

дежности изделия как в процессе работы, так и при ее отключении защитой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинин Г. В. Надежность устройств автоматики. — М.-Л.: Энергия, 1964. — 320 с.
2. Хевилленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность: Пер. с англ. — М.-Л.: Энергия, 1966. — 231 с.
3. Елифанов А. Д. Надежность автоматических систем. — М.: Машиностроение, 1964. — 336 с.
4. Справочник по надежности: В 3-х т.: Пер. с англ./Под ред. Бердичевского Б. Е. — М.: Мир, 1969—1970. — т. 1, 339 с., т. 2, 304 с., т. 3, 376 с.
5. Зажигаев Л. С., Кишьян А. А., Романиков Ю. И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. — М.: Атомиздат, 1978. — 230 с.

УДК 621.45.0011.017

*Н. Д. Кузнецов, Г. А. Игнатов*

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОПЫТНОЙ ОТРАБОТКЕ ГТД

Известно, что надежность закладывается при проектировании, обеспечивается в процессе производства, но реализуется она только в эксплуатации.

Для таких сложных машин как ГТД между проектом и эксплуатацией лежит большой интервал времени. Поэтому малейшая неточность проекта может со временем стать причиной отказа двигателя.

Улучшение работы по обеспечению надежности ГТД можно вести по многим направлениям. Немаловажная роль отводится совершенствованию организационно-технических решений по стимулированию качества самого процесса проектирования.

Предлагаемый подход к обеспечению надежности на самых ранних этапах создания двигателей носит комплексный характер. В его основе лежат четыре организационно-технические методики:

1. При закладке проекта предусмотрена развитая система технических заданий для исключения несогласованных решений, особенно по таким слабым местам, как «стыки» систем.

2. На этапе рабочего проектирования проводятся расчетные исследования конструкций для оценки «запасов» работоспособности в условиях проявления типичных дефектов изделий-прототипов.

3. В процессе изготовления опытных образцов предусмотрена система обеспечения надежности производственно-технологических процессов путем введения «запасов» для компенсации колебаний параметров процесса.

4. Начиная с этапа экспериментальной отработки, предусмотрено действие системы устранения дефектов конструкции и производства с четкой регламентацией ответственности и сроков их устранения. Система побуждает к принятию действенных мер по всем, без исключения, недостаткам и способствует обобщению опыта.

*Система технических заданий.* Технические задания (ТЗ) разрабатываются всеми конструкторскими подразделениями ОКБ по закрепленным за ними узлам и системам. В них с максимально возможной полнотой формулируются требования к разрабатываемым узлам, системам и двигателю в целом, которые должны исключить несогласованность в решениях, часто определяющих надежность изделий в эксплуатации.

При разработке ТЗ должны быть учтены результаты научно-исследовательских и экспериментальных поисковых работ, научного прогнозирования и анализа передовых достижений отечественной и зарубежной техники, анализа прошлого опыта проектирования, отработки, серийного производства и эксплуатации изделий-прототипов.

В общем случае техническое задание должно содержать следующие требования:

- назначение узлов и систем;
- состав и принцип действия;
- параметры и характеристики;
- особенности компоновки и специальные вопросы конструирования;
- конструкционные материалы и рабочие вещества;
- обеспечение технологичности, контролепригодности, удобства эксплуатации;
- показатели качества, обеспечение надежности и безопасности;
- требования к другим системам, узлам, элементам;
- специфические требования к условиям и методам экспериментальной отработки.

Технические задания оформляются как внутризаводские до-

кументы и проходят цикл обязательного согласования со всеми смежными (по функциональным связям) и заинтересованными конструкторскими и производственными подразделениями, со службами главных специалистов опытного производства.

Проект ТЗ и результаты согласования обсуждаются на заседании научно-технического совета предприятия. Окончательный вариант ТЗ утверждается Генеральным конструктором (руководителем предприятия).

*Исследование работоспособности деталей.* Цель данного исследования — опережающее выявление «слабых» мест конструкции до их проявления в процессе экспериментальной отработки двигателя.

