

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра двигателей летательных аппаратов

О.Ф. Машошин, С.Г. Хрустикова

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЛА И АД

Учебно-методическое пособие
по проведению практических занятий
и выполнению лабораторных работ

*для студентов III курса
специальности 25.05.05
очной формы обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2021

УДК 681.518.5+620.19
ББК 053-082
М38

Рецензент:

Самойленко В.М. – д-р техн. наук, профессор

Машошин О.Ф.

М38

Техническая диагностика ЛА и АД [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практических занятий и выполнению лабораторных работ / О.Ф. Машошин, С.Г. Хрустиков. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 36 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Техническая диагностика ЛА и АД» по учебному плану для студентов III курса специальности 25.05.05 очной формы обучения.

В учебно-методическом пособии описаны практические занятия и лабораторный практикум по применению аналитических и инструментальных методов оценки состояния АТ. В части выполнения практических занятий приведены задачи классификации методом Байеса и задачи определения граничных значений контролируемых параметров методами статистических решений. Выполнение лабораторных работ охватывает такие направления как диагностирование авиационных двигателей по содержанию продуктов износа в масле, а также построение диагностических моделей с целью прогнозирования состояния АТ.

В каждой из работ (занятий) приводятся сведения о целесообразности применения метода, его особенностях и физической основе, а также о применяемом оборудовании.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 29.01.2021 г. и методического совета 30.01.2021 г.

УДК 681.518.5+620.19
ББК 053-082

В авторской редакции

Подписано в печать 19.05.2021 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 2,25 Усл. печ. л. 2,09

Заказ № 752/0330-УМП13 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2021

РАЗДЕЛ I

Практическое занятие №1 (4 час.) «Решение задачи распознавания состояния авиаконструкций методом Байеса»

Имеется объект, который в данный момент времени находится в одном из нескольких случайных состояний D_i . Известна совокупность диагностических признаков $K=(K_1, K_2, \dots, K_n)$, каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние объекта. Требуется по совокупности проявления (не проявления) признаков отнести объект к одному из возможных состояний (классов, диагнозов).

Итак, если имеется диагноз D_i и простой признак K_j , встречающийся при этом диагнозе, то вероятность совместного появления этих событий (наличие у объекта состояния D_i и признака K_j) согласно формуле Байеса равна:

$$P(D_i/K_j) = \frac{P(D_i) \cdot P(K_j/D_i)}{P(K_j)}, \quad (1.1)$$

В формуле (1.1) $P(D_i)$ - вероятность диагноза D_i по предварительным (априорным) статистическим данным. Так, если предварительно обследовано N объектов и у N_i объектов имелось состояние D_i , то

$$P(D_i) = \frac{N_i}{N};$$

$P(K_j/D_i)$ - вероятность появления признака K_j у объектов с состоянием D_i . Если среди N_i объектов, имеющих диагноз D_i , у N_{ij} проявляется признак K_j , то

$$P(K_j/D_i) = \frac{N_{ij}}{N_i};$$

$P(K_j)$ - вероятность появления признака K_j во всех объектах независимо от состояния (диагноза) объекта. Если из общего числа N объектов признак был обнаружен у N_j объектов, то

$$P(K_i) = \frac{N_j}{N}.$$

Для установления диагноза величина $P(K_j)$ может быть определена через значения $P(D_i)$ и $P(K/D_j)$, известные для всех возможных состояний.

$P(D/K_j)$ - вероятность диагноза D_i после того, как стало известно наличие у рассматриваемого объекта признака K_j (апостериорная вероятность диагноза).

Более общим является случай, когда обследование проводится по комплексу признаков K , включающему признаки K_1, K_2, \dots, K_v , каждый из которых имеет m_j разрядов ($K_{j1}, K_{j2}, \dots, K_{jv}$). В результате наблюдения становятся известными реализации комплекса признаков K .

Обобщенная формула Байеса имеет следующий вид:

$$P(D_i/K^*) = \frac{P(D_i) \cdot P(K^*/D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s) \cdot P(K^*/D_s)}, \quad (1.2)$$

где $P(D_i/K^*)$ - вероятность (апостериорная) диагноза D_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K ,

$$\sum_{s=1}^n P(D_s/K) = 1,0;$$

$P(D_i)$ - априорная вероятность диагноза;

$P(K/D_i)$ - вероятность появления комплекса признаков K в состоянии D_i .

В большинстве практических задач, особенно при большом числе признаков, можно допускать, что признаки независимы, даже при наличии существенных корреляционных связей между ними и тогда

$$P(K^*/D_i) = P(K_1^*/D_i) \cdot P(K_2^*/D_i) \cdot \dots \cdot P(K_v^*/D_i) \quad (1.3)$$

Для определения вероятностей диагнозов по методу Байеса составляется диагностическая матрица (табл. 1.1), которая формируется на основе предварительного статистического материала.

В этой таблице содержатся вероятности разрядов признаков $P(K_{js}/D_i)$ при различных диагнозах. Если признаки двухразрядные (простые признаки "да-нет"), то в таблице достаточно указать вероятность появления признака $P(K_j/D_i)$. Вероятность отсутствия признака

$$P(\bar{K}_j/D_i) = 1 - P(K_j/D_i) \quad (1.4)$$

Сумма вероятностей всех реализаций признака K_j равна единице

$$\sum_{s=1}^n P(K_{js}/D_i) = 1, 0.$$

Таблица 1.1

Диагностическая матрица

Диагнозы D_i	Признаки				$P(D_i)$
	K_1		K_2		
	$P(K_{11}/D_i)$	$P(K_{12}/D_i)$	$P(K_{21}/D_i)$	$P(K_{22}/D_i)$	
D_1					
\cdot					
\cdot					
D_n					

При методе Байеса используется следующее правило: объект с комплексом признаков K^* относится к диагнозу (классу) с наибольшей вероятностью $K^* \in D_i$, если $P(D_i/K) > P(D_j/K)$, где $j=1,2,\dots,n; i \neq j$.

Примерная задача

При наблюдении за газотурбинным двигателем (ГТД) фиксируется два признака: K_1 – повышение температуры газа за турбиной более чем на 50°C и K_2 – увеличение времени выхода на максимальную частоту вращения более чем на 5 с. Проявление (не проявление) этих признаков связано либо с неисправностью топливного регулятора (состояние D_1), либо с увеличением радиального зазора в турбине (состояние D_2), либо с нормальным состоянием двигателя (состояние D_3).

При нормальном состоянии двигателя признак K_2 не наблюдается, а признак K_1 наблюдается в 5% случаев. В состоянии D_2 признак K_1 встречается в 20%, а признак K_2 в 30% случаев. В состоянии D_2 признак K_1 встречается в 40%, а признак K_2 в 50% случаев. Известно, что 80% двигателей вырабатывают ресурс в нормальном состоянии, 5% двигателей имеют состояние D_1 и 15% - состояние D_2 . Требуется определить состояния двигателя (поставить диагноз) при возможных сочетаниях проверяемых признаков.

Решение

1. Сведем исходные данные в диагностическую таблицу (табл. 1.2). При этом вероятности отсутствия признаков $P(K_j/D_i)$ вычислим по формуле (1.4).

Таблица 1.2

Вероятности признаков и априорные вероятности состояний

D_i	$P(K_1 / D_i)$	$P(\overline{K_1} / D_i)$	$P(K_2 / D_i)$	$P(\overline{K_2} / D_i)$	$P(D_i)$
D_1	0,2	0,8	0,3	0,7	0,05
D_2	0,4	0,6	0,5	0,5	0,15
D_3	0,0	1,0	0,05	0,95	0,80

2. Найдем вероятности состояний, когда проявляются оба признака $P(D_i/K_1K_2)$. Считая признаки независимыми, применим формулы (1.2) и (1.3).

Вероятность состояния D_1 при наличии признаков K_1 и K_2 :

$$P(D_1/K_1K_2) = \frac{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,3}{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,3 + 0,15 \cdot 0,4 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0,05 \cdot 0,0} = 0,09.$$

Аналогично получим: $P(D_2/K_1K_2)=0,91$; $P(D_3/K_1K_2)=0$.

