

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР  
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ  
В АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ

Методические указания  
к курсовой работе

Утверждены редакционным советом института

22 мая 1975 г.

Куйбышев 1975

Составители: Н.Н. И г о н и н, Г.А. Н о в и к о в,  
И.Г. С т а р о с т и н

Учет, систематизация и анализ неисправностей, отказов и дефектов авиационной техники производится с целью повышения ее эксплуатационной надежности по следующим направлениям:

1 - выявление конструктивных и производственных недостатков для разработки требований и рекомендаций промышленности по совершенствованию конструкции и технологического процесса изготовления изделий;

2 - выявление отказов и неисправностей, связанных с недостатками ремонта, и изменение на основе их анализа технологии ремонта, уточнение методов дефектации и ремонтных допусков;

3 - выявление отказов и неисправностей, связанных с недостатками эксплуатации, и разработка предложений по совершенствованию действующих регламентов технического обслуживания;

4 - накопление информации для обоснования рекомендаций по вопросам определения межремонтных и технических ресурсов авиационной техники.

Решение этих вопросов составляет одну из основных функций эксплуатационных и ремонтных предприятий. Поэтому студенты должны иметь практические навыки по решению этих вопросов.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа "Исследование причин появления неисправностей, отказов и дефектов авиационной техники" выполняется студентом самостоятельно на основе знаний, полученных при изучении курсов "Техническая эксплуатация самолетов и авиадвигателей", "Расчет самолета на прочность", "Конструкция и расчет авиадвигателей", общетехнических дисциплин, а также материалов и сведений, приобретенных студентом во время эксплуатационно-ремонтной практики на предприятиях гражданской авиации.

Основная цель работы - привитие студентам навыков самостоятельного исследования причин появления неисправностей, отказов и дефектов авиационной техники.

Задачами на курсовую работу предусматривают установление причин появления дефектов массы, планера, топливной, масляной, гидравлической и высотной систем, двигателей, различных агрегатов и т.д.

При выполнении курсовой работы студент должен правильно подойти к исследованию причин появления дефектов, показать умение работать с литературой, произвести инженерные расчеты, грамотно оформить чертежи.

Выполнение работы требует от студента большой самостоятельности и инициативы, так как установление причин появления неисправностей, отказов и дефектов авиационной техники требует изучения реальных условий работы деталей, исследования соответствия материалов и технологии изготовления и ремонта техническим условиям, изучения специальной литературы, проведения прочностных расчетов и т.д. Если имеются необходимые сведения, то прочностные расчеты производятся в вероятностном аспекте.

Выполнение работы производится на основе статистических данных по отказам и неисправностям самолетов, вертолетов, их двигателей и систем, рабочих чертежей узлов, на которых появляются дефекты, существующих методов расчета на прочность, жесткость, износостойкость и т.д. с учетом действия реальных нагрузок.

### Содержание и объём курсовой работы

Несмотря на многообразие дефектов, встречающихся при эксплуатации авиационной техники, а, следовательно, и многообразии тематики курсовых работ, можно выделить основные этапы, определяющие содержание работ.

1. Изучение конструкции и принципа работы заданного узла, агрегата, системы.

2. Сбор статистических данных по неисправностям, отказам и дефектам узла, агрегата, системы.

3. Обработка и анализ статистических данных. Выбор дефекта для исследования причины его появления.

4. Проведение исследования.

5. Заключение о причине возникновения дефекта.

6. Разработка мероприятий по предупреждению появления дефекта.

Курсовая работа состоит из графической части (чертежей) и пояснительной записки (текстовая часть проекта).

Чертежи выполняются на ватмане в карандаше с соблюдением требований ЕСКД. Объём графических работ I - I,5 листа формата А-I. Пояснительная записка выполняется на одной стороне листа формата II. Объём записки не более 25-30 листов. С левой стороны листа остаётся поле для подшивки, а с правой - для заметок руководителя проекта. Текст вписывается чернилами, без помарок и подчисток. Допускается использование общепринятых сокращений.

Записка заключается в стандартную обложку.

Примерное содержание графической части работы

1. Конструктивный чертёж узла (агрегата, детали), на котором появляется дефект. На чертеже должны быть указаны размеры, допуски, посадки . . . . . 0,5 листа.

2. Кинематические, расчётные схемы с указанием нагрузок, действующих на деталь. Конструктивные доработки узла, системы, детали . . . . . 0,5 - I лист.

Примерное содержание пояснительной записки

В пояснительной записке кратко и чётко излагается сущность каждого из вопросов, определяющих содержание работы. Следует избегать многословия, переписывания из учебников и других литературных источников общеизвестных положений и истин.

Ниже приводится примерное содержание и объём пояснительной записки.

В в е д е н и е	1 с.
Статистические данные по отказам и неисправностям	3 - 4 с.
Анализ статистических данных и выбор дефекта для подробного исследования	1 - 2 с.
Проведение исследования	15-20 с.
Заключение о причинах появления дефекта	1-2 с.
Разработка мероприятий по предупреждению возникновения дефекта	1-2 с.
Список использованной литературы	1 с.
С о д е р ж а н и е	1 с.

## УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### Общие положения

Установление причин появления неисправностей, отказов и дефектов авиационной техники представляет сложную задачу вследствие многообразия факторов, их вызывающих. Не менее сложной задачей является и разработка мероприятий по предупреждению или устранению неисправностей. Поэтому студент при прохождении эксплуатационно-ремонтной практики и при выполнении курсовой работы должен серьезно относиться к изучению и разработке этих вопросов.

При сборе материалов следует иметь в виду принятые в Г.А. определения:

**н е и с п р а в н о с т ь** - состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному из требований технических условий;

**о т к а з** - нарушение работоспособности изделия (системы), т.е. такое событие, при котором изделие (система) не способно выполнять заданные функции, и для восстановления работоспособности требуется замена изделия или его элементов, или, когда его рабочие параметры вышли за пределы допусков, заданных Т.У., и для восстановления работоспособности изделия необходима регулировка или выполнение работ, не предусмотренных регламентом технического обслуживания или технологией ремонта;

**д е ф е к т** - каждое отдельное несоответствие изделия требованиям, установленным нормативной документацией.

### Сбор статистических данных

Данные о неисправностях, отказах и дефектах могут быть получены в АТБ в группе учета неисправностей при технических отделах (ТКБ) или ОТК, а в АРЗ в группах статистики при отделе главного технолога (ОГТ), в виде карточек учета, дефектных ведомостей, квартальных и годовых отчетов, технических отчетов по исследованию причин досрочного снятия двигателей и агрегатов, технических (рекламационных) актов, охлеленей.

Студенту необходимо самому ознакомиться с дефектными деталями, сделать их эскизы с указанием места положения и характера дефекта. Если дефектных деталей нет, то можно использовать их фотографии или, на основании опроса инженерно-технического состава, указать место расположения и характер дефектов на эскизах.

### Обработка и анализ статистических данных.

#### Выбор дефекта для исследования

Статистические данные о неисправностях, отказах и дефектах, полученные из указанных выше источников, необходимо сгруппировать в таблицу

№ п/п	Характер неисправ- ности(отка- за, дефекта)	Обстоя- тельства и спо- соб об- наруже- ния	Наработка до от- каза (часы, по- садки)		Причины неисправ- ности (отказа, дефекта)	Класси- фикация неисправ- ностей
			С нача- ла экс- плуата- ции	После послед- него ре- монта		

При этом следует иметь в виду, что в понятие "характер неисправности" входит физическая сущность явления (события), следствием которого явилось нарушение работоспособности изделия (системы), т.е. что именно произошло с узлом (деталью, элементом), приведшим к отказу или неисправности изделия (системы). Например: обрыв, трещина, разрушение, не убирается левая нога шасси, износ, заедание и т.п.

