

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УМР

Креницин В.В.

« _____ » _____ 2007г.

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Теория горения и взрыва ОПД.10

(наименование, шифр по ГОС)

Специальность (специализация) 280102 Безопасность технологических
процессов и производств на воздушном транспорте

(шифр по ГОС)

Факультет Механический

Кафедра Двигатели летательных аппаратов

Курс 2 Форма обучения очная Семестр 4

Общий объём учебных часов 90

Объём аудиторных занятий 52 (ч.), в том числе:

Лекции 36 (ч.)

Лабораторные занятия 8 (ч.)

Практические занятия 8 (ч.)

Самостоятельная работа 38 (ч.)

Контрольное домашнее задание 2 курс, 4 семестр

Зачет 2 курс, 4 семестр

Рабочая учебная программа составлена на основании примерной учебной программы дисциплины и в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по специальности.

Рабочую учебную программу составил:

Шулекин В.Т., доц., к.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень) (подпись)

Рабочая учебная программа утверждена на заседании кафедры, протокол № ____ от « ____ » _____ 2007 г.

Заведующий кафедрой Умушкин Б.П., проф., д.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень) (подпись)

Рабочая учебная программа одобрена методическим советом специальности 280102 Безопасность технологических процессов и производств на воздушном транспорте

« ____ » _____ 2007 г.

Председатель методического совета Зубков Б.В., проф., д.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень) (подпись)

Рабочая учебная программа согласована с Учебно-методическим управлением (УМУ)

Начальник УМУ Логачев В.П., доц., к.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень) (подпись)

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цель преподавания дисциплины

Учебная дисциплина «Теория горения и взрыва» является частью учебного плана подготовки инженеров по специальности «Безопасность технологических процессов и производств на воздушном транспорте».

Объектами профессиональной деятельности инженеров по названной специальности являются все виды применяемых машин, аппаратов, оборудования производств гражданской авиации, средства коллективной и индивидуальной защиты от опасных и вредных производственных факторов.

1.2. Задачи изучения дисциплины (необходимый комплекс знаний и умений):

1.2.1. Иметь представление о:

- развитию теории горения и взрыва применительно к объектам гражданской авиации;
- влиянии теории горения и взрыва на безопасность полётов воздушных судов гражданской авиации.

1.2.2. Знать:

- научные основы по обеспечению пожарной и взрывной безопасности технологических процессов и оборудования;
- механические, физические и химические свойства применяемых в гражданской авиации конструкционных, жидких и газообразных материалов;
- методы измерений в производстве, безопасности и в области защиты окружающей среды, связанные с процессами горения и взрыва;
- специфику и механизм токсического действия вредных веществ, энергетического воздействия и комбинированного действия вредных факторов.

1.2.3. Уметь:

- использовать современные измерительные системы для анализа технологических процессов и контроля производственной среды, связанных с горением и взрывом;
- применять методы расчета и анализа основных энергетических показателей процессов горения и взрыва.

1.2.4. Иметь навыки:

- определения основных технико-экономических показателей камер сгорания и других топочных устройств, связанных с горением и взрывом;
- расчета и анализа основных энергетических показателей процессов горения и взрыва.

3. Содержание дисциплины

3.1. Наименование разделов (подразделов) , объём часах. Содержание лекций, ссылки на литературу

Раздел 1 . Основы химической термодинамики. 10 часов

Лекция 1.1. Основные понятия и определения химической термодинамики. 4 часа

Введение. Предмет изучения дисциплины «Теория горения и взрыва». Номенклатура основных понятий процессов горения и взрыва и их определения. Уравнение первого закона термодинамики для химических реакций.

Тепловой эффект реакции. Изменение внутренней энергии в процессе горения.

Закон Гесса. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Лекция 1.2. Второй закон термодинамики в химических реакциях. 2 часа

Химическая обратимость реакций. Химическое равновесие.

Скорость химической реакции. Условия химического равновесия. Факторы, влияющие на скорость реакции (давление, температура, состав смеси).