3. Определим вероятности состояний двигателя, если обследование показало, что повышение температуры не наблюдается (признак K_1 отсутствует), но увеличивается время выхода на максимальную частоту вращения (признак K_2 наблюдается). Используем те же формулы (2) и (3):

$$P(D_1/\overline{K_1}K_2) = \frac{0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,3}{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,3 + 0,15 \cdot 0,6 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0,05 \cdot 1,0} = 0,12.$$

Аналогично: $P(D_2/\overline{K_1}K_2)=0,46$; $P(D_3/\overline{K_1}K_2)=0,42$.

4. Вычислим вероятности состояний, когда признак K_1 наблюдается, а признак K_2 - отсутствует;

$$P(D_1/K_1\bar{K}_2) = \frac{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,7}{0,05 \cdot 0,2 \cdot 0,7 + 0,15 \cdot 0,4 \cdot 0,5 + 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,0} = 0,19.$$

Аналогично: $P(D_2/K_1K_2) = 0,81$; $P(D_3/K_1K_2) = 0,0$.

5. Вычисления вероятностей состояния при отсутствии обоих признаков K_1 и K_2 дают следующие результаты:

$$P(D_1/\bar{K}_1\bar{K}_2) = 0,03; P(D_2/\bar{K}_1\bar{K}_2) = 0,05; P(D_3/\bar{K}_1\bar{K}_2) = 0,92.$$

Занесем результаты в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты диагноза

D_i	$P(D_i / K_1K_2)$	$P(D_i / \bar{K}_1K_2)$	$P(D_i / K_1\bar{K}_2)$	$P(D_i / \bar{K}_1\bar{K}_2)$
D_1	0,09	0,12	0,19	0,03
D_2	0,91	0,46	0,81	0,05
D_3	0,00	0,42	0,00	0,92

6. Анализ результатов позволяет установить, что при наличии признаков K_1 и K_2 в двигателе с вероятностью 0,91 имеется событие D_2 (увеличение радиального зазора). При отсутствии обоих признаков наиболее вероятно нормальное состояние (вероятность 0,92). При отсутствии признака K_1 и наличия признака K_2 вероятности состояний D_2 и D_3 примерно одинаковы (0,46 и 0,42). В этом случае для уточнения состояния двигателя требуется проведение дополнительного обследования.

7. Ранжируем состояние D_i по степени опасности (влияния на безопасность полетов). В нашем случае последовательность состояний будет такова: $D_2 - D_1 - D_3$. Отсюда назначаем последовательность проверок:

проверяется K_1 и K_2 ;

проверяется K_1 и \bar{K}_2 ;

проверяется \bar{K}_1 и \bar{K}_2 .

Контрольные задания к практическому занятию №1.

Во всех заданиях требуется определить взаимосвязь между ситуациями проявляемых признаков и возможными состояниями объекта. Кроме того, необходимо назначить последовательность диагностических проверок исходя из степени опасности возможных состояний.

Объект диагностирования, признаки и состояния выбираются по предпоследней цифре учебного шифра в соответствии с табл. 1.4. Значения вероятностей выбираются по последней цифре учебного шифра по табл. 1.5.

Таблица 1.4

Пред- посл. цифра шифра	Объект	Признаки		Состояния	
		K_1	K_2	D_1	D_2
0	маслосистема газотурбинного двигателя	повышение давления масла в нагнетающей магистрали	увеличенный расход масла через систему суфлирования	неисправное состояние маслонасоса откачки	закупорка масляных форсунок коксом
1	авиационный газотурбинный двигатель	помпаж двигателя	повышенный расход топлива	повреждение рабочих лопаток проточной части	нарушение регулировки топливной аппаратуры
2	зубчатое соединение в коробке приводов ГТД	постоянный шум в коробке приводов	металлическая стружка в магистрали откачки масла из коробки	нарушение условий смазки шестерен	износ и поломка отдельных зубьев шестерен
3	подшипник качения	сокращенный выбег ротора двигателя	увеличенная вибрация двигателя	заклинивание тел качения подшипника из-за ухудшения условий смазки	касание ротора о корпус двигателя из-за интенсивной раскатки наружной обоймы
4	авиационный газотурбинный двигатель	колебания температуры газа за турбиной относительно среднего значения	колебания частоты вращения ротора низкого давления относительно среднего значения	неисправность топливного регулятора	увеличение радиального зазора в турбине

5	газотурбинный двигатель	увеличение уровня вибрации в полете	нестабильные показания давления масла в маслосистеме	нарушение смазки подшипников ротора	нарушение балансировки вследствие неравномерности выработки лабиринтных уплотнений
6	авиационный газотурбинный двигатель	нарушение регулировки топливного насоса из-за усадки пружин	засорение каналов и жиклеров командного топлива	падение тяги двигателя	невыход двигателя на заданную частоту вращения ротора
7	насос гидросистемы самолета	течь масла из штуцера дренажной линии	повышение вибрации корпуса насоса	износ подшипников	износ или разрушение деталей сальника приводного валика
8	аксиально-поршневой гидронасос	течь рабочей жидкости из дренажного штуцера	течь рабочей жидкости из дренажного штуцера при неработающем насосе	повреждение манжетного уплотнения вала	повреждение уплотнительных колец
9	топливная система самолета	завышенное показание расходомера одного из двигателей	заниженное показание расходомера двигателя	попадание влаги в штепсельный разъем расходомера	не отрегулированы "0" и "max" шкалы расходомера

Таблица 1.5

Последняя цифра шифра	Вероятности								
	P(K ₁ /D ₁)	P(K ₂ /D ₁)	P(K ₁ /D ₂)	P(K ₂ /D ₂)	P(K ₁ /D ₃)	P(K ₂ /D ₃)	P(D ₁)	P(D ₂)	P(D ₃)
0	0,20	0,31	0,40	0,19	0,00	0,05	0,05	0,15	0,80
1	0,21	0,34	0,41	0,20	0,05	0,00	0,15	0,05	0,80
2	0,22	0,33	0,42	0,21	0,00	0,05	0,06	0,20	0,74
3	0,23	0,36	0,43	0,22	0,05	0,00	0,07	0,13	0,80
4	0,24	0,34	0,44	0,23	0,00	0,06	0,12	0,15	0,73
5	0,25	0,35	0,45	0,24	0,05	0,00	0,05	0,05	0,90
6	0,26	0,39	0,46	0,25	0,00	0,05	0,09	0,11	0,80
7	0,27	0,37	0,47	0,26	0,06	0,00	0,06	0,14	0,80
8	0,28	0,38	0,48	0,27	0,00	0,05	0,04	0,14	0,82
9	0,29	0,36	0,49	0,26	0,05	0,00	0,16	0,06	0,78

РАЗДЕЛ II

Практическое занятие №2 (4 час.) «Оценка состояния авиационной техники методами статистических решений»

Решающее правило выбирается исходя из некоторых условий оптимальности, например, из условия минимального риска. Рассмотрим процесс распознавания при наличии одного диагностического признака (параметра).

Пусть производится диагностирование газотурбинного двигателя по содержанию железа в масле (параметр K). Задача состоит в выборе значения K_0 параметра K таким образом, что при $K > K_0$ следует принимать решение о снятии двигателя с эксплуатации, при $K < K_0$ допускать к дальнейшей работе. Разделение производится на два класса: D_1 - исправное состояние, D_2 - наличие дефекта. Тогда указанное правило решения означает: при $K < K_0, K \in D_1$; при $K > K_0, K \in D_2$.

Содержание железа в масле неоднозначно характеризует состояние подшипника (в масло попадают магнитные частицы от других трущихся пар: шестерен, шлиц и т.д.), т.е. является случайным событием. Плотности вероятности распределения параметра K для дефектных и исправных подшипников показаны на рис. 2.1.

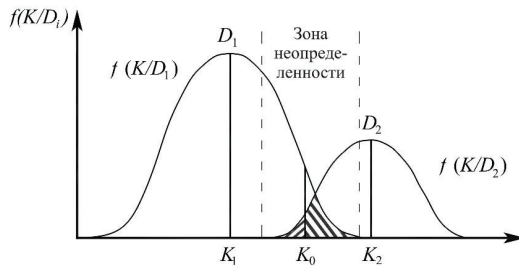


Рис. 2.1. Статистическое распределение плотности вероятности диагностического параметра K для исправного D_1 и неисправного D_2 состояний

Области D_1 и D_2 состояний пересекаются, и поэтому принципиально невозможно выбрать значение K_0 абсолютно безошибочно.