В графе "обстоятельства и способ обнаружения" следует указать, при каких обстоятельствах произошла неисправность и как она была обнаружена. Например: в полете при уборке шасси не загорелась красная сигнальная лампочка; при техническом обслуживании; во время дефектации визуально или с помощью неразрушающих методов контроля.

В графе " причина неисправности" следует указать, что же привело к возникновению неисправности (отказа, дефекта). Например: недостаточная усталостная прочность; перезатяжка резьбового соединения; потеря физико-механических свойств материала; отсутствие смазки и т.п.

Если причина неисправности неизвестна, то нужно указать несколько наиболее вероятных причин. Большую помощь в установлении причин дефектов может оказать инженерно-технический состав, к которому следует обратиться за консультацией.

Другими источниками установления причин появления неисправностей могут быть технические и рекламационные акты, технические отчеты, сбитые по доработкам узлов, агрегатов и т.д.

В графе " классификация" следует указать, к какой группе относится данная неисправность.

В зависимости от причины возникновения принята следующая классификация неисправностей:

- конструктивно-производственные;
- эксплуатационные;
- ремонтные.

Конструктивно-производственная неисправность обусловлена ошибками конструктора, несовершенством примененных методов конструирования, несоответствием материала заданным требованиям, низким качеством изготовления, нарушением технологического процесса или его несовершенством.

Эксплуатационная неисправность обусловлена нарушением установленных правил эксплуатации или технического обслуживания.

Ремонтная неисправность обусловлена низким качеством ремонта, нарушением или несовершенством технологии ремонта.

После составления таблицы отказов и неисправностей нужно провести анализ статистических данных. Анализ заключается в установлении числа дефектов, относящихся к различным группам классификации, характерных и наиболее часто повторяющихся дефектов в каждой группе. На основании этого анализа делается заключение об основных

причинах, вызывающих дефекты и неисправности, производится обоснование выбора дефекта для исследования.

Для исследования выбирается одна неисправность (отказ, дефект), являющаяся характерной для данного изделия. Такой выбор производится самим студентом при прохождении практики с учетом возможности выполнения поверочных расчетов (студент должен представлять расчетную схему) и наличия необходимых для этого данных (чертеж детали, материал, термообработка, размеры, допуски на зазоры и натяги, характер и величина действующих нагрузок, температура и т.п.).

При отсутствии чертежей студент должен составить эскиз и произвести обмер деталей. Сведения о материале деталей, термообработке, посадках можно получить из альбома основных сочленений самолета. Таким образом, уже на практике студент должен сделать предположение о причине дефекта или отказа, наметить методику проведения исследования и, что самое важное, получить исчерпывающие данные для выполнения поверочных расчетов.

#### Проведение исследования

Проведение исследования причин возникновения неисправностей (отказов, дефектов) представляет значительные трудности, т.к. для этого нередко требуется выполнение металлографического анализа, прочностных испытаний, поверочных расчетов на прочность и т.п. Поэтому, не исключая эти методы анализа, в курсовой работе производится в основном расчетный анализ выбранных дефектов, т.е. выполнение поверочных расчетов на прочность, решение размерных цепей, проверка технических условий на отдельные операции технологического процесса обслуживания, расчет ресурса и т.д.

После выбора дефекта (отказа, неисправности) производится исследование причин его возникновения по схеме, указанной на рис. I. Схема исследования включает в себя следующие основные этапы:

- предварительное ознакомление с дефектной деталью;
- анализ внешнего состояния детали;
- анализ условий работы;
- обобщения результатов исследования.

Предварительное ознакомление с дефектной деталью заключается в установлении времени, места и других обстоятельств, возникновения неисправности, условий эксплуатации и наработки деталей в часах (посадках). Эти сведения студент может взять из карточек



учета неисправности авиатехники, технических и рекламационных актов, формуляров двигателей, самолетов и их агрегатов или получить путем опроса инженерно-технического состава.

На основании изучения полученных сведений делается предположение о возможных причинах появления дефекта и составляется план проведения исследования.

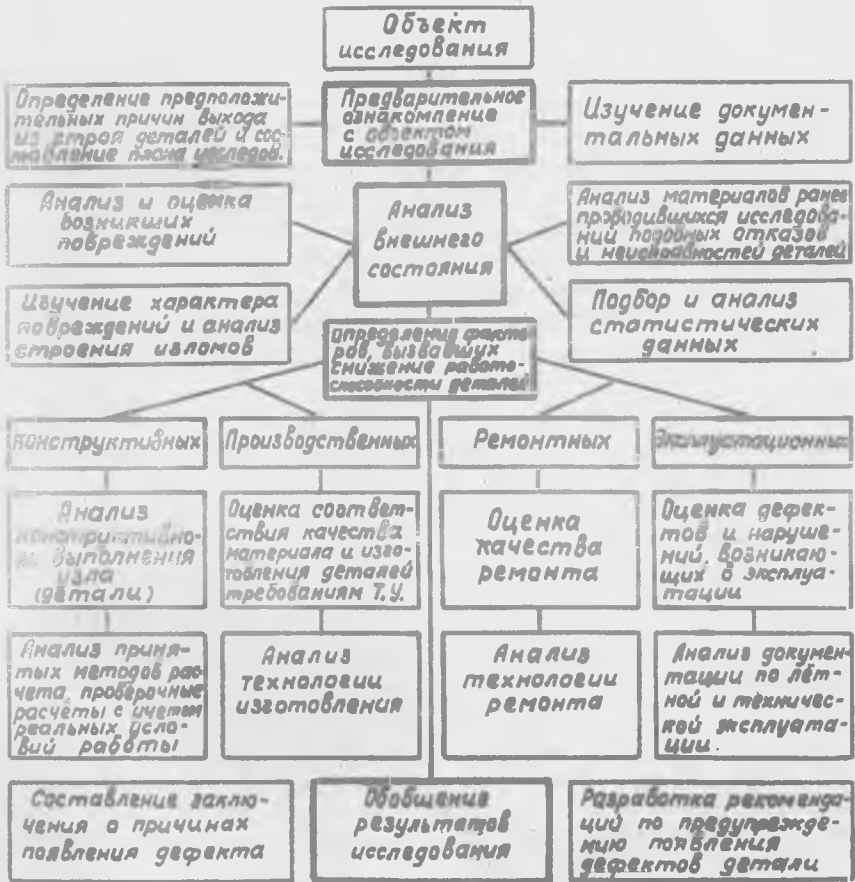


Рис.1. Схема проведения исследования

При определении возможных причин нужно знать, не было ли до-

работок дефектных деталей, частоту появления отказов и неисправностей.

Например, если отказ (неисправность, дефект) появляется вскоре после выпуска изделия с завода-изготовителя, то, возможно, что причиной отказа может быть несовершенство конструкции узла технологии изготовления.

Если неисправность появляется после отработки изделием большого количества часов и носит массовый характер, то очевидно, что причиной является недостаточная усталостная прочность.

Если дефекты появляются вскоре после ремонта изделия, то причиной появления дефекта может быть несовершенство технологии или низкое качество ремонта.

Более подробное описание проведения предварительного ознакомления с дефектной деталью содержится в работах [1], [4], [5].

Анализ внешнего состояния производится с целью установления картины появления неисправности (отказа, дефекта), выявления глубоких дефектов изготовления, а также обнаружения нарушений нормальных условий сборки и эксплуатации.

Этот этап исследования так же, как и предварительное ознакомление с дефектной деталью, производится студентом во время практики.

Для этого студент должен иметь дефектную деталь (узел) или ее фотографию и эскиз со всеми размерами, с указанием места расположения и характера дефекта. Если такие данные отсутствуют, то нужно составить описание дефекта на основании рекламационных, технических актов и технических отчетов или путем опроса инженерно-технического состава.