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Лекция 1.3. Механизм реакции горения. 4 часа

Современные представления о механизме реакции горения. Основы теории диссоциации. Зависимость диссоциации от давления.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Раздел 2. Основы теории горения и взрыва. 6 часов

Лекция 2.1. Общие сведения. 2 часа

Топливо и горючая смесь. Энергия активации. Уравнение тепла, выделяющееся при сгорании. Состав топлива по окислителю и горючему. Расчет параметров топлива и продуктов сгорания. Тепловое воспламенение горючих смесей.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Лекция 2.2. Цепные реакции горения. 4 часа

Нормальная скорость распространения пламени в неподвижной смеси и в ламинарном потоке газа. Горение кинетическое и диффузионное. Горение в турбулентном потоке. Стабилизация пламени в потоке газа.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Раздел 3. Работа камер сгорания газотурбинных и поршневых двигателей. 8 часов

Лекция 3.1. Рабочий процесс камер сгорания газотурбинных и поршневых двигателей. 4 часа

Смесеобразование в камерах сгорания ГТД. Воспламенение смеси. Стабилизация пламени. Процесс горения. Характеристики камер сгорания. Влияние различных факторов на работу камеры сгорания, на надежность работы двигателя и безопасность полёта.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Лекция 3.2. Неустойчивая работа камер сгорания ГТД. 4 часа

Пульсационное и резонансное горение. Меры борьбы с пульсационным горением. Возможные последствия работы камер сгорания на неустойчивых режимах. Понятие о работе камер сгорания поршневых двигателей.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Раздел 4. Горение газов и паров, твердого топлива, металлов и аэрозолей (пылевидных веществ). 12 часов

Лекция 4.1. Горение газов и паров. 4 часа

Общие сведения о горении газов и паров. Основы теории и закономерности горения газов. Особенности горения в турбулентном потоке. Горение металлов. Возможные случаи горения металлов, применяемых в авиации. Меры по предотвращению горения металлов, применяемых в авиационных конструкциях.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Лекция 4.2. Основы теории детонации взрыва. 4 часа

Элементы теории детонации взрыва. Понятие о детонации и взрыве. Основные положения теории детонации. Возникновение детонации и скачков уплотнения. Понятие о природе ускорения пламени. Скорости детонации различных веществ. Предельные условия устойчивой детонации. Зависимость скорости детонации от различных факторов.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

Лекция 4.3. Основы теории взрыва. 4 часа

Основы теории взрыва. Понятие взрыва. Типы взрывов. Тепловой взрыв. Цепная реакция теплового взрыва. Факторы, влияющие на тепловой взрыв. Требования к хранению и применению горючих веществ в условиях эксплуатации на воздушных судах гражданской авиации и в аэропортах.

Литература: [1,2,3,4,5,6,7,8,9]

3.2. Перечень лабораторных работ (занятий), и их объём в часах **ЛБ-1 Определение нормальной скорости распространения пламени.**

4 часа.

- Цель работы:
1. Ознакомление с экспериментальной установкой.
 2. Изучение методики и приобретение навыков по определению нормальной скорости распространения пламени.
 3. Проведение эксперимента и обработка экспериментальных данных.
 4. Анализ полученных результатов.
 5. Составление отчета по лабораторной работе.

Литература: [10]

ЛБ-2 Определение количества кислорода (воздуха) для сгорания топлива. 4 часа.

Цель работы:

1. Определение количества кислорода (воздуха), необходимого

для полного сгорания топлива, теплового эффекта сгорания и скорости химических реакций окисления различных горючих веществ.

2. Приобретение практических навыков в составлении и анализе уравнений химических реакций окисления горючих веществ; применения первого закона термодинамики для химических реакций и оценки влияния на неё давления, температуры и состава смеси; в определении теплового эффекта химических реакций.
3. Составление отчета по лабораторной работе.

Литература: [10]

3.3. Перечень практических занятий на технике, и их объём в часах **ПЗ-1 Определение параметров газа при сгорании и при взрыве. 4 часа.**

- Цель занятия:
1. Расчет параметров газа (температуры, давления, скорости) при детонационном горении (при взрыве) различных горючих веществ во фронте детонационной волны и теплоты взрыва, отнесенной к единице массы.
 2. Приобретение практических навыков в определении параметров газа во фронте ударной и детонационной волнах, в анализе причин, приводящих к взрыву и возможных последствий взрыва, а также в анализе способов предотвращения взрывов на производстве.

Литература: [10]

ПЗ-2 Определение влияния различных факторов на процесс горения. 4 часа

Цель занятия: 1. Оценка влияния различных факторов:

- на процесс горения и эксплуатационные характеристики камер сгорания различных двигателей;
- на возможность взрыва жидких, газообразных, твердых горючих веществ и аэрозолей.