Задача состоит в том, чтобы выбор K_0 был в некотором смысле оптимальным, например, давал наименьшее значение риска.

Метод минимального риска

Графическое значение K_0 находится из условия минимального среднего риска.

$$\frac{f(K_0/D_1)}{f(K_0/D_2)} = \frac{C_{12} \cdot P_2}{C_{21} \cdot P_1}. \quad (2.1)$$

Как известно, плотность вероятностей распределения случайной величины выражается как

$$f(K/D_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(K_i - K_{cp})^2}{2\sigma_i^2}}$$

После подстановки в (2.1) и логарифмирования получаем квадратное уравнение с двумя корнями K_{01} и K_{02} . Решением будет тот корень, который находится в зоне неопределенности (рис. 2.1).

Метод минимального числа ошибочных решений

В этом методе стоимости решений C_{12} и C_{21} принимаются одинаково, и отношение правдоподобия принимает вид

$$\frac{f(K_0/D_1)}{f(K_0/D_2)} = \frac{P_2}{P_1}. \quad (2.2)$$

Решение аналогично методу минимального риска.

Метод наибольшего правдоподобия

Здесь отношение априорных вероятностей исправного (P_1) и неисправного (P_2) состояний принимается равным единице, а условие нахождения K_0 выглядит так:

$$f(K_0/D_1) = f(K_0/D_2). \quad (2.3)$$

Примерная задача

Определить предельное значение параметра K_0 , выше которого объект подлежит снятию с эксплуатации.

Объект - газотурбинный двигатель.

Параметр - содержание железа в масле K , (г/т). Параметр имеет нормальное распределение при исправном (D_1) и неисправном (D_2) состояниях. Дано:

$$K_1 = 1,64 \text{ г/т}; K_2 = 4,26 \text{ г/т}; \sigma_1 = 0,3; \sigma_2 = 1,0; C_{12}/C_{21} = 20; P_2 = 0,1.$$

Решение

1. Метод минимального риска

Согласно выражению (2.1)
$$\frac{f(K_0 / D_1)}{f(K_0 / D_2)} = \frac{C_{12} \cdot P_2}{C_{21} \cdot P_1}.$$

После подстановки плотностей распределения вероятностей для состояний D_i

$$f(K/D_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(K_0 - K_{cp})^2}{2\sigma_i^2}}$$

и логарифмирования получаем

$$5,556K_0^2 - 18,222K_0 + 14,942 - 0,5K_0^2 + 4,26K - 9,74 = 0,405.$$

Преобразуя и решая данное квадратное уравнение, получим:

$$K_{01} = 2,24; K_{02} = 0,47. \text{ Т.о., искомое граничное значение } K_0 = 2,24 \text{ г/т.}$$

2. Метод минимального числа ошибочных решений

Условие получения K_0 :
$$\frac{f(K_0/D_1)}{f(K_0/D_2)} = \frac{P_2}{P_1}.$$

Подставляя и раскрывая соответствующие плотности вероятностей, получаем уравнение:

$$5,056K_0^2 - 9,702K_0 - 6,607 = 0.$$

Подходящим корнем этого уравнения является величина 2,57.

Итак, $K_0 = 2,57$ г/т.

3. Метод наибольшего правдоподобия

Условие получения K_0 :

$$f(K_0/D_1) = f(K_0/D_2).$$

Итоговое квадратное уравнение будет выглядеть так:

$$5,056K_0^2 - 9,702K_0 - 4,41 = 0.$$

Искомое $K_0 = 2,31$ г/т.

Определим вероятность ложной тревоги $P(H_{21})$, вероятность пропуска дефекта $P(H_{12})$, а также величину среднего риска R для граничных значений K_0 , найденных различными методами.

Если в исходных условиях $K_1 < K_2$, то

$$\left. \begin{aligned} P(H_{21}) &= P_1 \cdot [0,5 - \Phi(K_1 / D_1)] \\ P(H_{12}) &= P_2 \cdot [0,5 + \Phi(K_2 / D_2)] \end{aligned} \right\} \text{ и } R = P(H_{21}) + \frac{C_{12}}{C_{21}} \cdot P(H_{12}).$$

Если в исходных условиях $K_1 > K_2$, то

$$\left. \begin{aligned} P(H_{21}) &= P_1 \cdot [0,5 + \Phi(K_1 / D_1)] \\ P(H_{12}) &= P_2 \cdot [0,5 - \Phi(K_2 / D_2)] \end{aligned} \right\} \text{ и } R = P(H_{21}) + \frac{C_{12}}{C_{21}} \cdot P(H_{12}).$$

Для метода минимального риска при $K_0 = 2,29$ г/т получаем следующее:

$$\begin{aligned} \Phi(K_0 / D_1) &= \Phi\left(\frac{2,29 - 1,64}{0,3}\right) = \Phi(2,16) = 0,4846; \\ \Phi(K_0 / D_2) &= \Phi\left(\frac{2,29 - 4,26}{1,0}\right) = \Phi(-1,97) = -0,4756; \\ P(H_{21}) &= 0,9 \cdot [0,5 - 0,4846] = 0,0139; \\ P(H_{12}) &= 0,1 \cdot [0,5 - 0,4756] = 0,0024; \\ R &= 0,0139 + 20 \cdot 0,0024 = 0,0619. \end{aligned}$$

Для метода минимального числа ошибочных решений при $K_0 = 2,57$ г/т:

$$\begin{aligned} \Phi(K_0 / D_1) &= \Phi\left(\frac{2,57 - 1,64}{0,3}\right) = \Phi(3,1) = 0,4990; \\ \Phi(K_0 / D_2) &= \Phi\left(\frac{2,57 - 4,26}{1,0}\right) = \Phi(-1,69) = -0,4545; \\ P(H_{21}) &= 0,9 \cdot [0,5 - 0,4990] = 0,0009; \\ P(H_{12}) &= 0,1 \cdot [0,5 - 0,4545] = 0,0045; \\ R &= 0,0009 + 20 \cdot 0,0045 = 0,0909. \end{aligned}$$

Для метода наибольшего правдоподобия при $K_0 = 2,37$ г/т:

$$\Phi(K_0 / D_1) = \Phi\left(\frac{2,37 - 1,64}{0,3}\right) = \Phi(2,43) = 0,4925;$$

$$\Phi(K_0 / D_2) = \Phi\left(\frac{2,37 - 4,26}{1,0}\right) = \Phi(-1,89) = -0,4706;$$

$$P(H_{21}) = 0,9 \cdot [0,5 - 0,4925] = 0,0068;$$

$$P(H_{12}) = 0,1 \cdot [0,5 - 0,4706] = 0,0029;$$

$$R = 0,0139 + 20 \cdot 0,0029 = 0,0656.$$

Сведем результаты расчетов в итоговую таблицу.

Метод	$K_0, \text{г/т}$	$P(H_{21})$	$P(H_{12})$	R
Минимального риска	2,29	0,0139	0,0024	0,0619
Минимального числа ошибок	2,57	0,0009	0,0045	0,0909
Наибольшего правдоподобия	2,37	0,0068	0,0029	0,0656

Вывод: в соответствии с минимальным значением среднего риска наиболее приемлемый метод для данного примера – метод минимального риска.

Контрольные задания к практическому занятию №2.

Вариант задания выбирается по сумме двух последних цифр номера зачетной книжки. Во всех заданиях требуется определить граничное значение K_0 , разделяющее объекты на два класса: исправный и неисправный. Результаты решений отмечают на графике (рис. 2.1), который строится на миллиметровке и вклеивается в работу.

Итак, техническое диагностирование объекта осуществляется по параметру K . Для исправного объекта даются среднее значение параметра K_1 и среднеквадратическое отклонение σ_1 . Для неисправного соответственно K_2 и σ_2 . В исходных данных также для каждого варианта приводится соотношение цен C_{12}/C_{21} . Распределение K принимается нормальным. Во всех вариантах $P_1=0,9; P_2=0,1$.