При исследовании внешнего состояния детали путем визуального осмотра или инструментальными методами студент должен выявить повреждения или признаки, которые могли бы послужить доказательством той или иной причины появления неисправности.

Если деталь разрушилась, то необходимо исследовать характер излома. На основании изучения строения излома можно судить о виде разрушения (статическое, повторно-статическое усталостное, ударно-усталостное) и его характере (хрупкое, пластическое и т.д.). Необходимые сведения для такой оценки характера излома имеются в работах [6], [9], [11], [13], [18].

Установление вида и характера разрушения в совокупности со следами износа, коррозии, наклепа, трещинами и другими повреждениями позволит студенту выявить причину дефекта.

Пример 1. На двигателе произошло разрушение грибка клапана впуска. При исследовании внешнего состояния детали было установлено, что излом имеет вид, характерный для быстрого разрушения. При осмотре двигателя был обнаружен увеличенный зазор между роликом и штоком клапана. На основании этих данных можно сделать вывод, что причиной разрушения клапана является повышение ударной нагрузки, появившейся из-за увеличения зазора. Высказанное предположение было подтверждено расчетным путем.

Пример 2. На турбореактивном двигателе в процессе его эксплуатации произошло разрушение заднего фланца корпуса соплового аппарата турбины. Исследование строения излома показало, что разрушение носит усталостный характер. При дальнейшем осмотре было установлено также, что на фланце имеются риски от грубой механической обработки, а трещины зарождаются по дну этих рисков. Таким образом результаты исследования внешнего состояния подтвердили гипотезу об усталостном разрушении детали, высказанную при предварительном ознакомлении с объектом исследования. Этот вывод был подтвержден и расчетным путем.

Данных, полученных при исследовании внешнего состояния деталей, оказывается еще недостаточно для установления причины появления неисправности. Поэтому студент должен изучить условия работы детали.

Анализ условий работы детали включает в себя изучение эксплуатационных производственно-технологических и конструктивных факторов с точки зрения оценки их влияния на условия нагружения детали и возможности появления перегрузки или ухудшения условий ее работы (рис.1).

Основной анализ эксплуатационных факторов является изучение и оценка условий эксплуатации и качества технического обслуживания самолета, двигателя и их узлов и агрегатов.

При изучении условий эксплуатации и качества технического обслуживания студент должен установить: наработку изделия с начала эксплуатации, после последнего ремонта и число ремонтов; режим работы узла, агрегата и их состояние во время эксплуатации, предшествующей разрушению; особенности работы авиационной техники в процессе эксплуатации; характер отказа агрегата или узла перед обнаружением неисправности; характер выполняемых до поломки регламентных работ, причины замены агрегатов и узлов.

К числу эксплуатационных недостатков, вследствие которых происходят поломки деталей, относятся: эксплуатационная перегрузка деталей (гидравлический удар, раскрутка воздушного винта, грубая посадка и т.д.); чрезмерный износ деталей; заклинивание трущихся поверхностей при попадании механических примесей; перезатяжка или ослабление затяжки резьбовых соединений; разрегулировка зазоров; механические повреждения при сборке, демонтаже и транспортировке. Исследование этих факторов позволяет установить, влияют ли они на нагружение и условия работы детали.

Пример 3. При обслуживании двигателя была обнаружена течь масла из-под штуцера маслоотстойника. Осмотром было установлено, что в отстойнике сорвана резьба, а грани штуцера под ключ деформированы, хотя он отработал всего 56 часов. На основании этого можно считать, что срез резьбы вызван небрежным подтягиванием штуцера.

При анализе производственно-технологических факторов студент должен оценить, не могла ли технология изготовления и ремонта повлиять на неисправность узла или агрегата. Для этого необходимо установить: соответствует ли деталь чертежу, нет ли на ней дефектов технологического характера (рисок, забоин, закалочных и шлифовочных трещин, заковок, волосовин, флокенов и т.д.); соответствует ли качество материала требованиям технических условий; качественно ли проведен ремонт.

Оценка качества материала производится, если при анализе внешнего состояния установлено, что причина неисправности может быть связана с обнаруженными дефектами металла. Выявление дефектов производится путем дефектации с помощью неразрушающих методов контроля [8].

Оценка качества материала производится проведением стандартных механических испытаний образцов, вырезанных из дефектной детали, технологических проб, металлографических исследований и спектрального анализа. Сведения об испытаниях материалов содержатся в работах [10], [19].

Если образцы из дефектной детали сделать нельзя, то о механических свойствах металла судят на основании измерения твердости по Брнелю или Роквеллу.

Для оценки местных изменений механических свойств металла и твердости структурных составляющих производится измерение микротвердости по методу Дьяченко [2]. В случае несоответствия ма-

териала исследуемой детали по механическим свойствам производятся металлографический и спектральный анализы. В результате этих анализов может быть установлено отклонение в содержании химических элементов в материале, несоответствие термической обработке или другие нарушения технологии, повлиявшие на механические свойства.

Оценку материала студент может провести в технической лаборатории АТБ или лаборатории АРЗ.

**Пример 4.** На кронштейне узла подвески турбореактивного двигателя была обнаружена трещина. Осмотром выявлены риски от грубой механической обработки в месте образования трещины. При вскрытии трещины было установлено, что излом имеет типичный усталостный характер. Металлографическим анализом в зоне трещины никаких дефектов материала не обнаружено. На основании этого был сделан вывод, что образование трещины произошло в результате снижения усталостной прочности из-за наличия концентраторов напряжений в виде рисков. Расчеты подтвердили этот вывод.

В случае, если исследование эксплуатационных и производственно-технологических факторов не дает данных для установления причины неисправности, студент производит оценку конструктивных факторов с точки зрения их влияния на появление разрушения или дефекта на детали, узле, агрегате.

К конструктивным недостаткам, которые могут вызвать неисправности, относятся: недостаточная долговечность деталей, неудовлетворительная конструкция узла, неудовлетворительные условия смазки, неправильное назначение допусков и посадок.

О том, что неисправности появляются из-за конструктивных недостатков, свидетельствует повторяемость аналогичных случаев разрушения или появления дефектов и доработки конструкции в процессе доводки и эксплуатации изделий.

При исследовании влияния конструктивных факторов на появление неисправности студент анализирует условия работы деталей, характер нагрузок, напряженное состояние. В случае разрушения или появления усталостных трещин особое внимание следует обратить на наличие конструктивных концентраторов напряжений (отверстий, резьб, галтелей и т.д.).

При обнаружении конструктивных недостатков студент должен расчетным путем доказать, что именно они привели к появлению неисправности, отказу, дефекту. При этом следует иметь в виду, что нагруз-

ки, действующие на детали машин в процессе эксплуатации носят случайный характер. Поэтому расчеты на усталостную прочность выполняются в вероятностном аспекте по методике, приведенной в работе [14]

Сведения об амплитудах и повторяемости нагрузок, действующих на шасси самолета АН-10, студент может найти в работе [3]. Расчет характеристик сопротивления усталости производится по данным работ [7], [12], [15], [16]. Пример такого расчета дан в приложении.

Исследование влияния конструктивных факторов на нарушение сопряжения деталей заключается в проверке расчетным путем правильности назначения посадки. При нарушении герметичности ниппельных соединений студент должен, исходя из условий работы, рассчитать требуемую величину момента затяжки ниппельной гайки. Примеры таких расчетов приведены в работе [17].

5. Заключение о причинах возникновения дефекта и разработка мероприятий по предупреждению его появления.

Заключительным этапом проведенного студентом исследования является обобщение материалов и написание пояснительной записки.

Окончательное заключение о причинах отказа или неисправности может быть сделано только после обобщения и анализа всех результатов исследования: внешнего осмотра, анализа условий работы, оценки материала, качества изготовления или ремонта деталей, проведения необходимых расчетов.

