

Краткое описание выполненных работ.

В данном описании приведены только те работы, которые являлись жизненно важными для двигателя и эксплуатации самолета. В этих работах Елизаров И.А. принимал участие как руководитель группы, ведущий конструктор, заместитель главного конструктора, главный конструктор.

1. Горение масла в полете в полости задней опоры двигателя НК-22 (сверхзвуковой бомбардировщик ТУ-22 М2).

Дефект проявлялся в различных условиях полета на разных высотах, на дозвуковом и сверхзвуковом режиме полета. Дефект признан аварийным, масло выгорало быстро, что приводило иногда к одномоторным посадкам самолета. Елизарову И.А. поручили возглавить группу конструкторов по ликвидации дефекта. Трудность изучения дефекта и устранения его заключалась в том, что дефект в стендовых условиях не воспроизводился. Было применено много способов – попыток вызвать дефект – подогрев масла на входе в опору, дросселирование подачи масла, дросселирование суфлирования полости и т.д. сожжено большое количество топлива, опора полностью термометрировалась - дефект не проявлялся. Удачная идея воспламенить пары масла микроспиралью родилась в группе. Микроспираль помещалась в полость опоры и нагревалась примерно до 300°С (температура контролировалась термпарой) от стендового источника тока, происходило воспламенение паров масла и стабилизация горения. Место стабилизации было определено термометрированием. Елизаровым И.А. было разработано мероприятие по устранению воспламенения и горения. При доработке двигателей мероприятием (дефлектор над насосом откачки масла из опоры) дефект полностью устранился.

2. Выброс масла из маслобака двигателя НК-144 во время перехода самолета ТУ-144 со сверхзвукового режима полета на дозвуковой («торможение»).

Это было время (начало 70-х годов) когда шло негласное соревнование между СССР и Францией по вводу в эксплуатацию первых сверхзвуковых пассажирских самолетов ТУ-144 и «Конкорд».

ТУ-144 осваивал, естественно без пассажиров, перелеты Москва-Алма-Ата и обратно. В нескольких полетах при переходе самолета со сверхзвуковой скорости полета ($M \approx 2$) на дозвуковую, на одном из четырех двигателей НК-144 проявлялся дефект - «выброс масла из маслобака через систему суфлирования за борт самолета».

В некоторых случаях, когда масло выбрасывалось полностью, самолет совершал посадку на трех двигателях.

В должности ведущего конструктора Елизаров И.А. возглавлял группу конструкторов для скорейшего устранения дефекта. Воспроизвести дефект на стенде не удавалось, но возможности имитировать условия сверхзвукового полета, хоть и не полностью но, всё же были. Практически сразу удалось понять, что наддув бака происходит при повышении давления в полости средней опоры двигателя из-за нестабильной работы торцевых контактных уплотнений (ТКУ), которые служат для устранения перетекания воздуха высокого давления из газоздушного тракта двигателя в подшипниковую маслополость.

Двигатель НК-144 двухконтурный, средняя опора (магнелиевое литье) - основная опорная часть двигателя - состоит из мощного наружного кольца, внутреннего кольца разделяющего наружный и внутренний контура и корпуса опоры, где находится подшипниковая полость, которую защищают ТКУ от прорыва горячего воздуха. Многократные попытки воспроизвести дефект результата не дали. Испытания проводились на нескольких двигателях с одинаковым результатом. Было выдвинуто и проверено много версий дефекта. Елизаровым тоже была высказана довольно простая версия, его представление о причинах дефекта было доложено на совещание у Генерального конструктора Н.Д. Кузнецова, он поддержал ее, а мероприятия приказал немедленно внедрить в производство, двигатели на

которых проявился дефект в эксплуатации вернуть на завод и доработать. На двигателях с мероприятиями дефект не повторился.

Причина дефекта заключалась в следующем:

при полете на сверхзвуке ($M \approx 2 \div 2,5$) температура воздуха во внешнем контуре поднимается до 150-170°C и нагревает мощное наружное кольцо средней опоры, естественно до больших температур прогревается внутренняя часть опоры. При уходе самолета на дозвук, температура во внешнем контуре падает на 100°C и более. Мощное наружное кольцо средней опоры, соединенное с внутренним контуром несимметричными ребрами быстро остывает и давит через ребра на внутреннюю часть опоры, в том числе и на подшипниковую полость. Происходила овализация направляющих втулок ТКУ и заклинивание подвижной части ТКУ, воздух прорывался в полость опоры и через суфлирующую систему наддувал маслобак. Масло выбрасывалось через суфлирующую трубу за борт самолета. Основным мероприятием устранившим дефект стало увеличение зазора между неподвижной направляющей втулкой и подвижной частью ТКУ.