2. Приобретение практических навыков в анализе влияния различных факторов на процессы горения и взрыва, в оценке их влияния на безопасность производственных процессов, на выбросы вредных веществ в окружающую среду.

Литература: [10]

3.4. Контрольное домашнее задание

Целью настоящего задания является закрепление основ теории горения и взрыва на основе решения следующих 3-х типов задач.

1. Расчет коэффициента избытка воздуха для различных топливо-воздушных смесей и выделяемой при их сгорании теплоты.
(Алгоритм задачи задается, результаты решения обсуждаются).
2. Определение параметров потока при горении топливо-воздушной смеси различного состава и оценка их влияния на безопасность конструкции.
(Алгоритм задачи задается, результаты решения обсуждаются).
3. Определение влияния различных факторов на устойчивость процессов горения жидких, твердых и газообразных веществ.

(Сбор и анализ информации при горении на производствах гражданской авиации различных веществ и разработка перечня мероприятий, направленных на повышение безопасности технологических процессов – творческая задача).

Литература: [11]

3.5. Перечень тематики самостоятельной работы студента.

3.5.1. Подготовка к лекциям.

3.5.2. Подготовка к лабораторным работам.

3.5.3. Контрольные вопросы (фонд контрольных заданий).

4. Рекомендуемая литература.

№ п/п	Автор	Наименование, издательство, год издания
1.	Тихонов Н.Д.	<i>Основная литература:</i> Теория горения и взрыва. Учебное пособие. М.:МГТУ ГА,2002. 104с.
2.	Лозицкий Л.П. Ветров А.Н. Дорошко С.М. Иванов В.П. Коняев Е.А.	Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. М.:Воздушный транспорт,1992. 533с.
3.		Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей. Под ред. С.М.Шляхтенко. М.:Машиностроение,1987. 568с
4.	Хитрин Л.Н.	Физика горения и взрыва. М.:Изд. МГУ,1957. 442с.
5.	Челышев В.П. Шехтер Б.И. Шушко Л.А.	Теория горения и взрыва. Под ред. Б.И.Шехтера. М.:МО СССР,1970. 521с.
6.	Бородин О.Е.	Термодинамика, теплопередача,горение. Учебник. МО СССР. М.:1971. 450с.
7.	Андреев К.К.	Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М.:Наука,1966. 346с.
8.	Дмитриев Л.С.	Основы теории горения. Рига,1958.116с.
9.	Казанский Б.Н.	Общая теплотехника. Рига,1964. 315с.
		Учебно-методическая литература:
		а) для лабораторных работ
10.	Тихонов Н.Д. Шерышев А.Е.	Пособие по выполнению лабораторного практикума по дисциплине “Теория горения и взрыва” для студентов 2 курса специальности 280102. М.:МГТУГА,2003. 32с.
		б) для домашнего задания
11.	Шулекин В.Т. Тихонов Н.Д.	Теория горения и взрыва. Пособие к выполнению контрольного задания для студентов 2 курса специальности 330500 дневного обучения. – М.:МГТУГА, 2005.27с.

ГЛАВА 1. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗБРОСА ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ПОЛЁТЕ И ПРИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ.

1.1. Некоторые закономерности разброса параметров двухвальных двухконтурных турбореактивных двигателей гражданской авиации.

Результаты сдаточных испытаний большого числа новых и прошедших ремонт на предприятиях ГА одной серии ТРДД показывают, что каждый двигатель имеет свою индивидуальную дроссельную характеристику, отличающуюся от среднестатистической. Взятые вместе по каждому параметру, результаты испытаний образуют совокупность, которую называют «дорожкой» разброса.

В качестве примера на рис.1.1 показаны «дорожки» разброса по результатам сдаточных испытаний ста изготовленных серийных ТРДД [1,Кулагин Н.Н. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Учебник. Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазодинамический анализ. Кн. 1. Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики. Кн. 2. М.:Машиностроение, 2002. 616с.].

Из рис.1.1. видно, что рассматриваемой серии двигателей при условии постоянной частоты вращения ротора высокого давления разброс параметров достигает $\pm 3\%$ по тяге, $\pm 2.5\%$ - по удельному расходу топлива, $\pm 2.8\%$ - по температуре газа за турбиной низкого давления, $\pm 3.5\%$ - по частоте вращения ротора низкого давления (НД). Такой разброс считается весьма значительным, поскольку согласно техническим требованиям снижение тяги на взлётном режиме в САУ (по сравнению с заданным значением) не должно превышать 2%.