Детали и системы для исследования выбирают с помощью справочного пособия по типичным отказам (недостаткам) двигателей-прототипов. При этом детали должны выполнять наиболее ответственные функции, отличаться новизной конструкции, работать в условиях высоких и нестационарных нагрузок. Для деталей и элементов, подлежащих исследованию, формулируются условия отказа, указываются виды определяющих нагрузок, а также дестабилизирующие и повреждающие факторы. Для определяющих нагрузок и повреждающих факторов расчетным путем или по материалам доводки прототипов определяются их максимально возможные значения в рабочих условиях и допустимые значения из условия сохранения работоспособности (безотказности). Из сопоставления ожидаемых рабочих и предельно допустимых значений повреждающих факторов определяются показатели работоспособности: запас прочности, выносливости, жаростойкости, герметичности и т. д.

В процессе исследования некоторые узлы и детали могут быть отнесены к категории особо важных. Для обеспечения их надежности предусматривается осуществление дополнительных методических и организационных мер на этапах проектирования, доводки, серийного производства и эксплуатации.

Конструкторская и технологическая документация на особо важные узлы и детали должна разрабатываться специалистами высшей квалификации. При проектировании этих деталей должны быть заложены повышенные запасы по показателям работоспособности, предусмотрена возможность контроля их рабочих условий и технического состояния в эксплуатации. Должны быть назначены повышенные запасы и по главным производственно-технологическим факторам. Применяемые технологические процессы поверхностно-пластического деформирования должны быть всесторонне исследованы и оценены с точки зрения их влияния на изменение размеров, взаимного расположения по-

верхностей и высоты шероховатости обрабатываемых деталей. Эти процессы в максимальной мере должны быть автоматизированы и должна обеспечиваться возможность объективного контроля стабильности параметров технологических режимов.

По завершении исследований конструкторские подразделения оформляют отчеты, включающие:

- перечень исследованных деталей и конструктивных элементов;
- расчеты по определению запасов, характеризующих их работоспособность;
- расчеты размерных цепей для замыкающих размеров, влияющих на параметры и работоспособность узлов, с учетом деформаций деталей и теплового изменения их размеров;
- схемы деформации деталей и изменения взаимного положения деталей, образующих конструктивный элемент, в рабочем состоянии;
- схемы препарирования узла для замера показателей рабочих условий, нагрузок и характеристик состояния деталей и конструкторских элементов при работе;
- план расчетных и экспериментальных работ по уточнению показателей работоспособности;
- перечень параметров для обязательного набора статистики при доводке и эксплуатации узла;
- перечень возможных дефектов с указанием предполагаемого направления работ по их устранению, включая резервные изменения конструкции.

*Обеспечение надежности технологических процессов.* Методика распространяется на технологические процессы, формирующие конструктивные элементы и параметры, определяющие надежность изделия и его составных частей.

Состав конструктивных элементов и параметров, определяющих надежность (КЭПОН), определяется конструктором и указывается в конструкторской документации. Работа может проводиться после выпуска конструкторской документации одновременно с этапом разработки технологических процессов.

Сущность методики:

а) обеспечение надежности выполнения и контроля КЭПОН путем назначения рабочих характеристик (параметров) производственно-технологических процессов, отдаленных от граничных значений (назначение запасов);

б) сохранение достигнутого уровня качества выполнения КЭПОН путем предупреждения, устранения или уменьшения от-

рицательного влияния сопутствующих явлений технологических процессов (в том числе технологической наследственности);

в) оценка надежности технологических процессов по наличию и величине запасов по производственно-технологическим факторам;

г) выявление критических производственно-технологических факторов.

Исследование технологического процесса состоит из исследования собственно технологии (документации) и фактического исполнения процесса.

В исследовании выделяются следующие операции:

— основные, в которых окончательно выполняются и контролируются КЭПОН;

— предшествующие основной, в которых выполняются конструктивно-технологические требования, необходимые для качественного выполнения КЭПОН в основной операции;

— предшествующие и следующие за основной, в которых технологическая наследственность методов обработки и условий выполнения может снижать уровень качества данных элементов и параметров или ухудшать работоспособность изделия;

— устраняющие (снижающие до безопасного уровня) отрицательное влияние основной, предшествующих и последующих операций.