На основании проведенного исследования устанавливается причина появления неисправности и приводятся доказательства её достоверности в виде таблиц, графиков, фотографий, данных расчетов и т.д.

После установления причины разрабатываются мероприятия по предупреждению появления неисправностей и отказов.

Эти мероприятия и рекомендации могут предусматривать:

- улучшение конструкции деталей и узлов;
- улучшение качества изготовления и ремонта;
- совершенствование технологии и изменения техусловий;
- совершенствование эксплуатации и техобслуживания;
- разработку методов контроля с целью обнаружения дефектных деталей.

Разработанные студентом мероприятия, должны быть представлены на листах в виде конструктивных доработок узла, в пояснительной

записке - в виде изменений технологии изготовления, ремонта детали или технического обслуживания, обоснования новых техусловий и описания существа доработки.

Рассмотрим пример проведения исследования причин разрушения шкворня крепления подкоса основного шасси (рис. 2).

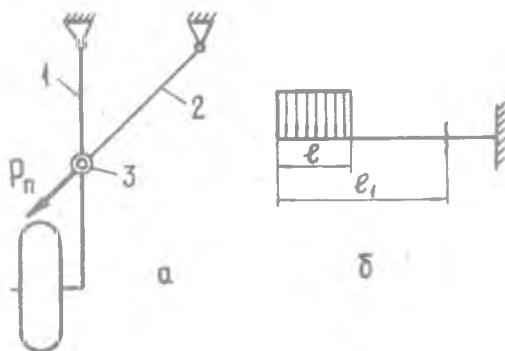


Рис.2. Схема нагружения подкоса ( а ) и шкворня ( б ):  
1 - основная стока; 2 - подкос; 3 -шкворень

#### ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ШКВОРНЯ

##### Обстоятельства, при которых произошел отказ, и внешние признаки, которыми он сопровождался

При посадке самолёта произошло складывание первой стойки шасси. В результате самолёт получил серьезные повреждения и пришёл в нелётное состояние. На основании анализа полученных повреждений было установлено, что первоначально разрушившейся деталью был шкворень крепления подкоса основного шасси. Следовательно, причиной складывания шасси явилось разрушение шкворня по галтельному переходу  $R = 3,0 \pm 0,5$  (рис.3).

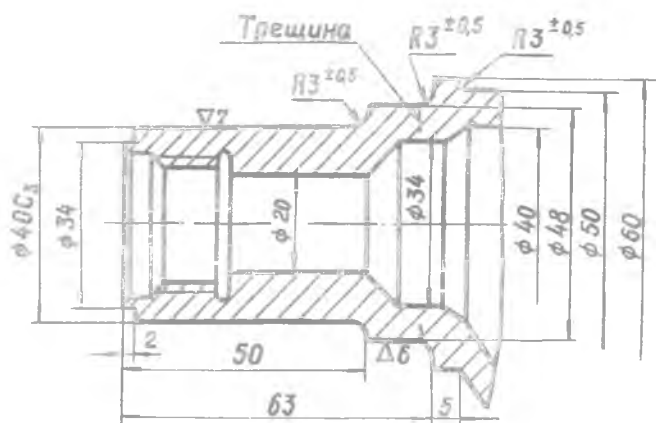


Рис.3. Конструктивный чертеж шкворня:  
Термообработать при  $\sigma_8 = 140 - 150 \text{ кг/мм}^2$ ;  
допуски на свободные размеры по А<sub>5</sub>, С<sub>5</sub>

#### Предварительное ознакомление с объектом исследования

По формуляру было установлено, что к моменту разрушения шкворня самолёт совершил 1481 посадку. Учитывая серьезность дефекта, был проведён разовый осмотр всех эксплуатируемых самолётов. В результате осмотра были обнаружены трещины шкворня на 23 самолётах. Длина трещины достигает 2 - 15 мм, а наработка составляет 20-1480 посадок.

Средняя наработка до появления трещины равна 795 посадок. Все трещины проходят по галтельному переходу  $R 3,0 \pm 0,5$  (см.рис.3). Это свидетельствует о массовости дефекта и необходимости исследования причин его появления.

На основании данных, полученных при предварительном ознакомлении с дефектным шкворнем, можно сделать вывод, что причинами его разрушения могут быть:

некачественное изготовление шкворня (дефекты материала, несоответствие геометрических размеров и обработки техническим условиям);

недостаточная конструктивная прочность шкворня;

нарушение условий эксплуатации (грубая посадка, чрезмерная затяжка гайки при монтаже подкоса).



### Анализ внешнего состояния шкворня

В результате внешнего осмотра шкворня было установлено, что разрушение произошло по сечению  $\phi$  48 мм, а излом имеет вид, типичный для усталостного излома. Зона начального разрушения представляет собой многочисленные очаги усталости, берущие начало от галтельного перехода  $R\ 3,0^{+0,5}_{-0,5}$  мм (см. рис. 3).

Повреждений шкворня в виде забоин, рисок, царапин в зоне разрушения обнаружено не было.

### Анализ условий работы шкворня

Для проверки соответствия разрушившегося шкворня чертежу производились геометрические измерения и контроль механических свойств материала.

Контроль механических свойств материала производился путём проведения стандартных испытаний образцов, вырезанных из участков шкворня, прилегающих к зоне излома. Проведенные испытания показали, что образцы имеют  $\sigma_b = 140 - 150$  кгс/мм<sup>2</sup>, что соответствует техусловиям.

Проведенные геометрические измерения показали, что все размеры шкворня и чистота поверхности соответствуют чертежу, а профиль резьбы М28х1,5 удовлетворяет требованиям ГОСТа 9253-59.

По данным замеров радиус галтели  $R = 2,58$  мм вместо  $R = 3,0^{+0,5}_{-0,5}$  мм); диаметры ступеней шкворня соответственно равны  $d = 47,85$  мм и  $D = 54,8$  мм (вместо  $\phi$  48 мм и  $\phi$  55 мм). Отклонения указанных размеров не превышают заданных допусков.

Наиболее нагруженные витки резьбы не имеют деформации, которая могла бы дать основание для предположения о перезатяжке резьбы при монтаже подкоса в АТБ.

Документально подтверждено, что затяжка гайки производилась динамометрическим ключом с моментом, соответствующим техусловиям. Всё это свидетельствует о том, что нарушения правил монтажа подкоса на шкворень не было.

Изучение записей самописцев за длительный период показало, что перегрузка при посадке не превышала эксплуатационную перегрузку. Следовательно, условия эксплуатации и изготовления шкворня не могли привести к поломке.

На основании исследования можно сделать вывод, что наиболее вероятной причиной разрушения шкворня является недостаточная уста-

лостная прочность. Для доказательства этого необходимо провести расчет срока службы шкворня и определить вероятность его разрушения по методике, изложенной в работе [14].

Исходные данные для расчёта:

1. Кинематическая схема шасси (см. рис.2).
2. Конструктивный чертёж шкворня (см. рис.3).
3. Кривая интегральной повторяемости нагрузок, действующих на шкворень за эксплуатационный цикл (руление, разбег, пробег) (рис.4).

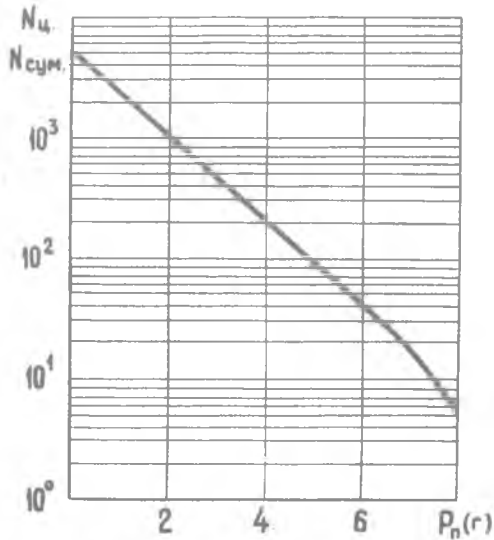


Рис.4. Интегральная повторяемость амплитуд ускорений

4. Материал шкворня - легированная сталь, термообработка - изотермическая закалка  $\sigma_s = 140 - 150 \text{ кгс/мм}^2$ .
5. Кривая выносливости образца из легированной стали (рис.5).