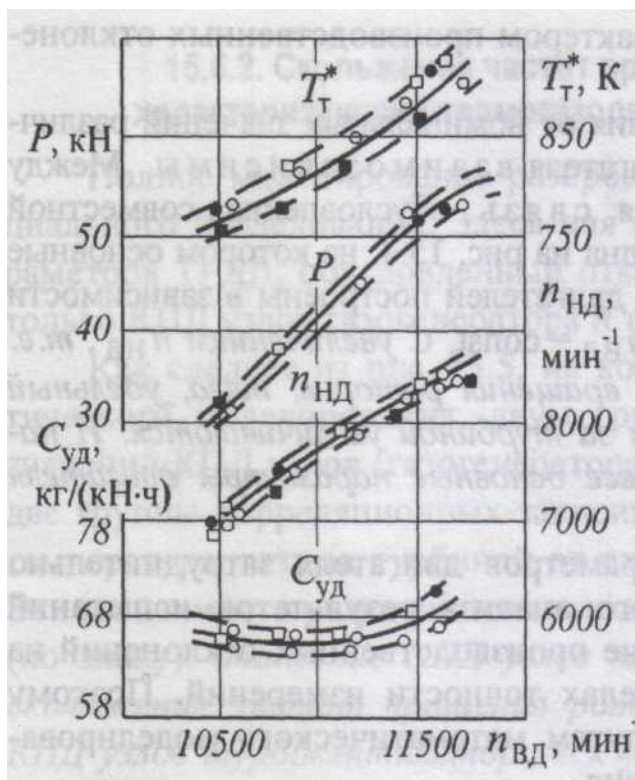


Рис.1.1. Дорожки разброса по результатам сдаточных испытаний ста серийных ГРДД

Из рис.1.1 также видно, что полученные регрессионные зависимости $P = f(n_{ВД})$, $T_{Г}^* = f(n_{ВД})$, $C_{уд} = f(n_{ВД})$, $n_{НД} = f(n_{ВД})$ имеют нелинейный характер, что объясняется обработкой результатов испытаний двигателей на основе корреляционно-регрессионного анализа.

Очевидно, что часть испытанных двигателей не удовлетворяет требованиям заказчика. В таком виде они не могут быть сданы в эксплуатацию. На первый взгляд это вызывает недоумение, поскольку они собраны из годных деталей, изготовленных по чертежу и собранных согласно техническим условиям. Все дело, однако, в том, что в пределах допусков, оговоренных в чертежах и технических условиях, детали различаются по размерам, чистоте поверхности; узлы различаются по

радиальным зазорам, например между рабочими лопатками и корпусом компрессора (турбины), осевым зазорам между венцами, по углам установки лопаток, уступам в проточной части, величинам площадей характерных сечений и т.д. Все эти различия оказывают влияние на течение рабочего тела, эффективность работы узлов, их пропускную способность, КПД и коэффициенты потерь. Складываясь случайным образом, они формируют характеристики конкретного экземпляра двигателя и его основные данные.

Таким образом, производственные отклонения при изготовлении деталей и сборке узлов {в пределах допусков) оказывают заметное влияние на основные данные двигателя, эффективность его работы и температурное состояние.

В связи с этим возникает целый ряд вопросов:

- можно ли сдать в эксплуатацию двигатель с повышенным по сравнению с ТУ значением тяги?
- какие двигатели лучше - с увеличенным или с уменьшенным (при $n_{ВД} = const$) значением тяги?
- как разброс параметров связан с запасами устойчивой работы компрессора, с ресурсом и надежностью двигателя?
- какие двигатели в пределах дорожки разброса можно допустить в эксплуатацию, а какие нельзя?
- что делать с двигателем, который по тому или иному параметру не удовлетворяет техническим требованиям?

Для ответа на эти вопросы необходимо прежде всего изучить закономерности разброса параметров в пределах дорожки.