Варианты заданий приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Вар.	Объект	Параметр	Неисправное состояние	K_1	K_2	σ_1	σ_2	C_{12}/C_{21}
00	ГТД	виброскорость (мм/с)	нарушение нормальных условий работы опор ротора двигателя	40	70	7	8	8
01	ГТД	концентрация примесей меди (Cu) в масле (г/т)	повышенная концентрация Cu в масле из-за интенсификации процессов изнашивания омедненных шлицевых соединений приводных валов	1,1	6	0,3	2	16
02	подкачиваемый топливный насос	давление топлива на выходе (кг/см ²)	деформация крыльчатки	2,6	1,9	0,2	0,3	9
03	ГТД	уровень виброперегрузок (g)	раскатка наружной обоймы подшипников	5,4	6,9	0,5	0,7	12
04	межвальный подшипник ГТД	показания виброакустического прибора контроля состояния подшипника (ца)	появление следов выкрашивания на беговых дорожках подшипника	26	66	6	10	10
05	ГТД	содержание железа (Fe) в масле (г/т)	повышенная концентрация Fe в масле из-за ускоренного изнашивания зубчатых соединений в коробке приводов	1,71	4,44	0,3	1	19
06	масло для смазки газотурбинного двигателя	оптическая плотность масла, %.	пониженные эксплуатационные свойства масла, имеющего оптическую плотность	95	76	8	7	11
07	аксиально-поршневой насос	величина производительности насоса, выражаемая объемным КПД	низкое значение объемного КПД, связанное с поломкой насоса	0,07	0,48	0,11	0,14	18
08	система управления самолета, состоящая из жестких тяг	суммарный осевой люфт сочленений, мкм	повышенный суммарный осевой люфт из-за износа сопрягаемых пар	95	420	25	90	15
09	система управления самолета, состоящая из жестких тяг	суммарный осевой люфт сочленений, мкм	повышенный суммарный осевой люфт из-за износа сопрягаемых пар	109	434	30	100	20

10	ГТД	виброскорость (мм/с)	нарушение нормальных условий работы опор ротора двигателя	37	37	8	8	10
11	ГТД	концентрация примесей меди (<i>Сu</i>) в масле (г/т)	повышенная концентрация <i>Сu</i> в масле из-за интенсификации процессов изнашивания омедненных шлицевых соединений приводных валов	1,7	6	0,3	2	23
12	подкачиваемый топливный насос	давление топлива на выходе (кг/см ²)	деформация крыльчатки	2,85	2,15	0,2	0,3	14
13	ГТД	уровень виброперегрузок (g)	раскатка наружной обоймы подшипников	4,6	6,0	0,5	0,7	7
14	межвальный подшипник ГТД	показания виброакустического прибора контроля состояния подшипника (ца)	появление следов выкрашивания на беговых дорожках подшипника	22	62	6	9	10
15	ГТД	содержание железа (<i>Fe</i>) в масле (г/т)	повышенная концентрация <i>Fe</i> в масле из-за ускоренного изнашивания зубчатых соединений в коробке приводов	2,02	4,61	0,3	1	16
16	масло для смазки газотурбинного двигателя	оптическая плотность масла, %.	пониженные эксплуатационные свойства масла, имеющего оптическую плотность	93	73	8	7	10
17	топливные фильтро-элементы	концентрация примесей меди (<i>Сu</i>) в масле (г/т)	повышенная концентрация <i>Сu</i> в масле из-за интенсификации процессов изнашивания омедненных шлицевых соединений приводных валов	28	87	8	15	21
18	аксиально-поршневой насос	величина производительности насоса, выражаемая объемным КПД (в долях от 1,0)	низкое значение объемного КПД, связанное с поломкой насоса	0,88	0,49	0,11	0,14	17

РАЗДЕЛ III

Лабораторная работа №1 (4 час.)

«Построение модели прогнозирования состояния объекта»

3.1. Краткие сведения о принципиальном подходе к построению прогностических моделей

Большая группа задач в диагностике авиационных конструкций относится к оценке их перспективных ресурсов (сроков службы) на основании данных о динамике изменения технического состояния с наработкой. Как известно, решение таких задач связано с использованием моделей изменения технического состояния объекта по наработке, которая представляет собой корреляционную функцию связи между случайными значениями диагностических параметров и наработкой объекта.

Случайной (корреляционной) функцией называется функция, значения которой имеют случайное распределение для каждого значения аргумента. Применительно к нашей задаче случайная функция является аппроксимирующей линией, описывающей совокупность диагностических параметров K на интервале наработки Δt .

Термин "случайная функция" в такой трактовке является синонимом понятия "математическая модель".

Решение прогностических задач может быть реализовано с позиций двух подходов:

- изучения моделей изменения физических механизмов случайных процессов;
- изучения моделей изменения признаков, сопровождающих случайные процессы (принцип "черного ящика").

Итак, в каждый момент времени случайная функция представляет собой случайную величину, имеющую непрерывное, как правило, нормальное распределение.

В каждом сечении наработки можно построить такое распределение, зная его медиану $K_{cp}^{t_i}$ и среднеквадратическое отклонение σ^{t_i} .

Моделью процесса изменения состояния объекта по наработке будет линия, аппроксимирующая все точки $K_{cp}^{t_i}$ на заданном интервале наработки Δt .

Наиболее универсальным способом аппроксимаций случайных выборок является метод наименьших квадратов.

Рассмотрим метод наименьших квадратов в простейшем виде. Пусть имеется N экспериментальных точек с координатами K_j , t_j и требуется подобрать полином n -го порядка

$$t(K) = a_0 + a_1 \cdot K + \dots + a_n \cdot K^n,$$

который наилучшим образом описывает экспериментальные данные. По методу наименьших квадратов коэффициент a_i выбирают так, чтобы квадратичная погрешность между каждой из точек аппроксимирующей линии была минимальной

$$\Delta = \sum_1^N [t(K_j) - t_j]^2 = \min$$

Так как погрешность зависит от выбранных значений коэффициентов a_0 , a_1, \dots, a_n , то из условия $\frac{\partial \Delta}{\partial a_i} = 0 (i = 0, 1, \dots, n)$ получим систему $n+1$ линейных алгебраических уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Delta}{\partial a_0} &= 2 \sum_1^N (a_0 + a_1 \cdot K_j + \dots + a_n \cdot K_j^n - t_j) \cdot 1 = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_1} &= 2 \sum_1^N (a_0 + a_1 \cdot K_j + \dots + a_n \cdot K_j^n - t_j) \cdot K_j = 0 \\ \frac{\partial \Delta}{\partial a_n} &= 2 \sum_1^N (a_0 + a_1 \cdot K_j + \dots + a_n \cdot K_j^n - t_j) \cdot K_j^n = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

относительно неизвестных a_0, a_1, \dots, a_n .

Рассмотрим простейший случай линейной аппроксимации. В общем виде уравнение прямой линии $- y = a_0 + a_1 n$. Система уравнений для нахождения коэффициентов a_0, a_1 будет выглядеть так:

$$a_0 \cdot N + a_1 \sum_1^N K_j = \sum_1^N t_i;$$

$$a_0 \cdot \sum_1^N 1 + a_1 \sum_1^N K_j^2 = \sum_1^N K_j \cdot t_i.$$

Решая эту систему, находим

$$a_1 = \frac{K_{kt}}{\sigma_k^2}; \tag{3.2}$$

$$a_0 = \bar{t} - a_1 \cdot K, \tag{3.3}$$

где $K_{k,t}$ - второй смешанный центральный момент,

$K = 1/N \cdot \sum_1^N K_j$; $\bar{t} = 1/N \cdot \sum_1^N t_i$, - средние значения K и t

3.2. Исходные данные для выполнения лабораторной работы

В ходе лабораторной работы необходимо построить математическую модель изменения параметра K с наработкой t . В качестве модели принять линейную зависимость.

По самостоятельно выбранным значениям параметра K определить коэффициенты уравнения прямой, построить доверительные интервалы.

По заданному предельному значению параметра определить предельную наработку.

Вариант задания выбирается по последней цифре шифра студента согласно табл. 3.1.

Таблица 3.1

Вариант (последняя цифра)	Исходные данные	
	Интервал Δt , ч	Количество сечений, n
0	0-5000	6
1	0-5000	6
2	0-7000	8
3	0-8000	9
4	0-6000	7
5	0-7000	8
6	0-8000	9
7	0-6000	7
8	0-7000	8
9	0-8000	9

Количественный интервал изменения значения параметра K и физическая природа параметров выбираются из табл. 3.2.

