стр. 43 ... 45]

Дополнительная: [3, стр. 81 ... 92]; [13, стр. 73 ... 128, 145 ... 149, 248 ... 252]; [14, стр. 63 ... 83]; [15, стр. 103 ... 120]; [16, стр. 112 ... 133]

**Лекция 4. Основы общей теории ремонта авиационной техники - 2 часа**

**Литература по содержанию лекции: [18]**

**3.2. Перечень лабораторных работ и их объем в часах (всего - 8 часов)**

**3.2.1. Органолептический метод определения технического состояния деталей, узлов и конструктивных элементов ЛА и АД в авиаремонтных предприятиях – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[34]

**3.2.2. Технические измерения объектов АТ при определении их технического состояния – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[35]

**3.2.3. Акустический метод дефектоскопии – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[36]

**3.2.4. Капиллярный метод дефектоскопии – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[37]

**3.2.5. Вихретоковый метод дефектоскопии – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[38, стр. 22 ... 30]

### **3.2.6. Магнитный метод дефектоскопии – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[38, стр. 31 ... 43]

### **3.2.7. Ремонт титановых лопаток – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[40]

### **3.2.8. Ремонт электромагнитных устройств систем аварийного выключения двигателей Д-30 КУ и Д-30 КП – 1 час**

**Литература по содержанию лабораторной работы:**

[41]

### **3.3. Перечень других видов занятий (индивидуальные занятия с преподавателем)**

Корректировка, закрепление и контроль знаний и умений по вопросам ремонта и восстановления АТ

## **4. Литература по лекционному курсу, лабораторным и практическим занятиям**

1. Авчинников Б.Е. Восстановление авиационных деталей и соединений. Часть 1. Общие сведения о ремонте и авиационной повреждаемости авиационной техники: Учебное пособие.- М.: МГТУ ГА, 1995.- 108 с.
2. Костромина Е.В. Экономика авиакомпаний в условиях рынка.- М.: "НОУ ВКШ "Авиабизнес", 1998.- 209 с.
3. Кручинский Г.А. Технологические процессы ремонта летательных аппаратов и авиационных двигателей. Часть 1: Учебное пособие.- М.: МГТУ ГА, 1997.- 112
4. Макин Ю.Н., Фролов В.П. Пособие по изучению дисциплины "Ремонт ЛА и АД. СД 09".- М.: МГТУ ГА, 2000.- 48 с.
5. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 1 / Г.А.Кручинский, В.Я.Галкин, В.В.Запорожец и др.- М.: Машиностроение, 1980.- 222 с.
6. Макин Ю.Н. Ремонт летательных аппаратов и авиационных двигателей. Часть 1: Текст лекций.- М.: МГТУ ГА, 1997.- 100 с.
7. Методы неразрушающего контроля качества материалов и изделий авиационной техники. Часть 2 / Б.И.Выборнов, Ю.А.Глазков, А.Л.Дорофеев и др.- М.: Машиностроение, 1981.-136 с.
8. Доценко Г.Н. Разработка принципов очистки деталей авиационной техники от нагароподобных загрязнений биотехнологическим методом. Автореферат диссертации.- М.: МГТУ ГА, 2000.- 36 с.
9. Авчинников Б.Е. Восстановление авиационных деталей и соединений. Часть 2. Оценивание и прогнозирование технического состояния авиационных деталей в процессе ремонта авиационной техники.- М.: МГТУ ГА, 1995.- 80 с.

10. Кручинский Г.А. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 2.- М.: Машиностроение, 1980.- 216 с.
11. Авчинников Б.Е. Принципы и системы ремонта авиационной техники: Учебное пособие.- М.: МИИ ГА, 1988.- 84 с.
12. Макин Ю.Н., Комиссарова О.В. Основы слесарного дела в авиаремонтном производстве.- М.: МГТУ ГА, 1997.- 116 с.
13. Кручинский Г.А. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 3.- М.: Машиностроение, 1984.- 256 с.
14. Макин Ю.Н., Ерошкин А.Н., Комиссарова О.В. Основы производства ЛА и АД. Текст лекций.- М.: МГТУГА, 1996.- 88с.
15. Кручинский Г.А. Технологические процессы ремонта летательных аппаратов и авиационных двигателей. Часть 3. Учебное пособие.- М.: МГТУ ГА, 2002.- 124
16. Ремонт авиационной техники (теория и практика). Книга 4 / Г.А.Кручинский, А.Я.Кузнецов, Ю.М.Болдырев и др.; под ред. Г.А.Кручинского.- М.: Машиностроение, 1981, 1981.- 135 с.
17. Малинский В.Д., Бегларян В.Х., Дубицкий Л.Г. Испытания аппаратуры и средств измерений на воздействие внешних факторов: Справочник.- М.: Машиностроение, 1993.- 576 с.
18. Макин Ю.Н. Основы общей теории авиаремонтного производства. Учебное пособие.- М.: МГТУ ГА, 2004.- 86 с.
19. Зенушкин В.Н., Макин Ю.Н., Груздков С.К. Ремонт ЛА и АД: Пособие по проведению слесарно-механической практики.- М.: МГТУ ГА, 2004. (плоскостная разметка; правка и рихтование; гибка металла)- 48 с.; (рубка металла; резка металла; опилование металла) – 60 с.; (шабрение; распиливание и припасовка; притирка и доводка; клепка; чеканка; пайка; лужение; склеивание).- 65 с.; (сверление; зенкерование; зенкование и развертывание отверстий; нарезание резьбы).- М.: МГТУ ГА, 2004.- 56 с.
20. Кручинский Г.А. Технологические процессы ремонта летательных аппаратов и авиационных двигателей. Часть 2. - М.: МГТУ ГА, 2001.- 85 с.
21. Авчинников Б.Е. Восстановление авиационных деталей и соединений. Часть 3. Восстановление работоспособности авиационных деталей и соединений.- М.: МГТУ ГА, 1995.- 106 с.
22. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И.Пантелеенко, В.П.Лялякин, В.П.Иванов, В.М.Константинов; Под ред. В.П.Иванова.- М.: Машиностроение, 2003.-672 с.
23. Суденков Е.Г., Румянцев С.И. Восстановление детаей плазменной металлизацией.- М.: Высшая школа, 1980.-39 с.
24. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении.- М.: Металлургиздат, 1996.