Предварительный статистический анализ результатов испытаний ста экземпляров двигателей одной серии показал, что рассеивание параметров в пределах дорожки разброса подчиняется обычно закону нормального распределения. Это объясняется случайным характером

производственных отклонений в пределах допусков. Важнее, однако, то, что отклонения от номинальных значений различных параметров одного и того же двигателя взаимосвязаны. Между ними существует корреляционная связь, обусловленная совместной работой узлов. Такая связь хорошо видна на рис.1.2, на котором основные параметры ста

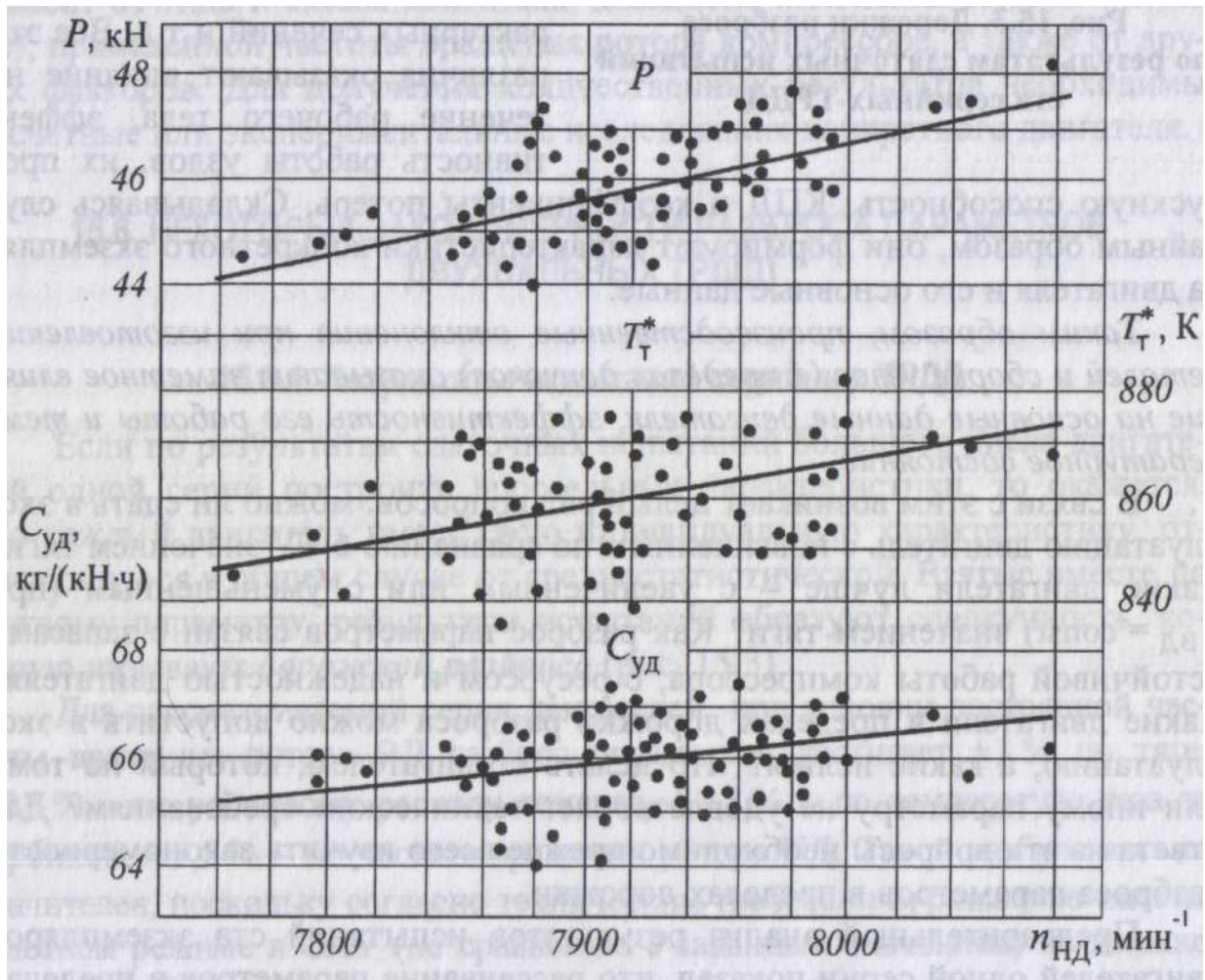


Рис.1.2. Статистическая зависимость основных параметров ТРДД от n_{HD} при $n_{ВД} = const$

упомянутых серийных двигателей построены в зависимости от частоты вращения ротора НД при $n_{ВД} = const$. С увеличением n_{HD} , т.е. с уменьшением скольжения частот вращения роторов, тяга, удельный расход топлива и температура газа за турбиной увеличиваются. И на-

оборот, с увеличением скольжения все основные параметры двигателя снижаются.