Мероприятие дало 100% результат.

Аэрофлот на ТУ-144 с двигателями НК-144А выполнил 55 рейсов, перевез 3284 пассажира. ТУ-144 с НК-144А стал первым в СССР пассажирским самолетом, который получил национальный сертификат летной годности на безопасность перевозки пассажиров.

3. Серия работ по доводке форсажных камер двигателей:

НК-22 (ТУ-22М2), НК-25 (ТУ-22М3), НК-144А (ТУ-144), НК-32 (ТУ-160).

Форсажная камера указанных двигателей, единственная камера в мире имеющая широкий диапазон регулирования по тяге, например у НК-144А от 15 000 кгс до 20 000 кгс, у НК-25 от 14 500 кгс до 25 000 кгс.

Широкий диапазон регулирования, требует стабильного горения при включении и выключении различных форсажных контуров подающих топливо в камеру. Это должно обеспечиваться в любых условиях полета.

В начале серийного производства шла интенсивная доводка камер при стендовых экспериментальных испытаниях. При стендовых испытаниях апробировались различные типы стабилизаторов пламени, устранялись зоны виброгорения, много труда вложено в изучение токов ионизации (датчики типа ДПИ) в различных зонах горения. Данные работы освещены в нескольких статьях и докладах.

4. Работы связанные с устранением вибраций серийных двигателей.

Елизарову И.А. пришлось столкнуться с дефектом «Повышенная вибрация», практически на всех двигателях семейства НК.

Но особенно лихорадил этот дефект выпуск новых двигателей НК-22, приходилось неоднократно снимать, перебалансировать ротор НД и снова ставить двигатель на сдаточные или контрольные испытания. Вибрировал в основном ротор НД (низкого давления) на проходе через критические обороты.

Проанализировав состояние с выпуском двигателей и случаи вибраций в эксплуатации пришли к выводу о замене пластинчатого демпфера в передней опоре двигателя на упругогидродинамический (УГД), где основной деталью является так называемое кольцо «Алисона». Дефект практически устранился, бывали выпадения связанные с некачественной балансировкой роторов.

Примерно такая же обстановка сложилась с ремонтом двигателей НК-32, двигатель трехвальный компрессор-турбина низкого давления, каскад среднего давления и каскад высокого давления. Недопустимые вибрации в основном получали от ротора НД на критических оборотах. Двигатели сразу были спроектированы с УГД. На ремонт двигатели приходят и сейчас с большой наработкой, с большим количеством взлетов – посадок. Передняя опора двигателя вместе с ротором компрессора низкого давления (КНД), промежуточной опорой и ротором компрессора среднего давления (КСД) расположены относительно средней опоры консольно. Анализ состояния двигателей НК-25 в эксплуатации (самолет ТУ-22М3) который подобен, в этой части конструкции, двигателю

НК-32 показал, что есть признаки смещения передней опоры вниз, т.е. «излом» оси вращения роторов КНД и КСД.

Естественно больше на это среагировал повышением вибраций ротор КНД, который соединяется с турбиной низкого давления длинным валом (2445 мм). Смещение передней опоры привлекло к деформации статорной части КНД и в меньшей степени КСД. Сборка двигателей при ремонте с такими деталями и узлами (диаметральные размеры и биения по фланцам статорных колец и другими деталями обычно соответствуют чертежным требованиям) и приводят к большим вибрациям с частотой ротора НД при испытаниях.

Анализ опыта разработки двигателей НК-25, НК-32 в ОКБ Н.Д. Кузнецова вопрос высоких вибраций по ротору НД возникал не однажды. Выходили из положения тщательной балансировкой, введена подбалансировка двигателя на стенде, различные центровки при сборке для получения общей оси статоров. Для выбора пути ликвидации дефекта Елизаровым И.А. были привлечены технологи ОКБ Н.Д. Кузнецова, очень большую роль в ликвидации дефекта сыграли специалисты сборочного цеха.

В технологии и в конструкторской документации на сборку двигателей указано производить центровку статорных узлов и деталей «горячей части» двигателя, т.е. на базу средней опоры становятся последовательно статор компрессора высокого давления (КВД), на него картер камеры сгорания, сопловые аппараты турбины (4-х ступенчатая) и на них опора турбины. Затем также от базового диаметра в средней опоре с помощью приспособления грубо стержень который проходит по оси собранного пакета «горячей части» замеряют по беговой дорожке наружной обоймы подшипника биение оси собранной части двигателя. При неудовлетворительном состоянии оси (повышенном биении) за счёт развертки призонных отверстий во фланцевых соединениях (картер камеры сгорания – I^{вн} сопловой аппарат) добиваются требуемого результата.