25. Таранин В.М. Ускоренный ремонт корпусных деталей ГТД с боевыми повреждениями в полевых условиях. Методические рекомендации. ВВИА им. проф. Н.Е.Жуковского, 1992.- 24 с.
26. Займовский В.А. Эффект памяти формы сплавов.- М.: Металлургия, 1979.
27. Лихачев В.А. Эффект памяти формы.- М.: Металлургия, 1987.
28. Крахин О.К., Кузнецов А.П., Косов Н.Г. Материалы с термомеханической памятью в станкостроении.- М.: Машиностроение, 1988.
29. Ямпольский В.М. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук
30. Неровный В.М.. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук
31. Скажутин Ю.А. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, 1991.
32. Черняев В.Г. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
33. Очоа Альберто Родригес. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1993.
34. Кручинский Г.А. Органолептический метод определения технического состояния деталей, узлов и конструктивных элементов ЛА и АД в авиаремонтных предприятиях / Руководство к лабораторной работе.- М.: МГТУ ГА, 1998.- 44 с.
35. Кручинский Г.А. Технические измерения объектов АТ при определении их технического состояния / Пособие к выполнению лабораторной работы.- М.: МГТУ ГА, 2000.- 44 с.
36. Ерошкин А.Н. Акустический метод дефектоскопии / Руководство к лабораторной работе.- М.: МИИ ГА, 1977.- 42 с.
37. Ерошкин А.Н. Капиллярный метод дщефектоскопии / Методические указания к лабораторной работе.- М.: МИИ ГА, 1989.- 16 с.
38. Ерошкин А.Н. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Производство и ремонт ЛА и АД».- М.: МИИ ГА, 1990.- 44 с.
39. Ерошкин А.Н. Определение технического состояния деталей авиационной техники / Методические указания к лабораторной работе.- М.: МИИ ГА, 1991.- 16 с.
40. Макин Ю.Н., Комиссарова О.В.Ремонт титановых лопаток / Методическая разработка к выполнению лабораторной работы.- М.: МГТУ ГА, 1996.- 20 с.
41. Макин Ю.Н., Комиссарова О.В. Ремонт электромагнитных устройств систем аварийного выключения двигателей Д-30 КУ и Д-30 КП / Методическая разработка к выполнению лабораторной работы.- М.: МГТУ ГА, 1996.- 32 с.
42. Фролов В.П., Пестова И.А. Технологические пути повышения надежности воздухо-воздушного радиатора (изделие 4487 АТ) самолета Ту-154 / Методические указания к лабораторной работе.- М.: МИИ ГА, 1991.- 28 с.

43. Ормоцадзе А.Р., Ормоцадзе М.Р., Кручинский Г.А. Ремонт клеевых алюминиевых сотовых конструкций самолетов / Методическая разработка к выполнению лабораторной работы.- М.: МГТУ ГА, 1995.- 32 с.
44. Фролов В.П., Макин Ю.Н. Расчеты при обработке статистической информации при ремонте авиационной техники / Учебно-методическое пособие по практическим занятиям.- М.: МГТУ ГА, 1998.- 32 с.
45. Кручинский Г.А., Засимов В.М., Ормоцадзе М.Р. Ремонт обшивки и стрингеров фюзеляжа самолетов Ту-154 / Пособие к выполнению лабораторной работы.- М.: МГТУ ГА, 2000.- 28 с.
46. Авчинников Б.Е., Смышляев А.Р. Оптимизация ремонтных вариантов заклепочных соединений при восстановлении поврежденных силовых элементов планера / Учебное пособие.- М.: МИИ ГА, 1990.- 48 с.
47. Технологическое пособие по лазерной сварке и резке конструкционных материалов / В.И.Зарубин, Э.А.Кочаров, В.В.Алексеев и др. – М.: ГосНИИ ЭРАТ ВВС, Выпуск № 4839, 1982
48. Оганесян Г.Л., Кузнецов В.А. Восстановление эксплуатационных характеристик шариковых подшипников систем авиационной техники методом диффузионного хромирования их деталей / Эффективность процессов восстановления авиационной техники.- М.: МИИ ГА, 1985.

## 5. Дополнительная литература

1. Авчинников Б.Е. Основные виды и закономерности изнашивания авиационных деталей.- М.: МИИ ГА, 1980.- 56 с.
2. Авчинников Б.Е., Горюнов Ю.Б., Карлов Г.И., Конончук Н.И., Космодемьянский В.В., Платонов Г.П., Фролов В.П. Ремонт самолетов и авиационных двигателей.- М.: ВВИА им. проф. Н.Е.Жуковского, 1961.- 412 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.- М.: Наука, 1971.- 284 с.
4. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента.- М.: Радио и связь, 1983.- 248 с.
5. Болховитинов В.Ф. Пути развития летательных аппаратов.- М.: Оборонгиз, 1962.- 131 с.
6. Бабичев А.П. Вибрационная очистка машин.- М.: Машиностроение, 1974.
7. Беренсон С.П., Химическая технология очистки деталей двигателей внутреннего сгорания.- М.: Транспорт, 1967.- 268 с.
8. Бедрик Б.Г., Чулков П.В., Калашников С.И. Растворители и составы для очистки машин и механизмов: Справ. изд.- М.: Химия, 1989.- 176 с.
9. Бейлин Л.А., Мейер А.А. Ремонт самолетов, вертолетов и авиационных двигателей.- М.: Транспорт, 1966.- 526 с.