Последовательность расчета

- I. Расчет интегральной повторяемости напряжений в исследуемом сечении шкворня.

2. Определение предела выносливости шкворня  $\sigma_{-1g}$ .
3. Определение общего коэффициента вариации  $V_{\sigma_{-1g}}$ .
4. Определение параметров кривой усталости  $m$  и  $N_0$ .
5. Выбор расчетного случая.
6. Определение формы блока нагружения за эксплуатационный цикл.
7. Вычисление значения величины суммы относительных долговечностей  $Q_p$ .
8. Вычисление среднего числа блоков нагружения до образования усталостной трещины для медианной вероятности (50%).
9. Определение функции долговечности шкворня.
10. Определение среднеквадратичного отклонения логарифма долговечности.
11. Определение долговечности шкворня при заданной вероятности.

#### С п и с о к о б о з н а ч е н и й

- $\bar{\sigma}_{-1}$  - медианное значение предела выносливости образца  $\varnothing 8$  мм по совокупности всех плавов металла данной марки;
- $\bar{\sigma}_{-1g}$  - медианное значение предела выносливости шкворня по совокупности всех плавов металла данной марки и возможных в пределах допуска отклонений фактических размеров от номинальных;
- $\beta$  - коэффициент влияния качества обработки поверхности на предел выносливости образца;
- $\beta_{упр}$  - коэффициент влияния упрочнения на предел выносливости детали;
- $\alpha_{\sigma}$  - теоретический коэффициент концентрации напряжений;
- $K_{\sigma}$  - суммарный коэффициент концентрации напряжений, учитывающий влияние всех факторов;
- $L$  - периметр или часть периметра рабочего сечения образца, мм;
- $\bar{G}$  - относительный градиент первого главного напряжения в зоне концентрации, 1/мм;
- $\epsilon_{\infty}$  - предельное значение коэффициента влияния абсолютных размеров на предел выносливости при увеличении диаметра гладкого образца (при  $d \rightarrow \infty$ );

- $V_{\sigma}$  - постоянная для данного металла величина, определяющая чувствительность к концентрации напряжений и влиянию абсолютных размеров поперечного сечения;
- $V_{\sigma_{\max}}$  - коэффициент вариации максимального разрушающего напряжения деталей в зоне концентрации, изготовленных из металла данной плавки;
- $V_{\alpha_{\sigma}}$  - коэффициент вариации теоретического коэффициента концентрации  $\alpha_{\sigma}$  ;
- $V_{\rho}$  - коэффициент вариации радиуса закругления  $\rho$  в зоне концентрации напряжений детали;
- $V_{\sigma-1g}$  - коэффициент вариации предела выносливости натурной детали с учетом всех факторов;
- $S$  - постоянная для данного металла величина, характеризующая внутриплавочное рассеяние пределов выносливости;
- $V_{\sigma}$  - коэффициент вариации предела прочности металла по совокупности всех плавки металла данной марки;
- $V_{\epsilon} = V_{\sigma_{\max}}$  - коэффициент вариации величины  $\sigma_{\max}$  ;
- $N_{\text{сум}}$  - число циклов нагружения детали за ресурс;
- $N'_{\text{сум}}$  - число циклов нагружения детали за эксплуатационный цикл;

Остальные обозначения поясняются в тексте.

Расчет интегральной повторяемости амплитуд напряжений в шкворне

В процессе эксплуатации шкворень амортистойки нагружен силой  $P_n$ , действующей на подкос (см. рис.2,а). Интегральное распределение амплитудных значений силы  $P_n$  с учётом различных эксплуатационных факторов (неровности ВПП, боковой силы, веса самолёта, скоростей движения, различий в условиях посадки и взлёта и т.д.) для одного эксплуатационного цикла приведено на рис.4. Это распределение получено путём обработки 345 осциллограмм тензометрирования усилия в подкосе на этапах руления, взлёта и посадки.

Анализ функции распределения амплитудных значений силы свидетельствует, что она описывается уравнением экспоненциального закона

$$N_{\text{ц}} = N'_{\text{сум}} e^{-0,81 \cdot 10^{-3} P_n}$$

Коэффициент вариации  $V_{\sigma}$  усилия  $P_n$  данного распределения равен 0,105.

Преобразуем распределение амплитудных значений сил по числу циклов в распределение амплитуд напряжений, действующих в исследуемом сечении шкворня амортистойки, используя расчетную схему (см. рис.2,б) и уравнение

$$\sigma = \frac{P_n (\ell_1 - \ell/2)}{W}, \quad (I)$$

где  $\ell_1$  - длина шкворня до опасного сечения;

$\ell$  - длина посадочного диаметра шкворня;

$W$  - момент сопротивления исследуемого сечения шкворня.

Подставив числовые значения в уравнение (I), получим

$$\sigma = \frac{P_n (63 - 22,5)}{0,1 (47,85^3 - 34^3)} = 5,68 \cdot 10^{-3} P_n \text{ кгс/мм}^2.$$

Кривая распределения амплитуд нормальных напряжений приведена на рис. 6.

Определение среднего значения предела выносливости шкворня в месте разрушения

Среднее значение предела выносливости  $\sigma_{-1g}$  шкворня при изгибе определяется по формуле [15]

$$\bar{\sigma}_{-1g} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{K_{\sigma g}}; \quad K_{\sigma g} = \left( \frac{d_{\sigma}}{F(L/\bar{G}, \sqrt{\sigma})} + \frac{1}{\beta} - 1 \right) \frac{1}{\beta_{\text{чипр}}} \quad (2)$$

I. Нахождение  $\bar{\sigma}_{-1}$  и  $\sqrt{\sigma}$ .

По кривой (рис.5) находим  $\bar{\sigma}_{-1} = 74 \text{ кгс/мм}^2$  и по рекоменда-

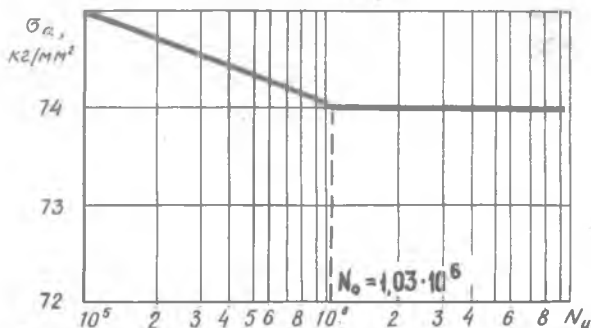


Рис.5. Кривая выносливости образца ( $d_0 = 8\text{мм}$ ) из легированной стали при изотермической закалке

циям ([15], с.11) принимаем для легированной стали  $\nu_{\sigma} = 0,08$ .

2. Определение значения  $\alpha_{\sigma}$ .

Шкворень представляет собой ступенчатое тело, подверженное изгибу. Для значений  $\frac{\bar{d}}{d} = \frac{54,8}{47,85} = 1,145$  и

$$\frac{\bar{\rho}}{d} = \frac{2,58}{47,85} = 0,054 \text{ по рис.27 [15] находим } \alpha_{\sigma} = 1,9.$$

3. Нахождение значения  $\bar{G}$ .