Практически такую же технологию внедрили и для «холодной части» двигателя, где в центровке участвуют статор КНД, промежуточная опора, оболочки, статор КСД.

Контроль «холодной» центровки производится таким же приспособлением, как и для «горячей части», от той же базы в средней опоре, биение замеряется по беговой дорожке наружной обоймы подшипника передней опоры (роликовый подшипник ротора НД).

С внедрением данной технологии дефект «Повышенные вибрации» при стендовых испытаниях практически устранен. В настоящее время предприятие ОАО «КУЗНЕЦОВ» закупило новые балансировочные станки «Шенк», что еще улучшит вибрационное состояние всех двигателей НК.

Многолетний опыт и теория подсказывают вибрационное состояние газотурбинного (да и любого) двигателя это и ресурс и надежность.

5. Перечень еще нескольких дефектов двигателей устраненных под руководством Елизарова И.А.

5.1 «Повышенный расход масла при работе двигателя на малом газе».

Двигатель НК-22, самолет НК-22М2. После прогрева на некоторых двигателях появился сизый дым из сопла, иногда то же самое отмечалось при рулежке самолета. При послеполетном осмотре отмечался повышенный расход масла из бака, относительно соседнего двигателя. При исследовании на стенде двигателя, фиксировался повышенный часовой расход масла, вместо 1,5 кг/час было 3÷ 5 кг/час. Причина дефекта заключалась в смещении графитированной (неподвижной) поверхности лабиринта относительно гребешков лабиринта из-за разности температур статорной и роторной части двигателя. Пелена масла попадала в поток горячего воздуха проходившего через лабиринт и происходило его испарение и выброс через суфлирующую систему. Дефект устранен изменением геометрии лабиринта.

5.2 «Мал запас газодинамической устойчивости двигателя (ГДУ) при сдаточно-контрольных испытаниях».

Дефект проявлялся на двигателях НК-12 МВ, НК-12 МП, НК-12 МПТ для различных модификаций самолета ТУ-95 (стратегический бомбардировщик большого радиуса действия).

Суть дефекта: На заданных оборотах и расходе топлива определяется точка совместной работы компрессора и турбины, равенство вырабатываемой турбиной потребляемой компрессором мощности. При постоянных оборотах подается избыток топлива в камеру сгорания и точка совместной работы смещается к границе помпажа (линии срыва). Из-за того, что расход воздуха при дросселировании камеры топливом уменьшается, а обороты остаются постоянными на лопатках происходит изменение «угла атаки потока» из-за чего происходят срывные давления на лопатках, приводящие к помпажу компрессора двигателя. Производство и ремонт двигателей длится с 50-х годов прошлого века. Дефект проявлялся многократно, в основном в связи с нарушением технологического процесса при изготовлении лопаток компрессора, при передаче производства лопаток из одного цеха в другой, при смене поколений полировщиков (доводка лопатки по геометрии профиля находится, так сказать в руках полировщика).

По данному дефекту и в опытном КБ и в серийном производстве проведен очень большой объем работ в разных направлениях: поиск и коррекция геометрии лопаток направляющих аппаратов и рабочих лопаток компрессора, поиск отступлений от конструкторской документации и в технологии и в изготовлении, обновление и аттестация измерительной оснастки на всех этапах изготовления лопаток и т.д.

В каждом отдельном случае массового проявления дефекта находили его причины, устраняли, дефект на время прекращался.

В настоящее время внедрен в производство полный комплекс мероприятий, идет ремонт двигателей до 30 шт. в год, дефекта нет.

5.3 По технике:

для газпрома - это двигатели НК-12 СТ, НК-14 СТ, НК-14СТ-10, НК-36 СТ;

для энергетиков – это двигатели НК-14Э, НК-14ЭБР, НК-37.

Пришлось поработать над такими недостатками:

- разрушение упорного шарикоподшипника в опоре свободной турбины двигателя НК-12 СТ (в эксплуатации сейчас еще находятся 230 двигателей);
- осевая вибрация свободной турбины на НК-12 СТ, НК-14 СТ;
- выброс масла через лабиринтные уплотнения на двигателях НК-14 СТ, НК-14 СТ-10 из-за разбалансировки откачивающих масло из опор систем;
- большой расход масла на НК-14 СТ из-за плохого охлаждения промежуточной опоры двигателя;
- отказы датчика вибраций по задней опоре турбины из-за быстрого износа резиновых колец в плавающем уплотнении;
- разрушение подшипников опор компрессора и турбины на двигателе НК-37;

Исполнительный директор
ОАО «КУЗНЕЦОВ»



Елисеев Ю.С.