- 10.Бейлин Л.А., Назаров Ю.В., Железняк И.И. Ремонт самолетов, вертолетов и авиационных двигателей.- М.: Транспорт, 1979.- 264 с.
- 11.Белякин О.К., Седых В.И., Тарасов В.В. Технология судоремонта.- М.: Транспорт, 1992.-254 с.
- 12.Бардышев О.А., Ратнер А.М., Тайц В.Г. Организация ремонта техники на транспортном строительстве.- М.: Транспорт, 1988.- 239 с.
- 13.Гвинтовкин И.Ф., Стояненко О.М. Справочник по ремонту летательных аппаратов. -М.: Транспорт, 1977. -312 с.
- 14.ГОСТ 28056-89. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику. Построение, изложение, оформление и содержание программы технического обслуживания и ремонта.- М.: Стандарты, 1989.
- 15.ГОСТ 18675-79. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для нее.- М.: Стандарты, 1985.
- 16.Дегтярь В.Я., Соколов Н.А., Исследование ультразвуковой очистки авиационных деталей.- М.: ВВИА им. Н.Е.Жуковского, 1960.
- 17.Дегтярев Г.П., Применение моющих средств ( основы теории и практики).- М.: Колос, 1981.-216 с.
- 18.Информационная поддержка САПР технологических процессов производства и ремонта летательных аппаратов и двигателей с применением пайки и сварки современных конструкционных сплавов: Справочное пособие / В.П.Фролов, В.Н.Семенов, В.М.Засимов, А.В.Жариков- М.:Машиностроение, 1996- 368 с.
- 19.Кручинский Г.А., Макин Ю.Н., Рыбкин В.Ф., Фирсов Ю.П., Фролов В.П. Методика технологического проектирования участков цехов заводов ГА для восстановления деталей авиационной техники диффузионной металлизацией.- М.: МИИГА, 1989.- 84 с.
- 20.Кручинский Г.А., Мухин К.А. Методические указания и рекомендации по использованию перечня учебной, учебно-методической, научно-технической и производственной, справочной литературы учебных дисциплин "Производство и ремонт ЛА и АД", "Основы производства ЛА и АД", "Технология ремонта ЛА и АД", "Ремонт ЛА и АД", и выполнению по ним лабораторных работ, практических занятий," прохождению практик на заводах-изготовителях и авиаремонтных заводах ГА; при выполнении УИР, НИР, хозяйственных НИР, курсового и дипломного проектирования по ремонту авиационной техники. Выпуск 2. -М.: МГТУ ГА, 1995. -36 с.
- 21.Кручинский Г.А., Павловский Н.И., Петров К.В. Ремонт вертолета Ка- 26 и редуктора Р-26.- М.: Машиностроение, 1977.- 380 с.
- 22.Константинов В.В. Материаловедение для гальваников. - М.:Высшая школа, 1989.-80 с.. -8С с.
- 23.Козлов Ю.С., Кузнецов О.К., Тельнов А.Ф. Очистка изделий в машиностроении.- М.: Машиностроение, 1982.- 262 с.

24. Контроль технической исправности самолетов и вертолетов / В.Г.Александров, Ю.А.Глазков, А.Г.Александров и др.; Под. ред. В.Г.Александрова.- М.: Транспорт, 1976.- 360 .
25. Лахтин Б.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. -М.: Металлургия, 1985. -256 с.
26. Логинов Вас. Е., Логинов Вл. Е., Тихомиров В.И. Ремонт агрегатов реактивных двигателей: Справочное пособие.- М.: Изд-во МАИ,, 1994.- 376 с.
27. Мороз В.П. Вибрационная очистка машин.- М.: Агропромиздат, 1987.- 88 с.
28. Малоземов Н.А. Иунихин А.И., Каплунов М.П. Тепловозоремонтные предприятия. Организация, планирование и управление.- М.: Транспорт, 1988.- 295 с.
29. Никифоров В.Г., Сумеркин Ю.В. Организация и технология судостроения и судоремонта.- М.: Транспорт, 1989.- 239 с.
30. Наставление по технической эксплуатации и ремонту авиационной техники в гражданской авиации. НТЭРАТ ГА - 93.- М.: Воздушный транспорт, 1994.
31. Нормативные и организационно-методические документы по сертификации и управлению качеством. Указатель. М.: ВНИИС Госстандарта России, 1998. – 168 с.
32. Никитин Г.А., Чирков С.В. Влияние загрязнений жидкости на надежность работы гидросистем летательных аппаратов.- М.: Машиностроение, 1969.
33. Орлов К.Я., Пархимович В.А. Ремонт самолетов и вертолетов// Учебник для авиационных училищ.- М.: Транспорт, 1986.-295 с.
34. Папок К.К., Пискунов В.А., Юреня П.Г. Нагары в реактивных двигателях,- М.: Транспорт, 1971.- 112 с.
35. Плутков В.И. Прогрессивные способы очистки деталей.-Л.:ЛДНТП, 1971.- 35 с.
36. Ремонт летательных аппаратов // Учебник для ВУЗов гражданской авиации/ А.Я.Алябьев, Ю.М.Болдырев, В.В.Запорожец и др.; Под ред. Н.Л.Голего.- М.: Транспорт, 1984.-422 с.
37. Решетчатые крылья / С.М.Белоцерковский, Л.А.Одновол, Ю.З.Сафин, В.П.Фролов и др.; Под ред. С.М.Белоцерковского.- М.: Машиностроение, 1985.- 320 с.
38. Ремонт летательных аппаратов / Н.Л.Голего, В.В.Запорожец, Х.Б.Кордонский и др.; Под. ред. Н.Л.Голего.- М.: Транспорт, 1977.- 424 с.
39. Ремонт речных судов: Справочник / Ю.К.Аристов, Ф.Ф.Бенуа, А.А.Вышеславцев и др.; Под ред. А.Ф.Видецкого.- М.: Транспорт, 1988.- 431 с.
40. Рыков В.Н. Организация капитального ремонта машин.- М.: Машиностроение, 1988.- 112 с.
41. Ремонт летательных аппаратов // Учебник для ВУЗов гражданской авиации/ А.Я.Алябьев, Ю.М.Болдырев, В.В.Запорожец и др.; Под ред. Н.Л.Голего.- М.: Транспорт, 1984.-422 с.