Таблица 3.2

Исходные данные

Вариант (посл. цифра)	Физический смысл параметра (тренд)	Тренд	ΔК
0	Виброскорость (мм/с)	Возрастающий	20 - 60
1	Температура (гр. С)	Возрастающий	450 - 510
2	Давление (МПа)	Возрастающий	12 - 20
3	КПД	Убывающий	0,95 - 0,50
4	Содержание Fe в масле (г/т)	Возрастающий	2,0 - 8,0
5	Сила тока (А)	Возрастающий	2,0-8,0
6	Напряжение (В)	Возрастающий	200-240
7	Частота (МГц)	Убывающий	15,0 - 5,0
8	Сопротивление (Ом)	Возрастающий	20 - 200
9	Электропроводность (МСм/м)	Возрастающий	10,0 - 38,0

3.3. Пример решения задачи (вариант 0)

Дано:

Диагностический параметр (из таблицы 3.2) - виброскорость.

Среднее значение виброскорости при нулевой наработке =35 мм/с

Интервал наработки $\Delta t = 0 \div 5000$ ч.

Количество сечений $n=6$.

Среднее значение виброскорости на 6-м сечении =65 мм/с.

Необходимо построить аппроксимирующую функцию (модель) изменения виброскорости по наработке.

1. Строится картина расположения исходных значений диагностических параметров на графике по следующей технологии:

- откладывается интервал изменения диагностического параметра по оси ординат графика (рис. 3.1);

- откладываются равномерные отрезки наработки на оси абсцисс в соответствии с заданием табл. 3.1;

- равномерно распределяются сечения наработки по оси абсцисс.

На каждом из сечений наработки произвольно откладывается ряд точек случайных значений диагностических параметров (с учетом тренда), имея в виду, что:

на 1-м сечении располагаются 5 точек (наработка 0);

на 2-м сечении располагаются 6 точек;

на 3-м сечении располагаются 7 точек;

на 4-м сечении располагаются 8 точек;

на 5-м сечении располагаются 9 точек;

на 6-м сечении располагаются 10 точек;
 на 7-м сечении располагаются 5 точек;
 на 8-м сечении располагаются 6 точек;
 на 9-м сечении располагаются 7 точек;
 на 10-м сечении располагаются 8 точек.

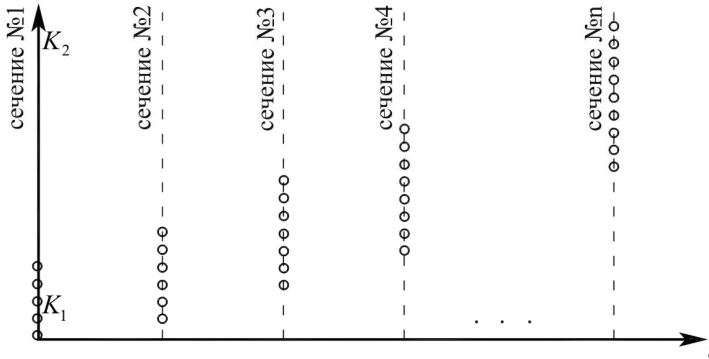


Рис. 3.1. К построению исходного распределения случайного значения диагностического параметра

Необходимо учитывать, что часть вариантов имеет отрицательный тренд (например, когда речь идет о КПД или частоте).

2. Для расчета коэффициентов уравнения прямой и коэффициента корреляции строится таблица значений

В данном случае удобно воспользоваться программой Microsoft Excel.

3. Определяем коэффициент корреляции

Общая тенденция расположения точек позволяет предположить, что имеет место линейная корреляционная связь между t и K . В этом случае выяснение степени тесноты связи полученной совокупности производится по коэффициенту корреляции ρ :

$$\rho = \frac{K_{K,t}}{\sigma_t \cdot \sigma_K},$$

где $K_{K,t}$ - второй смешанный центральный момент;
 σ_t - среднеквадратическое отклонение по наработке t ;
 σ_K - среднеквадратическое отклонение по параметру K .

Входящие в вышеприведенную формулу величины подсчитываются по следующим зависимостям:

$$K_{K,t} = \sum_{i=1}^n \frac{(K_i - \bar{K}) \cdot (t_i - \bar{t})}{N - 1};$$

$$\sigma_K = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{N - 1}}; \quad \sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{N - 1}},$$

где K_i, \bar{K} - соответственно текущее и среднее значение параметра;
 t_i, \bar{t} - соответственно текущее и среднее значение наработки, ч;
 N - число точек.

После подстановки получаем ρ .

Знак минус указывает на наличие отрицательного тренда, а абсолютное значение свидетельствует о тесноте корреляционной связи между τ и t (чем ближе к 1,0, тем теснее связь).

4. Строим диагностическую модель изменения параметра K с наработкой t .

Полученную совокупность точек описываем прямой линией (так как вначале мы предположили линейную корреляцию) по методу наименьших квадратов. Согласно этому методу в уравнении прямой линии общего вида

$$K = a \cdot t + b$$

$$a = \frac{K_{r,t}}{\sigma_t^2}; \quad b = \bar{K} - a \cdot \bar{t}.$$

После подстановок получаем уравнение модели

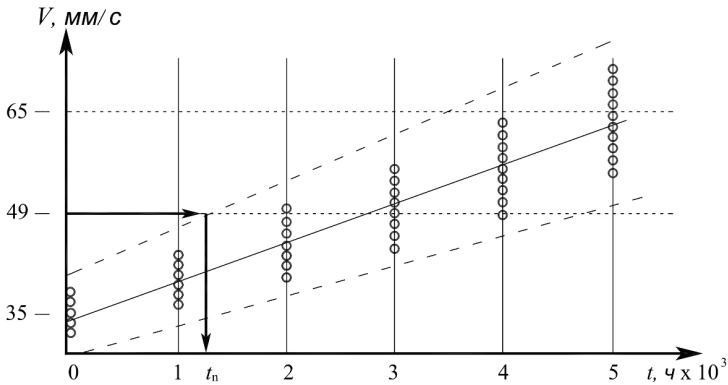


Рис. 3.2. Пример нанесения исходной выборки и определения предельной наработки

Зная предельные значения параметра, можно определить предельный средний ресурс, чтобы упредить все возможные отклонения по вибрации - необходимо построить доверительные интервалы для полученной функции.

5. Технология построения доверительных интервалов:

1) Сначала находим ширину разброса в трех произвольно взятых распределениях (рис. 3.2) наработок: $\pm\delta = \nu \cdot \sigma$,

где ν -табличный коэффициент, зависящий от принятого уровня вероятности и количества экспериментальных точек (для $P=0,997$; $\nu =3,0$);

σ – среднеквадратическое отклонение (определяется для каждого из выбранных сечений).

2) Через три точки, соответствующие верхним и нижним границам каждого из распределений, проводим осредненную линию верхнего и нижнего доверительных интервалов функции (модели).

3) По предельному значению параметра находим предельную наработку (на пересечении с границей доверительного интервала).

В данном случае предельная наработка будет определяться точкой пересечения с верхним доверительным интервалом и равна, примерно, 1250 час. (см. рис. 3.2).

Для параметров предельное значение наносится исходя из соотношения «среднее значение параметра на первом сечении + 30%» (для положительного тренда) или «среднее значение параметра на первом сечении -20%» (для отрицательного тренда).

График чертится на миллиметровой бумаге и вклеивается в работу.

РАЗДЕЛ IV Лабораторная работа №2 (4 час.)

«Оценка состояния ГТД по результатам анализа работавших авиамасел»

4.1. Краткие сведения о методах диагностики ГТД по результатам анализа авиамасел

Разрушение деталей узлов трения ГТД в ряде случаев начинается с выкрашивания или истирания поверхностного слоя материала сопрягаемых деталей (подшипники, шлицевые соединения и т.п.) под воздействием динамических нагрузок в сочетании с силами трения. Образующиеся при этом продукты изнашивания (износ) уносятся циркулирующим в двигателе маслом.

Масло является носителем информации и характеризует интенсивность протекающих процессов трения. Количество продуктов изнашивания, поступающих в масло, зависит от скорости изнашивания, которая, в свою очередь, обусловлена уровнем нагрузок и условиями трения сопрягаемой пары.

Для диагностики двигателя на основании анализа продуктов изнашивания деталей, омываемых маслом, используются инструментальные и органолептические методы (рис. 4.1).