Причину такого изменения параметров двигателя затруднительно найти путем термогазодинамического анализа результатов испытаний серийных двигателей, так как влияние производственных отклонений на параметры двигателя лежит в пределах точности измерений. Поэтому такой анализ обычно выполняется путем математического моделирования полученных результатов испытания.

Полное моделирование разброса параметров двигателя - тема специального исследования. Здесь для простоты анализируется разброс параметров ТРДД, обусловленный отклонением от номинальных значений только КПД узлов газогенератора и турбовентилятора.

Как следует из рис.1.3, на котором показаны результаты математического моделирования, двум группам отклонений от номинальных значений КПД узлов (газогенератора и турбовентилятора) соответствуют две группы корреляционных зависимостей удельного расхода топлива и температуры газа за турбиной от скольжения частот вращения роторов.

Эти зависимости различаются не только количественно, но и качественно (по знаку): снижение КПД узлов газогенератора ведет к уменьшению скольжения частот вращения роторов, а снижение КПД узлов турбовентилятора - к увеличению скольжения частот вращения роторов, хотя в обоих случаях при $P = \text{const}$ удельный расход топлива и температура газа за турбиной повышаются.

Отклонения от номинальных значений КПД узлов газогенератора и турбовентилятора формируют, следовательно, четыре группы двигателей (см. рис.1.3). В верхнем левом углу на сплошной линии (или близко к ней) "лежат" двигатели со сниженными значениями КПД узлов газогенератора. Они менее экономичны (по сравнению со среднестатистическим двигателем) и характеризуются более напряженным температурным

состоянием. Кроме того, они имеют уменьшенные запасы устойчивой работы компрессоров НД и ВД. Это некондиционные, так называемые "тяжелые" двигатели. До отправки в эксплуатацию они подлежат переборке с заменой или совершенствованием узлов газогенератора.