- 42.Справочник гальваника /З.И. Байрачный, В.В. Орехова, Э.П. Харченко и др. -Х.; Прапор, 1988. -180 с.
- 43.Справочник по авиационным материалам / В. Г. Александров.-М.: Транспорт, 1972. -328 с.
- 44.Справочник авиационного инженера /В.Г. Александров, В.В. Мырцымов, С.П. Ивлев и др. -М.: Транспорт, 1974. -400 с.
- 45.Справочник по текущему и среднему ремонту авиационной техники / В.Г. Александров, Б.В. Выржиковский, А.М. Мещеряков и др. -М.: Воениздат, 1975. - 386 с.
- 46.Справочник по пайке; Под ред. С.Н.Лоцманова, И.Е. Петрунина, В.П.Фролова. - М.: Машиностроение, 1975. -407 с.
- 47.Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию.- М.: Транспорт, 1980.- 229 с.
- 48.Справочник технолога ремонтного предприятия ГА. Часть 1.- Иркутск: Завод № 403 ГА, 1976.- 342 с.
- 49.Теория сварочных процессов/ В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. -М.: Высшая школа, 1988. -559 с.
- 50.Учебник механика военно-воздушных сил.- М.: Военное издательство министерства обороны, 1972.- 350 с.
- 51.Фролов В.П. Основные законы и закономерности развития авиаремонтного производства в гражданской авиации//Конспект лекций.- М.: МИИГА, 1983.-28
- 52.Фролов В.П., Семенов В.Н., Сладков В.П.,Засимов В.М.,Жариков А.В.Методическая разработка по математическому моделированию на ЭВМ в дипломных и курсовых проектах. НИР, НИРС при оценке свойств конструкционных сплавов, паяных и сварных соединений, применяемых в производстве и ремонте ЛА и АД.- М.: МИИГА,1990.-68 с.
- 53.Хасуи А., Моригаки О.Наплавка и напыление.- М.: Машиностроение, 1985.- 240 с.
- 54.Шатинский В.Ф., Нестеренко А.И. Защитные диффузионные покрытия.- Киев.: Наукова думка, 1988.- 272 с.
- 55.Дубинин Г.Н. Диффузионное хромирование сплавов.-М.: Машиностроение, 1964.- 340 с.
- 56.Макин Ю.Н. Моделирование технологических процессов восстановления изделий с целью выявления резервов повышения эффективности авиаремонтного производства / Научный вестник МГТУ ГА, серия “Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов.” № 35, 2001.- с. 100 – 107.
- 57.Фролов В.П., Макин Ю.Н. Моделирование технологического процесса восстановления изделий авиатехники методом пайки / Научный вестник МГТУ



- ГА, серия “Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов.” № 52, 2002.- с. 125 – 132.
- 58.Коняев Е.А., Макин Ю.Н., Доценко Г.Н. Микробиологический метод очистки деталей авиадвигателей от нагароподобных загрязнений / Научный вестник МГТУ ГА, серия “Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов.” № 52, 2002.- с. 133 – 138.
- 59.Фролов В.П., Макин Ю.Н. Алгоритм математической модели пайки / Научный вестник МГТУ ГА, серия “Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов.” № 63 , 2003.- с. 34 – 39
- 60.Груздков С.К., Макин Ю.Н. Перспективы металлизации как средства комплексного восстановления свойств деталей авиационной техники / Научный вестник МГТУ ГА, серия “Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов.” № 63, 2003.- с. 40 – 45
- 61.Макин Ю.Н., Груздков С.К. Элементы математической модели ремонта деталей авиационной техники диффузионной металлизацией / Научный вестник МГТУ ГА, серия “Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов.” № 74 (8), 2004.- с. 54 – 61 .

## **6. Методические указания и задания на контрольную работу.**

Тема: статистический анализ изнашивания и отбраковки авиационных пар трения при капитальном ремонте шасси ЛА.

### **6.1. Задание на контрольную работу.**

Авиационные пары трения, составленные из стального цилиндра и бронзовой втулки, установлены на шасси ЛА.В результате изнашивания в процессе эксплуатации серийный зазор увеличивается. Если пара трения не разуконплектовывается, то есть одна из деталей не заменяется на деталь новую из ремонтного комплекта ( деталь первой категории) или уже эксплуатировавшуюся, но годную к дальнейшей эксплуатации, то задается предельное значение износа.При превышении этого значения по результатам дефектации принимается решение об утилизации (отбраковке) деталей или направлении их на восстановление ( методами газопламенного, плазменного, детонационного напыления, диффузионной металлизации, химико-термической обработки, нанесения гальванических покрытий, подборки пар с ремонтными зазорами и так далее).Варианты заданий приведены в таблице 1.Задание выдается в форме, например, "А" и "Б".Это означает, что величина зазора при 1 ремонте берется из столбца Si1 -"А", а при 2 ремонте из столбца Si2 -"Б."