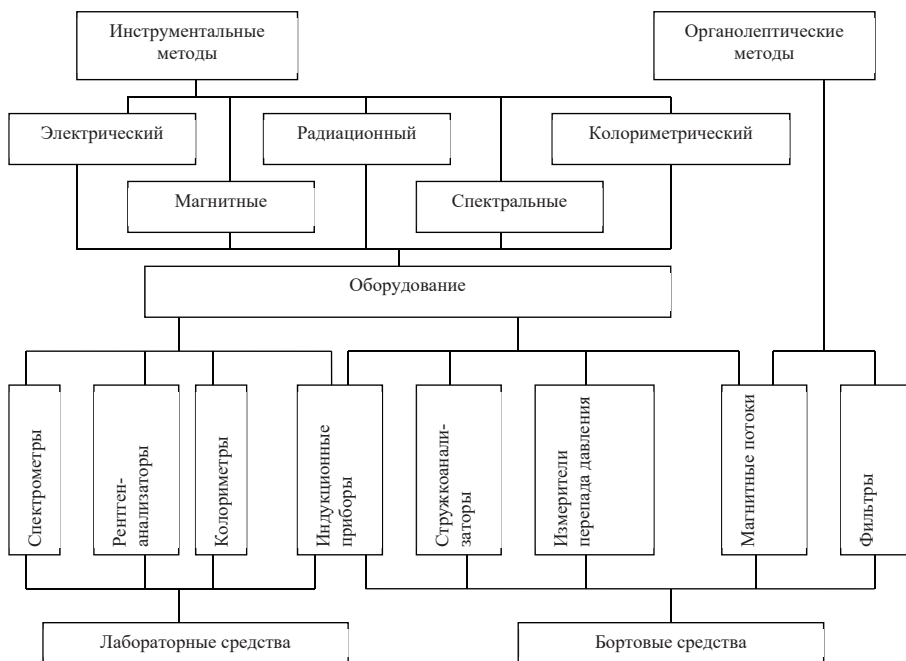


Рис. 4.1. Классификация методов определения концентрации продуктов изнашивания в маслах

В число инструментальных методов входят магнитный, спектральные, феррографический, колориметрический методы.

Магнитный метод контроля основан на измерении силы взаимодействия ферромагнитных частиц в масле с искусственно созданным внешним магнитным полем. Поскольку количество ферромагнитных частиц (Fe, Co, Ni) в масле двигателя обычно больше, чем других продуктов изнашивания, то определенная концентрация этих частиц в масле может служить интегральной оценкой степени износа сопрягаемых деталей.

Спектральные методы являются одними из наиболее распространенных в ГА методов определения концентрации износа в масле. В их основе лежат результаты атомного и молекулярного анализов спектров испускания и поглощения - критерии химического состава и концентрации частиц. Анализ частиц по спектрам испускания проводится эмиссионным и флуоресцентным методами.

Метод эмиссионно-спектрального анализа при сжигании пробы масла в межэлектродном промежутке позволяет точно определить концентрации примесей по наличию характерных линий и их яркости в спектре.

В рентгеноспектральном методе пробу масла облучают потоком электронов, и по величине возникающего при этом рентгеновского излучения судят о содержании металла в пробе. В другом варианте (широко используемом в ГА) пробу масла облучают рентгеновскими лучами и определяют интенсивность вторичного излучения от частиц в масле (*рентгенофлуоресцентный метод*).

Сцинтилляционный метод основан на сжигании пробы масла (в виде мелкодисперсной золи) в СВЧ-плазменной горелке с температурой ~ 5200 К. Капли масла в воздушной плазме выгорают, а последовательно поступающие в плазму металлические частицы испаряются и атомный пар возбуждается, т.е. происходит вспышка (сцинтилляция) частицы. Излучение атомного пара преобразуется в спектр, который анализируется на предмет выявления химического элемента и его количества.

Феррографический метод анализа масла заключается в осаждении частиц износа из анализируемого масла под действием ранжированного магнитного поля на поверхность стеклянной пластины с последующим их анализом на микроскопе. Из частиц с одинаковыми магнитными свойствами в соответствии с размером осаждаются на пластину сначала более крупные, затем более мелкие частицы.

Колориметрический метод. В основу метода положен т.н. закон Бугера-Ламберта-Бера и принцип измерения коэффициента пропускания света через исследуемую среду (пробу масла). На фотоприемник поочередно направляются световые потоки: полный (F_{ω}) и прошедший (F_{λ}) через масляную среду, затем определяется отношение этих потоков. По значениям оптико-световых характеристик исследуемых проб масла и судят о состоянии узлов трения, омываемых маслом.

При **органолептических методах** степень износа выявляется визуально с использованием каких-либо устройств и приспособлений (магнитные пробки, фильтры). Как известно, на двигателях применяются также и автоматические сигнализаторы стружки различного типа (электронные, электромеханические и др.). Сигнализаторы фиксируют наличие износа, но не позволяют отслеживать развитие процесса, вызвавшего появление стружки в масле.

Цель и содержание лабораторной работы

Целью работы является ознакомление с существующими методами и средствами анализа работавших авиамасел на содержание в них продуктов изнашивания, а также формирование практических навыков работы на оборудовании, принятию решений (постановке диагнозов) о техническом состоянии и дальнейшей эксплуатации авиадвигателей.

Содержание работы включает в себя:

изучение физической сущности методов диагностики ГТД по анализу работавших масел;

изучение диагностического оборудования МФС-7, БАРС-3, ПОЖ-М, АДК «Призма», «Спектроскан» и принципов их работы;

подготовка оборудования к работе, проверка его работоспособности;

проведение под руководством преподавателя контроля и анализа эксплуатационных проб авиамасел;

формирование диагностических решений по результатам анализа авиамасел.

4.1. Общие сведения о магнитном анализе масел

Метод позволяет оценить степень износа деталей ГТД по величине массовой концентрации железа (Fe) в масле.

Сущность метода заключается в измерении усилия отрыва постоянного магнита, прикрепленного к концу стрелки прибора, от масляного пятна (1) (пробы) с частицами Fe, образованного фильтрацией масла через пористый материал - мембранный фильтр (рис. 4.2).

Анализ масла осуществляется по следующей технологии. С помощью устройства прокачки масло пропускают через мембранный фильтр. В отпечатке (1) отлагаются примеси частиц Fe, в результате чего магнитная восприимчивость пробы возрастает.

Масляный отпечаток с помощью прижимной планки закрепляется на предметном столике прибора ПОЖ-М. Оператор, закручивая пружину (3) крутильных весов, создает нарастающую силу, отрывающую магнит (2) от отпечатка. При этом стрелка (4) прибора перемещается по шкале (5), которая отградуирована в г/т. В момент отрыва магнита (2) от отпечатка (1) загорается сигнальная лампа, свидетельствующая о необходимости фиксации показания стрелки на шкале.

К преимуществам магнитного метода можно отнести оперативность проверки, транспортабельность оборудования. Недостатки – невозможность регистрации концентрации немагнитных материалов, невысокая достоверность показаний прибора.

Технология проведения анализа:

Производят отбор масла в емкость 250 мл.

Производят прокачку масла через фильтровальную бумагу.

Помещают отпечаток на предметный столик ПОЖ-М.

Перемещая стрелку прибора при помощи специальной ручки, фиксируют момент загорания лампочки.

Фиксируют показания прибора.

При повышенных концентрациях Fe масло направляется на дополнительные спектральные или другие виды анализов.

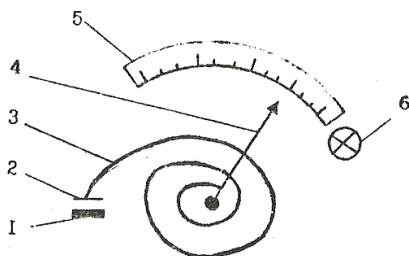


Рис. 4.2 . Принципиальная схема определения примесей Fe в масле:
1 – анализируемая проба (отпечаток); 2 – постоянный магнит;
3 – крутильные весы; 4 – стрелка; 5 – шкала прибора; 6 – сигнальная лампа

4.2. Общие сведения по эмиссионно-спектральному анализу

Назначение, устройство, принцип работы МФС-7.

Многоканальный фотоэлектрический спектрограф (квантометр) МФС-7 (рис.3.3) с автоматическим управлением и обработкой выходных данных предназначен для возбуждения эмиссионных спектров и регистрации аналитических сигналов спектральных линий различных элементов в работавших маслах.