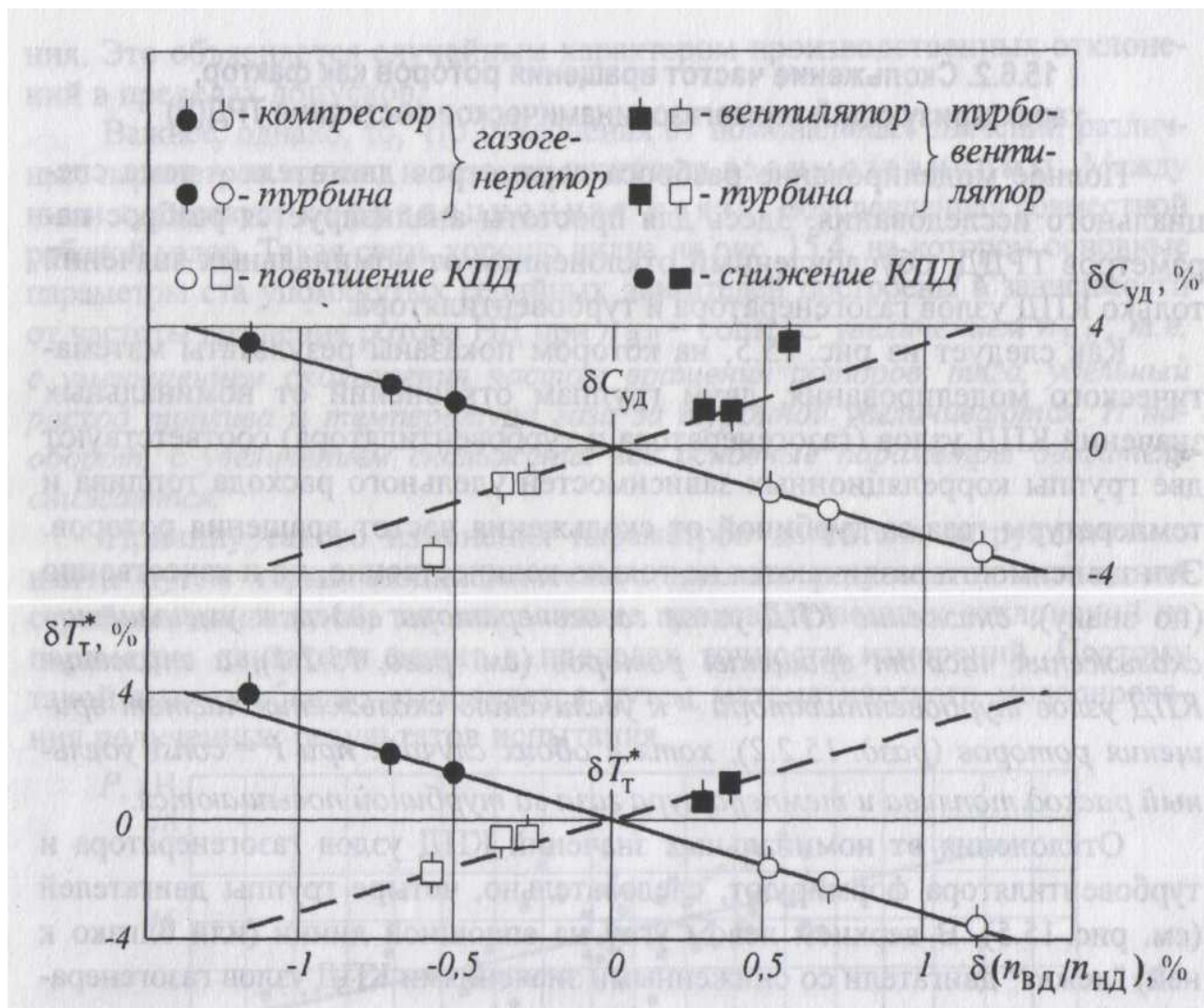


Рис.1.3. Две группы корреляционных зависимостей, обусловленные отклонением от номинальных значений КПД узлов газогенератора (—) и турбовентилятора (- - -) при $P = \text{const}$

В нижнем левом углу рис.1.3 на штриховой линии или близко к ней "лежат" двигатели с повышенной эффективностью турбовентилятора. Этим двигателям при сдаче в эксплуатацию переборка не требуется: их

основные технические данные на заданном режиме могут быть обеспечены путем отладки за счет подбора требуемого значения частоты вращения ротора.

В нижнем правом и в верхнем правом углах рис.1.3 "лежат" двигатели, которые характеризуются повышенным скольжением частот вращения роторов и, соответственно, повышенной эффективностью газогенератора и пониженной эффективностью турбовентилятора. Первая группа этих двигателей может эксплуатироваться при повышенном значении частоты вращения ротора ВД и не требует переборки. Это так называемые "легкие" двигатели. Вторая группа обычно также может эксплуатироваться при повышенном значении $n_{ВД}$, если температура газа за турбиной не превышает допустимых значений.

Полученные закономерности целесообразно использовать для диагностики термогазодинамического состояния двигателя в эксплуатации, а также в серийном и опытном производствах для предварительного термогазодинамического анализа результатов испытаний, особенно в условиях автоматизированной системы обработки данных.

Что касается двигателей, прошедших ремонт на предприятиях ГА, то здесь различие индивидуальных особенностей каждого ТРДД оказывается весьма значительным, поскольку на производственный процесс ремонта оказывают постоянно влияние различные факторы. По своей природе они могут быть поделены на две группы:

первая группа – производственные факторы, внутренние для предприятия, вызывающиеся нарушением технологического процесса и определяемые износом оборудования, инструмента, психофизическими факторами, совершенством технологии ремонта, сборки и испытаний двигателей;

вторая группа – эксплуатационные факторы, характеризующие изменение параметров двигателя с наработкой, наличие зачинок на лопатках компрессора и др..

Таким образом, при проведении корреляционно-регрессионного анализа приходится учитывать как техническое состояние двигателей поступающих в ремонт и также перечисленные выше факторы.

1.2. Обзор методик для оценки уровня качества двигателей, прошедших ремонт на предприятиях ГА.

Значения параметров двигателей на каждом режиме работы представляют собой случайные величины, а их изменение при этом для определенной совокупности двигателей могут рассматриваться как случайные процессы. Характеристики таких процессов определяются, как уже отмечалось, производственными и эксплуатационными факторами.

Распределение параметров двигателей является результатом воздействия различных факторов и в случае отсутствия доминирующего фактора, влияние каждого фактора в суммарном воздействии на величину параметра двигателя ограничена. Отклонения параметров двигателей могут быть как в положительную, так и в отрицательную стороны от номинального значения, установленных техническими требованиями.