$N_1$  -количество замеров зазора при 1 ремонте. (1)

$N_2$  -количество замеров зазора при 2 ремонте. (2)

$S_{i1}$  -величина зазора в  $i$  -м замере при 1 ремонте в мм (3)

$S_{i2}$  -величина зазора в  $i$  -м замере при 2 ремонте в мм (4)

$i$  -номер замера величины зазора = 1,2,3,..., N

$t$  -межремонтный ресурс для всех заданий= 4400 посадок (5)

$S_{min}$  -минимальный серийный зазор для всех заданий=0,06 мм (6)

$S_{max}$  -максимальный серийный зазор для всех заданий=0,21 мм (7)

$S_{pr}$  -предельное значение износа для всех заданий=0,54 мм (8)

$\Phi(u)$  -значение функции Лапласа даны в таблице 2 (9)

Требуется определить соответствие распределения зазоров при первом и втором ремонтах нормальному закону распределения.

По статистическим данным при первом ремонте определить приблизительный закон ( математическую модель) изменения зазоров по наработке и оценить долю отбраковки бронзовых букс ( втулок).

По этим же данным осуществить прогнозирование изменения зазоров по наработке и оценить отбраковку бронзовых букс при втором и третьем ремонте.

Сравнить результаты прогнозирования, полученные двумя методами и оценить точность приближенного метода.

Таблица 1

i	При первом ремонте $S_{i1}$			При втором ремонте $S_{i2}$		
	А	Б	В	А	Б	В
1	0,08	0,09	0,10	0,13	0,13	0,14
2	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,16
3	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19
4	0,15	0,16	0,17	0,21	0,22	0,23
5	0,16	0,17	0,18	0,22	0,24	0,24
6	0,17	0,18	0,19	0,24	0,24	0,25
7	0,17	0,18	0,19	0,25	0,26	0,27
8	0,18	0,19	0,20	0,25	0,26	0,27
9	0,18	0,19	0,20	0,26	0,27	0,28
10	0,19	0,20	0,21	0,27	0,28	0,29
11	0,19	0,20	0,21	0,28	0,29	0,30
12	0,19	0,20	0,21	0,28	0,29	0,30
13	0,21	0,22	0,23	0,29	0,29	0,31
14	0,21	0,22	0,23	0,30	0,31	0,32
15	0,22	0,23	0,24	0,30	0,31	0,32
16	0,22	0,23	0,24	0,31	0,32	0,33
17	0,23	0,24	0,25	0,33	0,33	0,34
18	0,23	0,24	0,25	0,34	0,35	0,36
19	0,24	0,25	0,26	0,35	0,36	0,37
20	0,24	0,25	0,26	0,36	0,37	0,38
21	0,25	0,26	0,27	0,38	0,40	0,41
22	0,27	0,28	0,29	0,41	0,41	0,42

23	0,29	0,29	0,30	0,42	0,43	0,44
24	0,32	0,32	0,32	0,45	0,46	0,47

Значения функции Лапласа  $\Phi(u)$ 

Таблица 2

u	Φ	u	Φ	u	Φ	u	Φ
0.00	0.0000	0.75	0.2734	1.50	0.4332	2.50	0.4938
0.05	0.0199	0.80	0.2881	1.55	0.4394	2.60	0.4953
0.10	0.0398	0.85	0.3023	1.60	0.4452	2.70	0.4965
0.15	0.0596	0.90	0.3159	1.65	0.4505	2.80	0.4974
0.20	0.0793	0.95	0.3289	1.70	0.4551	2.90	0.4981
0.25	0.0987	1.00	0.3413	1.75	0.4599	3.00	0.4986
0.30	0.1179	1.05	0.3531	1.80	0.4641	3.20	0.4993
0.35	0.1368	1.10	0.3643	1.85	0.4678	4.00	0.49997
0.40	0.1554	1.15	0.3749	1.90	0.4713	4.50	0.49999
0.45	0.1736	1.20	0.3849	1.95	0.4744	5.00	0.49999
0.50	0.1915	1.25	0.3944	2.00	0.4772	—	—
0.55	0.2088	1.30	0.4032	2.10	0.4821	—	—
0.60	0.2257	1.35	0.4115	2.20	0.4861	—	—
0.65	0.2422	1.40	0.4192	2.30	0.4893	—	—
0.70	0.2580	1.45	0.4265	2.40	0.4918	—	—

## 6.2. Методика выполнения примерного расчета по контрольной работе

Пусть для нашего варианта задания статистические данные величин зазоров в парах трения в миллиметрах соответствуют данным таблицы 3.

Таблица 3.

При первом ремонте $S_{i1}$ , мм				При втором ремонте $S_{i2}$ , мм			
0,08	0,11	0,13	0,15	0,13	0,14	0,17	0,21
0,16	0,17	0,17	0,18	0,22	0,24	0,25	0,25
0,18	0,19	0,19	0,19	0,26	0,27	0,28	0,28
0,21	0,21	0,22	0,22	0,29	0,30	0,30	0,31
0,23	0,23	0,24	0,24	0,33	0,34	0,35	0,36
0,25	0,27	0,29	0,32	0,38	0,41	0,42	-----

Определение среднего значения зазора при 1 ремонте:

$$N_1=24 \quad (10)$$

$$Scp.1=(\text{сумма значений от } S_{i1} \text{ до } S_{N1}) / N_1=0,2 \text{ мм} \quad (11)$$