Значение  $\bar{G}$  находим по формуле  $\bar{G} = 2,3(1+\psi)\bar{\rho} + 2/\bar{d}$  табл.3 [15].

$$\text{При } t = \frac{\bar{d} - d}{2} = \frac{54,8 - 47,85}{2} = 3,475 \text{ мм, } \frac{\bar{t}}{\bar{\rho}} = 1,345$$

$$\psi = \frac{1}{4\sqrt{t/\rho} + 2} = \frac{1}{4\sqrt{1,345} + 2} = 0,15;$$

$$\bar{G} = \frac{2,3(1+0,15)}{2,58} + \frac{2}{47,85} \approx 1,07 \text{ 1/мм.}$$

4. Подсчет значения  $\lg L/\bar{G}$ .

По рекомендациям [15] на рис.40 при изгибе  $L = d = 47,85$  мм,  $\lg \frac{L}{\bar{G}} = \frac{47,85}{1,07} \approx 1,65$ . По таблице I для  $\nu_{\sigma} = 0,08$  и  $\lg \frac{L}{\bar{G}} = 1,65$  интерполируя, находим  $F(\lg L/\bar{G}, \nu_{\sigma}) = 1,02$ .

5. Определение коэффициентов  $\beta$  и  $\beta_{\text{упр}}$ .

Из чертежа (см. рис.3) устанавливаем, что чистота поверхности  $\nabla 6$ . Такая чистота получается при тонком точении.

По рис.49 [15] на кривой 3 для  $\sigma_{\sigma} = 145$  кгс/мм<sup>2</sup> находим  $\beta = 0,7$ . Известно, что поверхностному упрочнению шкворень не подвергался,

$$\text{тогда } \beta_{\text{упр}} = \frac{\sigma_{\sigma} - \sigma_{\text{упр}}}{\sigma_{\sigma}} = 1.$$

6. Нахождение значения  $K_{\sigma\sigma}$ .

Подставив значения найденных коэффициентов в формулу (2), получим

$$K_{\sigma\sigma} = \left( \frac{1,9}{1,02} + \frac{1}{0,7} - 1 \right) \frac{1}{1} = 2,3.$$

7. Среднее значение предела выносливости шкворня составит

$$\bar{\sigma}_{-1q} = \frac{\bar{\sigma}_{-1}}{K_{\sigma q}} = \frac{7,4}{2,3} = 32,3 \text{ кгс/мм}^2,$$

Определение общего коэффициента вариации предела выносливости шкворня. общий коэффициент вариации  $V_{\sigma_{-1q}}$  определяется по формуле [15]

$$V_{\sigma_{-1q}} = \sqrt{V_{\sigma_{\max}}^2 + V_{\bar{\sigma}_{-1}}^2 + V_{\alpha_{\sigma}}^2} \quad (3)$$

1. Коэффициент вариации  $V_{\sigma_{\max}}$  находим по формуле [15]

$$V_{\sigma_{\max}} = \frac{(1 - 10^{-2S}) 10^q}{2(\epsilon_{\infty} \bar{\sigma}_{-1} + 10^q)} \quad (4)$$

По рекомендациям ([15], с.21) принимаем для легированной стали  $S = 0,05$ ;  $\epsilon_{\infty} = 0,5$ .

Ранее нами определены значения  $\bar{\sigma}_{-1} = 74 \text{ кгс/мм}^2$ ;

$$\sqrt{\sigma} = 0,08; \lg L/\bar{\sigma} = 1,65.$$

Найдем предварительно величину  $q$  по формуле

$$q = 1,946 \sqrt{\sigma} + \lg(\epsilon_{\infty} \bar{\sigma}_{-1}) - \sqrt{\sigma} \lg L/\bar{\sigma} = 1,946 \cdot 0,08 + \lg 37 - 0,08 \cdot 1,65 = 1,69.$$

Подставив в формулу (4) значения  $S$ ,  $q$ ,  $\epsilon_{\infty}$  и  $\bar{\sigma}_{-1}$ , получим  $V_{\sigma_{\max}} = 0,057$ .

2. Коэффициент вариации  $V_{\alpha_{\sigma}}$  находим по формуле [15]

$$V_{\alpha_{\sigma}} \approx \left| \frac{\partial \alpha_{\sigma}}{\partial \rho} \right|_0 \frac{\bar{\rho}}{\bar{\alpha}_{\sigma}} V_{\rho}, \quad (5)$$

где  $\bar{\alpha}_{\sigma}$  - среднее значение  $\alpha_{\sigma}$ , соответствующее  $\rho = \bar{\rho}$ ;

$\left| \frac{\partial \alpha_{\sigma}}{\partial \rho} \right|_0$  - абсолютное значение производной, которое берётся при средних значениях определяющих параметров.

Для подсчета  $V_{\alpha_{\sigma}}$  по рис.27 [15] находим значения  $\alpha_{\sigma}$  при  $\frac{\rho}{d} = 1,145$  и 2-х значениях  $\frac{\rho}{d}$ , близких к 0,054, например, при  $(\frac{\rho}{d})_1 = 0,04$   $\alpha_{\sigma_1} = 2$ ; при  $(\frac{\rho}{d})_2 = 0,06$   $\alpha_{\sigma_2} = 1,8$ .

По формуле [15]

$$\frac{\alpha_{\sigma} - \alpha_{\sigma_1}}{\alpha_{\sigma_2} - \alpha_{\sigma_1}} = \frac{\frac{\rho}{d} - (\frac{\rho}{d})_1}{(\frac{\rho}{d})_2 - (\frac{\rho}{d})_1}$$

находим

$$\frac{\alpha_{\sigma} - 2}{1,8 - 2} = \frac{\rho/d - 0,04}{0,06 - 0,04},$$

откуда  $\alpha_{\sigma} = 2,4 - 10\rho/d$ .

Дифференцируя по  $\rho$ , получим

$$\left| \frac{\partial \alpha_{\sigma}}{\partial \rho} \right|_0 = \frac{10}{d} = \frac{10}{47,25}$$

Принимая закон распределения отклонений радиуса галтели нормальным и считая, что допуск  $\pm 0,5$  мм соответствует  $\pm 3 S_p$ , получим  $S_p = \frac{0,5}{3} = 0,166$ ;  $V_p = \frac{0,166}{3} = 0,0555$ .

По формуле (5) находим

$$V_{\alpha\sigma} = \frac{10}{47,85} \cdot \frac{2,58}{1,9} \cdot 0,0555 = 0,0158.$$

3. По рекомендациям ([15], с.21) принимаем  $V_{\sigma-1} \approx V_{\sigma_0} = 0,08$ .

4. По формуле (3) находим общий коэффициент вариации  $V_{\sigma-1q} = 0,110$ .

Определение параметров кривой усталости. Уравнение левой ветви кривой усталости (см.рис.5) представляется в виде

$$N\sigma^m = N_0 \sigma_{-1}^m, \quad (6)$$

где  $m$  — показатель наклона кривой усталости в двойных логарифмических координатах;

$N_0$  — абсцисса точки перелома кривой усталости.

Подставив в уравнение (6) значение  $\sigma_0 = 150$  кгс/мм<sup>2</sup>;

$$N = 1 \text{ циклу}, \quad N_0 = 1,03 \cdot 10^6 \text{ циклов}; \quad \bar{\sigma}_{-1} = 32,2 \text{ кгс/мм}^2,$$

получим

$$150^m = 1,03 \cdot 10^6 \cdot 32,2^m.$$

Логарифмируя (6), находим  $m=9$ .

Выбор расчетного случая. Из кривой распределения напряжений в исследуемом сечении шкворня за один эксплуатационный цикл (рис.6) следует, что суммарное число циклов нагружения ( $N_{\text{сум}}$ ) составляет  $5 \cdot 10^3$  (это число соответствует всем зарегистрированным амплитудам с отсечкой  $\sigma_a < 3$  кг/мм<sup>2</sup>).