В соответствии с условиями корреляционно-регрессионного анализа в первую очередь рекомендуют установить соответствующий закон распределения случайных величин для различных выборок их. В большинстве случаев, в первую очередь, обычно принимают нормальный закон распределения, имея в виду теорему А.М. Ляпунова [2, **Если случайная величина представляет собой сумму очень большого числа взаимно независимых случайных величин, влияние каждой из них ничтожно мало, то случайная величина имеет распределение, близкое к нормальному**], а при независимых факторах еще теорему С.Н.

Бренштейна. Отсюда наиболее приемлемыми методами корреляционно-регрессионного анализа представляются следующие:

- сравнение математических ожиданий (средних значений) в выборке;
- сравнение дисперсий;
- выбор математической линии регрессии;
- оценка коэффициента корреляции;
- оценка временных рядов и др.

При этом должны быть установлены следующие условия применения таких методов:

- сравнение математических ожиданий выборок рекомендуют применять в тех случаях, когда необходимо сравнивать показатели качеств двух или более выборок двигателей;

- сравнение дисперсий применяется в тех случаях, когда требуется оценить изменчивость рассеивания параметров в процессе перед ремонтом двигателей, выходу их из ремонта и с наработкой. По такому сравнению делается заключение о случайных или систематических отклонениях средних значений;

- оценка коэффициента корреляции рекомендуют производить для определения степени связи одного показателя качества с другим;

- вид регрессии (линейная, квадратичная и др.) между случайными величинами устанавливается после выполнения операций математической статистики;

- анализ временных рядов применяется в тех случаях, когда требуется оценить поведение показателей качества во времени.

Анализ литературы [5], [10], [11] показал, что при подсчете параметров уравнения регрессии все переменные и их соотношения между собой целесообразно выражать в стандартизованном масштабе, при котором за начало отсчета каждой переменной принимается среднее значение, а за единицу масштаба – величина среднеквадратического

отклонения. В этом случае упрощаются соотношения между переменными, что выгодно при анализе многомерных связей.

Перевод в стандартизованный масштаб осуществляется по следующему соотношению:

$$t_{xjh} = \frac{X_{jh} - \overline{X}_{\mu}}{S_{\mu}}, \quad (1.1)$$

где \overline{X}_{μ} – значение любого параметра в натуральном масштабе;

t_{xjh} – соответствующие их значения в стандартизованном масштабе.

Применяются также новые значения переменных, подсчитанные по формуле:

$$X_{ji}^1 = \frac{X_{ji} - X_{jo}}{dX_j}, \quad (1.2)$$

где X_{jo} – новое начало отсчета параметра, которое выбирается вблизи параметра X_j ; dX_j – произвольная величина.

Для унификации порядка статистического анализа качества двигателей осуществляются следующие этапы работы:

- назначение выборок и их объёмов; - создание модели расчета; - оценка распределений и их параметров; - изучение степени согласия между статистическими параметрами выборок; - проведение корреляционно-регрессионного анализа статистических данных;
- разработка мероприятий по повышению эффективности технической эксплуатации двигателей гражданской авиации в зависимости от результатов выполнения названных этапов работы.

Параметры функции плотности вероятности случайной величины, имеющей нормальный закон распределения, являются исчерпывающими характеристиками этого распределения. В математической статистике они

представляют собой первый $\bar{\Pi}$ и второй S моменты распределения и находятся по формулам:

$$\bar{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^N \Pi_i}{N}; \quad (1.3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Pi_i - \bar{\Pi})^2}{N-1}} \quad (1.4)$$

Распределение случайных величин не всегда является нормальным. В этих случаях отклонение реальных распределений от нормального закона проявляется главным образом в виде асимметрии A_S и эксцесса E_S . Численные значения коэффициентов асимметрии и эксцесса находятся по формулам:

$$A_S = \frac{\mu_3}{S_3}; \quad (1.5)$$

$$E_S = \frac{\mu_4}{S_4}, \quad (1.6)$$

где μ_3 и μ_4 – центральные моменты распределения третьего и четвертого порядка соответственно.

Для симметричного нормального распределения коэффициенты A_S и E_S равны нулю.

Случайный характер сочетаний различных факторов, влияющих на индивидуальное качество двигателей, приводит к разбросу параметров для выборки на всех режимах работы двигателей. Этот разброс для ремонтных двигателей устанавливается после статистической обработки дроссельных характеристик их. Контроль двигателей при разбросе их характеристик осуществляется требованиями Норм Летной годности гражданских воздушных судов (НЛГС) [7,АП 25, 27].