Определение по данным табл.3 параметров зазоров при 1 ремонте:

$$(S_{i1} - Scp1) \quad (12)$$

$$(S_{i1} - S_{cp1})^2 \times 10^4 \quad (13)$$

$$(S_{i1} - S_{cp1})^3 \times 10^6 \quad (14)$$

Данные расчета по формулам (12),(13),(14) сведены в табл.4

Среднеквадратическое отклонение зазора при 1 ремонте:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} (S_{i1} - S_{cp.1})^2}{N_1 - 1}} = 0,055 \text{ мм} \quad (15)$$

Проверка закона распределения:

$$Sa_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} (S_{i1} - S_{cp.1})^3}{N_1 Q_1^3} = 0,15 \text{ мм} \quad (16)$$

Поскольку, величина  $Sa_1$  близка к нулю, распределение величины зазора при 1 ремонте подчинено закону нормального распределения.

Определение среднего значения зазора при 2 ремонте:

$$N_1 = 23 \quad (17)$$

$$S_{cp.2} = (\text{сумма значений от } S_{i2} \text{ до } S_{N2}) / N_2 = 0,28 \text{ мм} \quad (18)$$

Определение по данным табл.3 параметров зазоров при 2 ремонте:

$$(S_{i2} - S_{cp2}) \quad (19)$$

$$(S_{i2} - S_{cp2})^2 \times 10^4 \quad (20)$$

$$(S_{i2} - S_{cp2})^3 \times 10^6 \quad (20'')$$

Данные расчета по формулам (19),(20),(20'') сведены в табл.5

Среднеквадратическое отклонение зазора при 2 ремонте:

$$Q_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^{N_2} (S_{i2} - S_{cp.2})^2}{N_2 - 1}} = 0,078 \text{ мм} \quad (21)$$

Проверка закона распределения:

$$Sa_2 = \frac{\sum_{i=2}^{N_2} (S_{i2} - S_{cp.2})^3}{N_2 Q_2^3} = 0,12 \text{ мм} \quad (22)$$

Поскольку, величина  $Sa_2$  близка к нулю, распределение величины зазора при 2 ремонте подчинено закону нормального распределения.

Таблица 4

№	$S_{i1}$ , мм	$(S_{i1} - S_{cp1})$	$(S_{i1} - S_{cp1})^2 \times 10^4$	$(S_{i1} - S_{cp1})^3 \times 10^6$
1	0,08	- 0,12	144	- 1728
2	0,11	- 0,09	81	- 729
3	0,13	- 0,07	49	- 343
4	0,15	- 0,05	25	- 125
5	0,16	- 0,04	16	- 64
6	0,17	- 0,03	9	- 27
7	0,17	- 0,03	9	- 27
8	0,18	- 0,02	4	- 8
9	0,18	- 0,02	4	- 8
10	0,19	- 0,01	1	- 1
11	0,19	- 0,01	1	- 1

12	0,19	- 0,01	1	- 1
13	0,21	0,01	1	1
14	0,21	0,01	1	1
15	0,22	0,02	4	8
16	0,22	0,02	4	8
17	0,23	0,03	9	27
18	0,23	0,03	9	27
19	0,24	0,04	16	64
20	0,24	0,04	16	64
21	0,25	0,05	25	125
22	0,27	0,07	49	343
23	0,29	0,09	81	729
24	0,32	0,12	144	1728
	4,83 (сумма)		703 (сумма)	63 (сумма)
Таблица 5				
Параметры распределения зазоров при втором ремонте				
№	Si <sub>2</sub> , мм	(Si <sub>2</sub> - Scp <sub>2</sub> )	(Si <sub>2</sub> - S <sub>2</sub> cp <sub>2</sub> ) x 10 <sup>4</sup>	(Si <sub>2</sub> - S <sub>6</sub> cp <sub>2</sub> ) <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup>
1	0,13	- 0,15	225	- 3375
2	0,14	- 0,14	196	- 2744
3	0,17	- 0,11	121	- 1331
4	0,21	- 0,07	49	- 343
5	0,22	- 0,06	36	- 216
6	0,24	- 0,04	26	- 64
7	0,25	- 0,03	9	- 27
8	0,25	- 0,03	9	- 27
9	0,26	- 0,02	4	- 8
10	0,27	- 0,01	1	- 1
11	0,28	0	0	0
12	0,28	0	0	0
13	0,29	0,01	1	1
14	0,30	0,02	4	8
15	0,30	0,02	4	8
16	0,31	0,03	9	27
17	0,33	0,05	25	125
18	0,34	0,06	36	216
19	0,35	0,07	49	343
20	0,36	0,08	64	512
21	0,38	0,10	100	1000
22	0,41	0,13	169	2179

23	0,42	0,14	196	2744
	6,49 (сумма)		1323 (сумма)	- 1223(сумма)

Определение математической модели изменения величин зазоров по наработке.

Суммарная наработка пар трения при 1 ремонте:

$$t_1 = t = 4400 \text{ посадок} \quad (23)$$

Значение  $t$  берется из (5).

Среднее значение зазоров в начале эксплуатации:

$$S_{\text{ср.0}} = S_{\text{min}} + [(S_{\text{max}} - S_{\text{min}}) / 3] = 0,11 \text{ мм} \quad (24)$$

Значения  $S_{\text{min}}$  и  $S_{\text{max}}$  берутся из (6) и (7).

Суммарная наработка пар трения при 2 ремонте:

$$t_2 = t_1 + t = 8800 \text{ посадок} \quad (25)$$

Значения  $t_1$  и  $t$  берутся из (23) и (5).