В основу работы МФС-7 положен метод эмиссионно-спектрального анализа, использующий явление свечения газа исследуемого вещества в результате нагревания его до температуры выше 1000⁰С. В этих условиях газ-плазма излучает электромагнитные колебания волн в оптическом диапазоне спектра. В т.н. линейчатых спектрах атомов каждому элементу соответствует линия своей длины волны, отличающаяся цветом. Исследуя этот спектр, можно определить химический состав образующего его газа, а, следовательно, и состав анализируемой пробы.

Исследование спектра в установке производится путем выделения полихроматором аналитических спектральных линий, регистрации и автоматической обработки сигналов этих линий с помощью фотоэлектронных приемников излучения, а также регистрирующего и вычислительного устройств.

Интенсивность аналитических спектральных линий (мощность излучения единицы объема плазмы) связана с концентрацией соответствующих элементов в пробе. Эта концентрация определяется опосредованно через т.н. градуировочный график установки.



Рис. 4.3. Многоканальный фотоэлектрический спектрограф МФС-7

В установке МФС-7 проба подается в зону разряда (межэлектродный промежуток) вращающимся электродом, погруженным в ванночку с исследуемым маслом. Схема квантометра МФС-7 представлена на рис. 3.4.

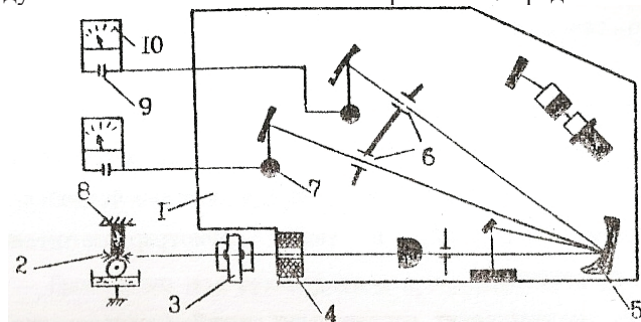


Рис. 4.4. Схема установки МФС-7:

- 1 – полихроматор; 2 – излучение разряда; 3 – растровый конденсор;
- 4 – входная щель; 5 – вогнутая дифракционная решетка; 6 – выходные щели; 7 – фотокатод; 8 – штатив; 9 – конденсатор; 10 – вольтметр

Излучение разряда (2) направляется через растровый конденсор (3) на входную щель (4) полихроматора (1) и далее на вогнутую дифракционную решетку (5). Дифракционная решетка разлагает излучение в спектр. Выходные щели (6) выделяют из спектра необходимые аналитические линии.

Выделенный поток излучения направляется на фотокатод фотоэлектрического умножителя (ФЭУ) (7). В результате электронной эмиссии в анодной цепи протекает ток, заряжающий конденсаторы (9). Напряжения, до которых заряжаются конденсаторы, пропорциональны усредненным значениям интенсивности аналитических сигналов, т.е. концентрации элемента в пробе.

Перевод аналитических сигналов в значения концентрации осуществляется с помощью упомянутого ранее градуировочного графика.

Определение содержания продуктов изнашивания в маслах методом «вращающегося дискового электрода» на МФС-7.

Сначала необходимо провести подготовку проб масла к анализу, для чего необходимо перемешать пробы в течение 0,5 ч на роторной мешалке.

После перемешивания проба отстаивается в течение 4-х минут для удаления пузырьков воздуха. Во избежание осаждения частиц пробу масла в процессе анализа рекомендуется встряхивать вручную каждые 10 минут в течение 30 секунд.

Далее с помощью шаблона устанавливают в штативе межэлектродный промежуток, равный 1,5 мм.

На генераторе ИВС-28 устанавливают ток дуги в пределах 4,5-5,0 А.

С помощью реостата устанавливают величину тока подмагничивания в пределах до 0,2А (0,14-0,16А).

Устанавливают на реле времени установки величины обжига 20 с и экспозиции 30 с.

Величину щели в полихроматоре устанавливают равной 0,035 мм.

Устанавливают скорость потока охлаждающего воздуха такой, чтобы поступающий воздух не сдувал пламя дуги, а масло не горело. Для этого на торце барашка вытяжного штуцера устанавливают 6-7 делений шкалы.

Подобрать положение переключателей питания ФЭУ в соответствии с рекомендациями в инструкции эксплуатации.

Устанавливают переключатели измерения и накопления в положение 2.

Включают установку в сеть.

Прогревают электронно-регулирующее устройство в течение двух часов для МФС-7 (выполняется заблаговременно).

Электроды закрепляют в штативе, при помощи встроенного шаблона проверить электродный промежуток.

Включают вентиляцию штатива.

Пятикратным сжиганием чистых угольных электродов приводят фотоумножитель и полихроматор в рабочее состояние (прогрев штатива).

Закрепляют в штативе новую пару чистых электродов и по шаблону устанавливают межэлектродный промежуток.

На подставку в штативе устанавливают ванночку с маслом.

Вращением винта подставки поднимают ванночку до соприкосновения дискового электрода с поверхностью масла и добавляют еще 0,5 оборота винта.

Производят сжигание масла при времени обжига 20 с и экспозиции 30 с. Результаты распечатки записывают в таблицу.

По градуировочному графику (выдается преподавателем) среднеарифметические величины результатов измерений в милливольтках переводятся в концентрации соответствующих элементов в г/т (грамм на тонну) и фиксируются в табличной форме.

На основании бюллетеней и норм формируется вывод о дальнейшей эксплуатации двигателя.

4.3. Краткие сведения по рентгенофлуоресцентному анализу масел.

Этот вид анализа получил широкое распространение в ГА. Метод отличается оперативностью и невысокой погрешностью (в пределах до 8 %). В настоящее время используется целая гамма сертифицированного оборудования для проведения рентгенофлуоресцентного анализа масел: «Призма», «Спектроскан», БРА-17, БАРС-3. Перечисленная аппаратура положительно зарекомендовала себя на практике и включена в бюллетени. Для каждого типа двигателя применяется свой тип оборудования.

Устройство и принцип работы БАРС-3

В основу работы БАРС-3 (рис.4.5) положен принцип возбуждения и регистрации интенсивности характеристического флуоресцентного излучения химических элементов, входящих в состав пробы масла. Эта интенсивность находится в пропорциональной зависимости от концентрации элемента. Флуоресцентное излучение возбуждается рентгеновскими лучами. Кванты вторичного излучения преобразуются в импульсы напряжения, скорость поступления которых измеряется и выводится на индикаторное табло.



Рис. 4.5. Внешний вид анализатора БАРС-3

Характеристическое излучение – это квантовое излучение с линейчатым спектром, возникающее при изменении энергетического состояния атома. Длина волны характеристического излучения зависит от атомного номера химического

элемента и уменьшается по мере его возрастания. Явление флуоресценции связано с переходом атомов, молекул или ионов из возбужденных состояний в нормальное состояние.

Структурная схема прибора БАРС-3 представлена на рис. 4.6.

Конструктивно анализатор БАРС-3 состоит из двух основных частей: спектрометрической головки и пульта управления, соединенных кабелем.

В спектрометрической головке расположены блок питания рентгеновской трубки и детекторов, рентгеновская трубка БХ-3 (1), регулирующие транзисторы (3) и согласующая плата (2).

К рентгеновской трубке присоединяются сменные блоки, каждая из которых содержит 4 измерительных канала, состоящих из рентгеновского фильтра (14) и излучателя (13), пропорционального счетчика (12) и предусилителя импульсов (11).