При средней величине наработки на один отказ 795 взлет-посадок среднее суммарное число циклов нагружения составит  $4 \cdot 10^6$ .

Часть амплитуд напряжения в исследуемом сечении шкворня превышает  $0,5 \bar{\sigma}_{-1q}$ , с суммарным числом циклов нагружения, меньшим  $4,2 \cdot 10^5$ .

В этом случае для оценки долговечности шкворня воспользуемся



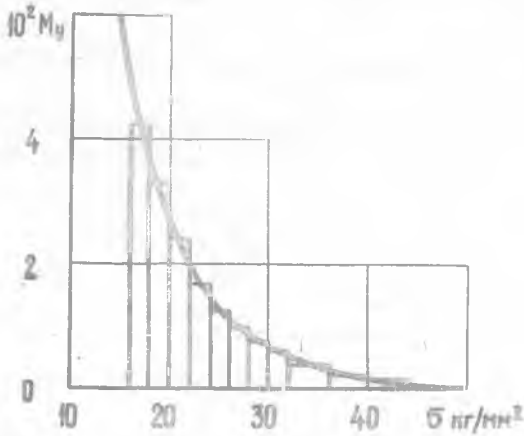


Рис.6. Интегральная повторяемость амплитуд напряжений в исследуемом сечении шкворня.

методом расчета ( 2 расчетный случай ), основанном на линейном суммировании относительных долговечностей  $\sigma$  [14] .

Определение формы блока нагружения за эксплуатационный период. В блоке нагружения учитываем амплитуды напряжений, превышающие  $0,5 \bar{\sigma}_{-1q}$  (16 кг/мм<sup>2</sup>). Непрерывное распределение  $\sigma_a = f(N_u)$  заменим ступенчатым с числом ступеней 12.

Форму блока нагружения зададим в виде табл. I.

Т а б л и ц а I

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\bar{\sigma}_{ai}$	17,0	19,0	21,0	23,0	25,0	27,0	29,0	31,0	34,4	38,0	42,0	46
$\nu_i$ ( число циклов )	120	108	92	60	40	24	16	12	20	9	8	8

$\bar{\sigma}_{ai}$  - среднее значение амплитуды напряжения в  $i$  ступенке блока;

$\nu_i$  - среднее число циклов нагружения с амплитудой  $\bar{\sigma}_{ai}$  .

Графическое изображение блока нагружения приведено на рис.6.

Вычисление величины суммы относительных долговечностей  $\alpha_p$ .  
Значения суммы относительных долговечностей  $\alpha_p$  определим по формуле

$$\alpha_p = \frac{\bar{\sigma}_{a_{max}} \xi - 0,5 \bar{\sigma}_{-1q}}{\bar{\sigma}_{a_{max}} - 0,5 \bar{\sigma}_{-1q}} \quad (7)$$

где  $\xi = \sum_{i=1}^z (\sigma_{ai} / \sigma_{a_{max}}) t_i$  ;

$t_i$  - относительное число циклов  $\sigma_{ai}$ , равное  $\sqrt[3]{i_0 / i_0}$ .

Расчет коэффициента  $\xi$  корректирования величины  $\alpha_p$  сведём в табл.2

Т а б л и ц а 2

$i$	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	12
$\sigma_{ai} / \sigma_{a_{max}}$	0,37	0,413	0,457	0,50	0,544	0,587	0,631	0,675	0,75	0,827	0,915	I
$t_i$	0,243	0,219	0,186	0,122	0,081	0,049	0,0325	0,0244	0,0405	0,0183	0,0162	0,0162
$\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a_{max}}} t_i$	0,09	0,0905	0,0852	0,061	0,044	0,0286	0,0205	0,0165	0,032	0,0151	0,0148	0,0162

Суммируя последнюю строку таблицы 2, получим  $\xi = 0,5144$ .

Вычисление величины  $\alpha_p$  по формуле (7) дает  $\alpha_p = 0,254$ .  
Так как  $0,254 > 0,2$ , принимаем  $\alpha_p = 0,254$ .

Вычисление среднего числа блоков нагружения до разрушения (образования трещины) шкворня. Медианное число блоков нагружения до разрушения  $\bar{\lambda}$  определяем по формуле

$$\bar{\lambda} = \frac{\alpha_p \bar{\sigma}_{-1q} N_0}{\sum \sigma_{ai}^m \sqrt[3]{i_0}} \quad (8)$$

включая в неё только амплитуды  $\sigma_{ai}$ , превышающие предел выносливости шкворня  $\bar{\sigma}_{-1g}$ . Для вычисления знаменателя данного уравнения составим таблицу.

Т а б л и ц а . 3

i	1	2	3	4
$\sigma_{ai}$	34,4	38,0	42,0	46,0
$\sigma_{ai} / \sigma_{amax}$	0,75	0,827	0,915	1
$\sqrt{i\sigma}$	20	9	8	8
$\sigma_{ai}^m$	$6,3 \cdot 10^{13}$	$15,85 \cdot 10^{13}$	$39,8 \cdot 10^{13}$	$89 \cdot 10^{13}$
$\sigma_{ai}^m \sqrt{i\sigma}$	$12,6 \cdot 10^{14}$	$14,12 \cdot 10^{14}$	$31,9 \cdot 10^{14}$	$71,2 \cdot 10^{14}$

Суммируя значения нижней строки и подставляя полученную величину в формулу (8), имеем

$$\bar{\lambda} = \frac{0,254 \cdot 1,03 \cdot 3,63 \cdot 10^{19}}{12,995 \cdot 10^{15}} = 730.$$

Таким образом, вероятность разрушения шкворня в исследуемом сечении при 730 взлёт-посадках равна 50%.

Полученный результат хорошо согласуется со средней величиной наработки 795 посадок на отказ, вычисленный по 23 случаям обнаружения трещин шкворня.

Вычисление функции долговечности шкворня ( $\lambda_p$ ). Считая, что распределение эксплуатационной долговечности следует логарифмически нормальному закону, получим

$$\lg \lambda_p = \lg \bar{\lambda} + U_p S_{\lg \lambda}, \quad (9)$$

где  $U_p$  - квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности разрушения  $P\%$  ;

$S_{\lg \lambda}$  - средне-квадратичное отклонение логарифма долговечности.

Значение  $S_{e_{g\lambda}}$  зависит от коэффициентов вариации  $\bar{\sigma}_{-1g}$  и  $\bar{\sigma}_a$  и подсчитывается по формуле

$$S_{e_{g\lambda}} = 0,434 m \sqrt{V_{\bar{\sigma}_{-1g}}^2 + V_{\bar{\sigma}_a}^2}.$$

Подставляя полученные ранее значения величин  $m$ ,  $V_{\bar{\sigma}_{-1g}}$  и  $V_{\bar{\sigma}_a}$ , получим

$$S_{e_{g\lambda}} = 0,434 \cdot 9 \sqrt{0,11^2 + 0,105^2} = 0,585.$$

Тогда уравнение долговечности (9) примет вид

$$e_{g\lambda} p\% = 2,864 - 0,585 U_p.$$

Шкворень является ответственной деталью кабины самолёта и вероятность его разрушения за ресурс 6000 взлёт-посадок должна быть порядка  $P = 10^{-4}$ .

Для вероятности разрушения  $P = 10^{-4}$  по табл.3.1 [14] находим  $U_p = -3,73$ , и, следовательно, долговечность шкворня в этом случае составит всего 5 посадок.

#### ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате проведенного исследования установлено, что причиной разрушения шкворня является недостаточная усталостная прочность материала шкворня вследствие неучтенных конструктором при проектировании реальных нагрузок и характера изменения их величин.