Средний прогнозируемый зазор при 2 ремонте:

$$S''_{\text{ср.2}} = S_{\text{ср.0}} + \{(S_{\text{ср.1}} - S_{\text{ср.0}}) / (t_1 / t_2)\} = 0,29 \text{ мм} \quad (26)$$

Значения величин берутся из (24), (11), (25) и (23).

Величина ошибки прогнозируемого среднего и реального зазоров в % :

$$(S''_{\text{ср.2}} - S_{\text{ср.2}}) / S_{\text{ср.2}} = 0,038 \times 100 = 3,58\%, \text{ что незначительно} \quad (27)$$

Значения величин берутся из (26) и (18).

Прогнозируемое среднеквадратическое отклонение при 2 ремонте:

$$Q''_2 = (S''_{\text{ср.2}} / S_{\text{ср.1}}) \times Q_1 = 0,08 \text{ мм} \quad (28)$$

Значения берутся из (26), (11), (15).

Ошибка среднеквадратического отклонения в %:

$$(Q''_2 - Q_2) / Q_2 = Q_2 \times 100 = 2,58\%, \text{ что незначительно} \quad (29)$$

Значения берутся из (28) и (21).

Максимальная величина зазора при 1 ремонте:

$$S_{1 \text{ max}} = S_{\text{ср.1}} + 2 Q_1 = 0,31 \text{ мм} \quad (30)$$

Значения берутся из (11) и (15).

Максимальная величина прогнозируемого зазора при 2 ремонте:

$$S''_{2 \text{ max}} = S''_{\text{ср.2}} + 2 Q''_2 = 0,45 \text{ мм} \quad (31)$$

Значения берутся из (26) и (28).

Прогнозируемый ресурс наступления максимального зазора:

$$T = (t_2 - t_1) / \log (S''_{2 \text{ max}} / S_{1 \text{ max}}) = 27200 \text{ посадок} \quad (32)$$

Значения берутся из (25), (23), (30), (31).

Математическая модель изменения максимальной величины зазора при первом ремонте будет иметь вид (величина наработки - аргумент):

$$\{(t - t_1) / T\}$$

$$S''_{1 \text{ max}} = S_{1 \text{ max}} \times 10 \quad (33)$$

Величины берутся из (30), (23), (32).

Предельно допустимая наработка:

$$t_{\text{пред.}} = \{T \times \log [S_{\text{спр}} / (S_{\text{ср.1}} + 2 Q_1)]\} + t_1 = 10928 \text{ посадок} \quad (34)$$

Величины берутся из (32), (8), (11), (23), (15).

Допустимая величина прогнозируемого зазора:

$$- t / T$$

$$S_{\text{доп.}} = S_{\text{пр.}} \times 10 = 0,37 \text{ мм.} \quad (35)$$

Величины берутся из (8),(5),(32).

Прогнозируемая наработка начала отбраковки букс:

$$t_{\text{отбр.}} = \{ T \times \log [S_{\text{доп.}} / (S_{\text{ср.1}} + 2Q_1)] \} + t = 6494 \text{ посадки} \quad (36)$$

Величины берутся из (32),(35),(11),(15),(5).

Вывод: отбраковка букс начнется при 2 ремонте.

Доля отбраковки составит:

Находим значение аргумента функции Лапласа и по табл.2 саму функцию:

$$u = \{ S_{\text{доп.}} - S_{\text{ср.2}} \} / Q^2 = 1 \quad (37)$$

Величины берутся из (26),(35),(28).

$$\Phi(u) = \Phi(1) = 0,34 \quad (38)$$

Значение u берется из (37).

Доля отбраковки при 2 ремонте составит:

$$0,5 - \Phi(1) = 0,5 - 0,34 = 0,16 \text{ или } 16\% \quad (39)$$

Величина  $\Phi(1)$  берется из (38).

Оценка отбраковки при 3 ремонте ведется аналогично, как при втором:

$$\{ (t_3 - t) / T \}$$

$$S_{\text{ср.3}} = S_{\text{ср.1}} \times 10 = 0,42 \text{ мм} \quad (40)$$

Значения берутся из (11),(5),(32).

$$t_3 = 3 \quad t = 13200 \text{ посадок.}$$

$$Q_3 = (S_{\text{ср.3}} / S_{\text{ср.1}}) \times Q_1 = 0,116 \text{ мм} \quad (41)$$

Величины берутся из (40),(11),(15).

$$u_3 = \{ S_{\text{доп.}} - S_{\text{ср.3}} \} / Q_3 = -0,43 \quad (42)$$

Величины берутся из (35),(40),(41).

$$\text{По табл. 2 находим } \Phi(u_3), \Phi(-0,43) = -0,166 \quad (43)$$

Величина  $u_3$  берется из (42).

Суммарная доля отбраковки при 2 3 ремонтах составит:

$$0,5 - \Phi(u_3) = 0,5 - (-0,166) = 0,67, \text{ или } 67\% \quad (44)$$

Величина  $\Phi(u_3)$  берется из (43).

Так как при 2 ремонте выбраковывается 16% букс ( см.39), а при втором и третьем ремонтах выбраковывается 67% букс (см.44), то при 3 ремонте будет отбраковано:

$$67\% - 16\% = 51\% \quad (45)$$

На восьми шасси ЛА установлено:

$$12 \times 8 = 96 \text{ букс} \quad (46)$$

При 2 ремонте будет заменено 16% ( см.39) из 96 ( см.46) букс:

$$0,16 \times 96 = 15 \text{ букс} \quad (47)$$

При 3 ремонте ожидается замена 51% ( см.45) из 96 (см.46) букс:

$$0,51 \times 96 = 49 \text{ букс} \quad (48)$$

Поэтому, после третьего ремонта на 8 шасси ЛА количество букс с наработкой, равной двум межремонтным ресурсам, будет:

$$96 - 49 - 15 = 32 \text{ буксы} \quad (49)$$

Величины берутся из (46),(48),(47).