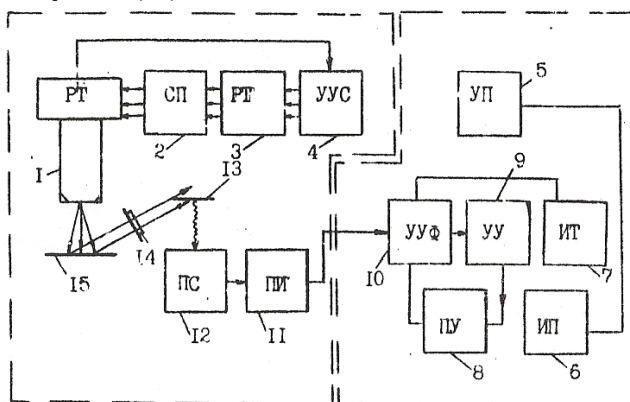


Рис. 4.6. Структурная схема БАРС-3:

1 – рентгеновская трубка; 2 – согласующая плата; 3 – регулирующие транзисторы; 4 – устройство усилителей стабилизации; 5 – устройство преобразователей; 6 – источник питания; 7 – индикаторное табло; 8 – пересчетное устройство; 9 – устройство управления; 10 – устройство усилителей-формирователей; 11 – предусилитель импульсов; 12 – пропорциональный счетчик; 13 – излучатель; 14 – фильтр; 15 – образец

Пульт управления конструктивно состоит из нескольких блоков. В одном из блоков размещен сетевой блок питания (6), а в другом – коммутационная плата пульта управления со следующими устройствами:

- устройство пересчетное (8);
- устройство усилителей-формирователей (10);
- устройство управления (9);
- устройство усилителей стабилизации (4);
- устройство преобразователей (5).

Рентгеновским излучением возбуждается вторичное характеристическое излучение атомов химических элементов, имеющих в пробе масла (15).

Кванты этого излучения преобразуются пропорциональным счетчиком (12) в импульсы напряжения, которые усиливаются и подаются в устройство усилителей-преобразователей (10) и далее через устройство управления (5) на пересчетное устройство (8), с помощью которого происходит измерение количества импульсов, поступивших в течение заданного времени (64 с). Информация об этом выводится на индикаторное табло (7).

На передней панели пульта управления расположены: цифровое индикаторное табло, переключатели «каналы», кнопки «Пуск», «Сброс», «Индикация», «Экспозиция»; светодиоды индикации напряжения питания «Высокое напряжение», «Питание вкл. – заблокировано».

Подготовка анализатора к работе.

Включают прибор в сеть, тумблер «Сеть-Аккумулятор» устанавливают в положение «Сеть», прогревают анализатор в течение 30 минут.

Переключателем «Каналы» включают 1-й канал (Fe).

Проверяют шумы спектрометрических головок, для чего:

устанавливают кнопкой «Эксп» время экспозиции 16 с;

включают 1 канал;

кратковременно нажимают кнопку «Пуск», при этом светодиод должен загореться (если светодиод не начнет светиться, то кнопкой «Сброс» включают «Высокое» и повторяют запуск);

измеряют и записывают величину импульсов на 1 канале;

производят измерение и записывают величину импульсов в остальных каналах. Пауза между измерениями должна быть около 5 с. Шум спектрометрических головок не должен превышать 100-200 импульсов.

Проверяют стабильность набора импульсов, для чего:

протирают экран держателя и задвигают его в приставку до ограничителя;

устанавливают кнопкой «Эксп» время экспозиции 64 с;

включают 1 канал;

нажимают кнопку «Пуск»; при этом должен загореться светодиод «Высокое»;

измеряют и записывают величину импульсов (проделать эту процедуру 4 раза с паузами в 5 с);

аналогично измеряют и записывают величину импульсов на 2, 3, 4 каналах (расхождение в показаниях набора счета импульсов не должно превышать 2% от среднего значения).

Анализ пробы масла.

Пробы устанавливаются на мешалке роторного типа, перемешиваются в течение 1 часа, после чего им дают отстояться 4 минуты и приступают к изготовлению образцов-излучателей (т.н. сухая масляная проба).

Масло заливается в стакан устройства для протяжки масла через мембранный фильтр «Владипор». Включается вакуумный насос и

осуществляется прокачка масла через фильтр (при необходимости масло разбавляют бензином). Полученный отпечаток просушивается 1,5-2 минуты.

Из каждой дозы масла изготавливается 3 сухих масляных пробы.

С каждого образца-излучателя снимается по три замера набора скоростей счета импульсов с последующим их усреднением.

Усредненное значение скоростей счета импульсов наносится на градуировочный график (выдается преподавателем) и считывается соответствующее значение концентрации элемента. Данные заносятся в таблицу.

Формируется заключение о дальнейшей эксплуатации двигателя.

Рекомендуемая литература

1. Машошин О.Ф. Диагностика АТ. Учебное пособие. – М.: МГТУГА, 2007.
2. Пивоваров В.А., Хрустиков С.Г., Коротков В.А. Диагностика повреждаемости авиационных конструкций. Учеб. пособие. - М.: РИО МГТУ ГА, 2009.
3. Пивоваров В.А., Машошин О.Ф., Хрустиков С.Г., Санников А.В. Диагностика и неразрушающий контроль летательных аппаратов и авиадвигателей. Учеб. пособие. - М.: РИО МГТУ ГА, 2011.

Значения функции Лапласа $\Phi(z)$

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	,0000	,0040	,0080	,0120	,0160	,0199	,0239	,0279	,0319	,0359
0,1	,0398	,0438	,0478	,0517	,0557	,0596	,0636	,0675	,0714	,0753
0,2	,0793	,0832	,0871	,0910	,0948	,0976	,1026	,1064	,1103	,1141
0,3	,1179	,1217	,1255	,1293	,1331	,1368	,1406	,1443	,1480	,1517
0,4	,1554	,1591	,1628	,1664	,1670	,1736	,1772	,1808	,1844	,1079
0,5	,1915	,1950	,1985	,2019	,2054	,2088	,2123	,2157	,2190	,2224
0,6	,2257	,2291	,2324	,2357	,2389	,2422	,2454	,2486	,2517	,2549
0,7	,2580	,2611	,2642	,2673	,2703	,2734	,2764	,2794	,2823	,2852
0,8	,2881	,2910	,2939	,2967	,2995	,3023	,3051	,3078	,3106	,3133
0,9	,3159	,3186	,3212	,3238	,3264	,3289	,3315	,3340	,3365	,3369
1,0	,3413	,3438	,3461	,3485	,3508	,3531	,3554	,3577	,3599	,3621
1,1	,3643	,3665	,3686	,3708	,3729	,3749	,3770	,3790	,3810	,3830
1,2	,3849	,3869	,3888	,3907	,3925	,3944	,3962	,3980	,3997	,4015
1,3	,4032	,4049	,4066	,4082	,4099	,4115	,4131	,4147	,4162	,4177
1,4	,4192	,4207	,4222	,4236	,4251	,4265	,4279	,4292	,4306	,4319
1,5	,4332	,4345	,4357	,4370	,4382	,4394	,4406	,4418	,4429	,4441
1,6	,4452	,4463	,4474	,4484	,4495	,4505	,4515	,4525	,4535	,4545
1,7	,4554	,4564	,4573	,4582	,4591	,4599	,4606	,4616	,4625	,4633
1,8	,4641	,4649	,4656	,4664	,4671	,4678	,4686	,4693	,4699	,4706
1,9	,4713	,4719	,4726	,4732	,4738	,4744	,4750	,4756	,4761	,4767
2,0	,4772	,4773	,4783	,4788	,4793	,4798	,4803	,4808	,4812	,4817
2,1	,4821	,4826	,4830	,4834	,4838	,4842	,4846	,4850	,4854	,4857
2,2	,4861	,4864	,4868	,4871	,4875	,4878	,4881	,4884	,4887	,4890
2,3	,4893	,4896	,4898	,4901	,4904	,4906	,4909	,4911	,4913	,4916
2,4	,4916	,4920	,4922	,4925	,4927	,4929	,4931	,4932	,4934	,4936
2,5	,4938	,4940	,4941	,4943	,4945	,4946	,4946	,4949	,4951	,4952
2,6	,4953	,4955	,4956	,4957	,4959	,4960	,4961	,4962	,4963	,4964
2,7	,4965	,4966	,4967	,4968	,4969	,4970	,4971	,4972	,4973	,4974
2,8	,4974	,4975	,4976	,4977	,4977	,4978	,4979	,4979	,4980	,4981
2,9	,4981	,4982	,4982	,4983	,4984	,4984	,4985	,4985	,4986	,4986

z	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
$\Phi(e)$,4988	,4990	,4993	,4995	,4997	,4998	,4998	,4999	,4999	,5000

Содержание

	Стр.
Практическое занятие №1	3
Практическое занятие №2	10
Лабораторная работа №1	17
Лабораторная работа №2	24
Рекомендуемая литература.....	34
Приложение 1	35