По указанным операциям определяются основные производственно-технологические факторы (ПТФ), из которых выделяются главные (ГПТФ). По каждому ГПТФ находятся граничные значения. Затем определяется номенклатура погрешностей для обеспечения и контроля рассматриваемого ГПТФ и подсчитывается суммарная погрешность. Для компенсации суммарной погрешности и повышения надежности определяются заградительные значения ГПТФ, которые меньше граничных на величину суммарной погрешности и дополнительного запаса надежности. Заградительные значения ГПТФ являются исходными для составления рабочих технологий.

Исследования технологических процессов ведутся технологами производственных подразделений. Окончание исследований предусмотрено к моменту выпуска трех экземпляров изделия или партий его составных частей, последовательно изготовленных с момента действия технологической документации. Результаты исследований оформляются на специальной карте.

Предусмотрен статистический учет данных контроля КЭПОН в процессе производства.

К моменту проведения официальных испытаний изделия предусмотрено оформление специального заключения о надежности

ти производственного процесса. В заключении должны содержаться сведения о стабильности качества выполнения КЭПОН, наличии запасов по главным производственно-технологическим факторам, о выявленных критических факторах и ход работ по их устранению. Особо отмечаются методы и приемы изготовления, которые должны быть оформлены как директивные для условий серийного производства.

*Система устранения дефектов.* В данном случае дефектом называется любой недостаток двигателя, обусловленный несовершенством его конструкторской документации.

Официальное утверждение формулировки дефекта и решение о постановке его на специальный учет именуется открытием дефекта. Основанием для открытия дефекта служат неисправности материальной части, а также отклонения параметров и характеристик от требуемых значений. Открывается дефект решением руководителей ОКБ на техническом совещании, посвященном разбору обстоятельств и причин выявленного недостатка, с участием представителей всех заинтересованных служб ОКБ и производства.

Основным рабочим документом системы является специальный бланк-карта дефекта. Карта с указанием точной формулировки и регистрационного номера дефекта передается незамедлительно в подразделение ОКБ, на которое возложена ответственность за устранение данного дефекта. В этом подразделении готовится проект плана работы по дефекту и назначается инженер-конструктор, ответственный за устранение дефекта. Проект плана работы должен содержать перечень необходимых исследований и мероприятий с указанием календарных сроков их выполнения.

При обсуждении проекта плана работы или состояния работы по дефекту руководитель конструкторского подразделения (или ответственный инженер) сообщает:

- сущность дефекта, его количественную характеристику и степень опасности для изделия;
- статистические данные о проявлении дефекта на изделиях-прототипах, по сборкам, наработке, режимам работы, особенностям компоновки;
- информацию о работе над подобными дефектами на изделиях-прототипах в процессе отработки и в эксплуатации;
- сведения о подобных дефектах на изделиях родственных предприятий и о внедренных мероприятиях;
- предполагаемую причину дефекта: физические, расчетные, статистические подтверждения выдвигаемого предположения;

— эксперименты, необходимые для подтверждения предполагаемой причины;

— предлагаемые мероприятия и методы оценки их эффективности.

На основании согласованного плана работы ответственный за дефект заполняет соответствующие разделы карты и представляет ее на утверждение. Контроль за выполнением намеченного плана работы осуществляет служба надежности.

Официальное решение о прекращении работы по дефекту (с утверждением специального заключения) именуется закрытием дефекта. Основанием для этого может служить эффективность внедренных мероприятий, потеря актуальности дефекта, например, из-за изменения конструкции детали, уточнения причины дефекта и т. д.

Для закрытия дефекта ответственный исполнитель оформляет «заключение» в карте и представляет его на утверждение после согласования со всеми заинтересованными службами. В заключении в краткой форме должны быть приведены следующие данные:

- установленная причина дефекта;
- перечень внедренных мероприятий;
- результаты проверки мероприятий с заключением об их эффективности;
- сроки внедрения мероприятий и необходимая для этого документация;

Аналогичная система контроля за ходом устранения производственно-технологических недостатков действует и в производстве.

Карты закрытых дефектов хранятся постоянно. Накопленная в них информация используется, например, при модернизации и разработке новых изделий с целью исключения причин повторения ранее выявленных дефектов.

УДК 621.—567.1

*Ю. Н. Лапинов*

## *К РАСЧЕТУ УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТРОСОВЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ*

Для вибро- и удароизоляции объектов, работающих в условиях интенсивных внешних воздействий, широко используются цельнометаллические виброизоляторы с демпфированием, в част-