Оценка точности приближенного расчета.

Для оценки точности приближенного расчета необходимо произвести вычисления по статистическим данным отбраковки деталей при первом и втором ремонтах.

Исходные данные для расчета сведены в таблицу 6.

Таблица 6

№ ремонта	Среднее значение зазора в мм	Среднее квадратичное отклонение в мм	Максимальная величина зазора в мм	Число посадок
1	$0,2 = S_{cp.1}$	$0,055 = Q_1$	$0,31 = S_{1 \max}$	$4400 = t_1$
2	$0,28 = S_{cp.2}$	$0,078 = Q_2$	$0,45 = S_{2 \max}$	$8800 = t_2$

Величины табл. 6 берутся из (11),(18),(15),(21),(30),(31),(5),(25).

У каждого, выполняющего контрольную работу, в табл.6 будут свои индивидуальные данные, соответствующие варианту задания.

Время начала отбраковки:

$$T'' = (t_2 - t_1) / \log (S_{2 \max}'' / S_{1 \max}) = 27500 \text{ посадок} \quad (50)$$

Значения величин берутся из табл.6.

Математическая модель максимальной величины зазора при 1 ремонте:

$$\{(t - t_1) / T''\}$$

$$S_{1 \max}''' = S_{1 \max}'' \times 10 \quad (51)$$

Величина  $T''$  берется из (50), остальные из табл.6.

Предельная наработка:

$$t''_{\text{пред.}} = \{T'' \times \log [S_{\text{пр}} / S_{1 \max}]\} + t_1 = 11028 \text{ пос.} \quad (51)$$

Величины берутся из (50),(8) и табл. 6.

Допустимая величина зазора:

$$- t_1 / T''$$

$$S_{\text{доп.}}'' = S_{\text{пр.}} \times 10 = 0,373 \text{ мм.} \quad (52)$$

Величины берутся из (8) и табл. 6.

Нарработка начала отбраковки:

$$t''_{\text{отбр.}} = \{T'' \times \log [S_{\text{доп.}}'' / S_{1 \max}]\} + t_1 = 6610 \text{ пос.} \quad (53)$$

Величины берутся из (50),(52) и табл.6.

Следовательно, отбраковка начнется при 2 ремонте.

Доля отбраковки при 2 ремонте:

$$u'' = \{S_{\text{доп.}}'' - S_{cp.2}\} / Q_2 = 1,19 \quad (54)$$

Величины берутся из (52) и табл. 6.

Функция  $\Phi$  от аргумента  $u''$  (54) находится по табл.2.

$$\Phi(1,19) = 0,384 \quad (55)$$

Доля отбраковки при 2 ремонте:

$$0,5 - \Phi(1,19) = 0,5 - 0,384 = 0,116 \text{ или } 11,6\% \quad (56)$$

Отбраковка при 3 ремонте:

$$\{(t_3 - t) / T''\}$$

$$S_{cp.3}'' = S_{cp.1} \times 10 = 0,41 \text{ мм} \quad (57)$$

Величины берутся из (50),(40) и табл. 6.



Среднеквадратическое отклонение:

$$Q''_3 = (S_{\text{ср.3}} / S_{\text{ср.1}}) \times Q_1 = 0,116 \text{ мм} \quad (58)$$

Величины берутся из (40) и табл. 6.

Суммарная доля отбраковки при 2 и 3 ремонтах определится по величине:

$$u''_3 = \{ S''_{\text{доп.}} - S''_{\text{.3}} \} / Q''_3 = -0,32 \quad (59)$$

Величины берутся из (52),(57),(58).

По табл.2 по аргументу минус 0,32 (59) находится функция Лапласа:

$$\Phi(-0,32) = -0,12 \quad (60)$$

$$0,5 - \Phi(-0,12) = 0,5 - (-0,12) = 0,62 \quad \text{или } 62\% \quad (61)$$

Так как при 2 ремонте выбраковывается 11,6% букс (см.56), а при втором и третьем ремонтах выбраковывается 62% букс (см.61), то при 3 ремонте будет отбраковано:

$$62\% - 11,6\% = 50,4\% \quad (62)$$

На восьми шасси ЛА установлено 96 букс

При 2 ремонте будет заменено 11,6% (см.56) из 96 букс:

$$0,116 \times 96 = 11 \text{ букс} \quad (63)$$

При 3 ремонте ожидается замена 50,4% (см.62) из 96 букс:

$$0,504 \times 96 = 48 \text{ букс} \quad (64)$$

Поэтому, после третьего ремонта на 8 шасси ЛА количество букс с наработкой, равной двум межремонтным ресурсам, будет:

$$96 - 48 - 11 = 37 \text{ букс} \quad (65)$$

Сравнительная характеристика приближенного и "точного" методов расчета запасных частей на 8 летательных аппаратов приведена в таблице 7.

Таблица 7

№ ремонта	Количество отбракованных букс		Расхождение методов расчета запасных частей	
	Приближенный метод	"Точный" метод	Количество	Проценты
2	15	11	4	36%
3	49	48	1	2%
2 и 3	64	59	5	8%

## ВЫВОДЫ

Представленная методика позволяет прогнозировать законы изнашивания авиационных пар трения и долю их отбраковки при каждом очередном ремонте.

Приближенный метод расчета дает завышенное количество потребных запасных частей для обеспечения своевременного ремонта авиатехники.

Целесообразно вводить в расчеты скорректированные данные, полученные по результатам статистического анализа данных предыдущих ремонтов.

Реальные заказы запасных частей производить с учетом накопленных на складе излишков деталей.