Для предупреждения появления дефекта необходимо заменить конструкцию шкворня (рис.7), снизить напряжения в исследуемом сечении. Делаем расчеты, что измененная конструкция шкворня (увеличенный момент сопротивления  $W$  сечения) сохраняет ресурс 6000 взлёт-посадок с вероятностью разрушения  $P = 10^{-4}$ .

Распределение амплитуд напряжений в исследуемом сечении получим путём преобразования распределения усилия  $P_n$  (см. рис.4) в соответствующие напряжения  $\bar{\sigma}_a$  по формуле (1)

$$\bar{\sigma}_a = 3,27 \cdot 10^{-3} P_n.$$

Определим предел выносливости материала шкворня.

$$\text{Для значений } \frac{\bar{\sigma}}{d} = \frac{55}{50} = 1,1; \quad \frac{\bar{\sigma}}{d} = \frac{3}{50} = 0,06;$$

$\sqrt{d} = 0,08$  и  $e_{g\lambda}/\sqrt{d} = 1,653$  по описанной выше методике для изгиба ступенчатого тела находим  $K_{\bar{\sigma}_a} = 2,17$  и  $\bar{\sigma}_{-1g} = 34,1$  кгс/мм<sup>2</sup>.

Из кривой распределения  $\bar{\sigma}_a$  в исследуемом сечении шкворня следует, что напряжение  $\bar{\sigma}_{a\max} < \bar{\sigma}_{-1g}$  ( $26,5 < 34,1$ ).

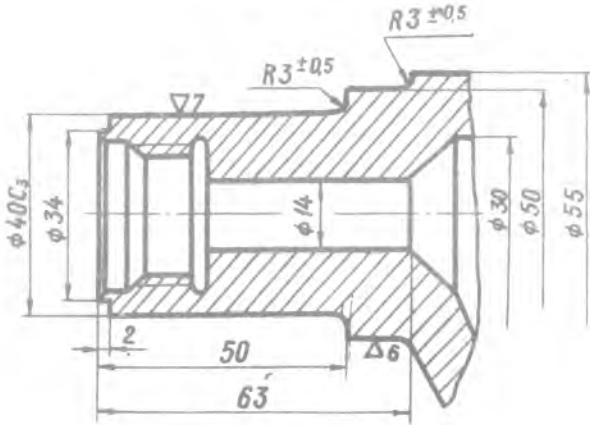


Рис.7. Конструктивный чертёж доработанного шкворня: термообработка при  $\sigma_{\theta} = 140-150 \text{ кг/мм}^2$ ; допуски на свободные размеры по А<sub>5</sub>, С<sub>5</sub>

Суммарное число циклов нагружения за ресурс 6000 посадок составит  $N_{\text{сум}} = 5 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^7$ .

Для расчета долговечности шкворня воспользуемся методом расчета (3-й расчетный случай [14]), учитывающим снижение предела выносливости вследствие перегрузок.

#### Расчет вероятности разрушения

1. Находим предельный коэффициент нагруженности

$$n_0 = \frac{\bar{\sigma}_{\text{аmax}}}{\bar{\sigma}_{-1q}} = \frac{26,5}{34,1} \approx 0,78.$$

2. Коэффициент нагруженности  $n_p$  определим по диаграмме 5.6 [14] для экспоненциального распределения.

При  $K = 1,8$  и  $\frac{K N_{\text{сум}}}{N_0} = 54$  находим  $n_p \approx 1,68$ .

3. Относительный коэффициент запаса

$$\tilde{n} = \frac{n_p}{n_0} = \frac{1,68}{0,78} = 2,15.$$

4. Квантиль нормального распределения

$$u_p = \frac{1 - \tilde{n}}{\sqrt{v_{\sigma-1q}^2 \tilde{n}^2 + v_{\sigma_{\text{аmax}}}^2}} = \frac{1 - 2,15}{\sqrt{0,11^2 \cdot 2,15^2 + 0,105^2}} = -4,43.$$

5. Вероятность разрушения определяем по табл. 3.1:

$$P \approx 0,00001 .$$

Полученная вероятность образования трещины в исследуемом сечении меньше требуемой. Следовательно, доработанный шкворень отработает установленный ресурс.

Л и т е р а т у р а

1. Александров В.Г. и др. Техническая эксплуатация авиационной техники. М., Воениздат, 1967.
2. Дьяченко П.Е. Методы определения глубины и степени наклёда. Вестник технической информации министерства станко-строения, 1949, № 2.
3. Жданович М.П. Влияние условий эксплуатации на силовую грузонность массы самолета АН-10.  
Труды Киевского института инженеров гражданской авиации "Прочность и долговечность авиационных конструкций". Вып. III, Киев, 1969.
4. Зайцев А.М. Обеспечение надёжной работы деталей авиационных двигателей. М., "Транспорт", 1971.
5. Зайцев А.М., Корасташевский Р.В. Авиационные подшипники качения. М., Оборонгиз, 1963.
6. Лампси Л.И. Исследование форм ударно-усталостных изломов. Труды Тульского механического института. Вып. I, Тула, 1949.
- ✓ 7. Лейкин А.И. Долговечность деталей сложной конфигурации. М., "Машиностроение", 1970.
8. Макаровский И.М. Физические методы дефектоскопии. Куйбышев, 1972.
9. Одинг И.А. Структурные признаки усталостных изломов как средство установления причин аварии машин. М., Изд-во АН СССР, 1949.
10. Одинг И.А. Современные методы испытания металлов. Изд. 4-е, Металлургиздат, 1944.
11. Потак Я.М. Хрупкие разрушения стали и стальных деталей. М., Оборонгиз, 1955.
12. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л. и др. Расчёты на прочность в машиностроении. Т. III, Машгиз, 1959.
13. Ратнер С.И. Разрушение при повторных нагрузках. М., Оборонгиз, 1959.

14. Серенсен С.В., Когаев В.П. Руководство по расчету на усталость деталей машин ( в вероятностном аспекте). М., 1972.
15. Серенсен С.В., Когаев В.П. Руководство по определению расчетных характеристик сопротивления усталости деталей машин. М., 1972.
16. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. Изд. 2-ое, М., Машгиз, 1963.
17. Старостин И.Г. Ремонт самолётов и авиадвигателей. Куйбышев, 1972.
18. Фридман Я.Б., Гордеева Т.А., Зайцев А.М. Строение и анализ изломов металлов. М., Машгиз, 1960.
19. Шапошников Н.А. Механические испытания металлов. Машгиз, 1954.



## С о д е р ж а н и е

<u>Цель и задачи курсовой работы</u> .....	3
Содержание и объем курсовой работы.....	4
<u>Указания к выполнению курсовой работы</u> .....	5
Общие положения.....	5
Сбор статистических данных.....	6
Обработка и анализ статистических данных. Выбор дефекта для исследования.....	6
Проведение исследования.....	8
<u>Пример исследования причины разрушения шкворня</u> .....	15
Обстоятельства, при которых произошел отказ, и внешние признаки, которыми он сопровождался.....	15
Предварительное ознакомление с объектом исследования.....	16
Анализ внешнего состояния шкворня.....	17
Анализ условий работы шкворня.....	17
Последовательность расчета.....	18
<u>Обобщение результатов исследования</u> .....	28
Литература.....	31

Иренин Николай Николаевич  
Новиков Герман Арсеньевич  
Старостин Иван Григорьевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ  
В АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ**

Методические указания  
к курсовой работе

Редактор Н.Н.Кузнецова  
Технический редактор Н.М.Каленик  
Корректор Т.И.Делокова

Подписано в печать 11.УП.1975 г.  
Объем 2,25 печ.л. Формат 60x84 1/16.  
Тираж 500 экз. Цена 12 коп.

Куйбышевский орден Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Ротапринтный цех областной типографии им. В.П.Мяги,  
г. Куйбышев, ул. Венцека, 60. Заказ № 4930