



## Совершенствование Метода Технической Диагностики Авиационных Двигателей С Использованием Статистической Математики

Э. О. НОРКУЛОВ

Старший Преподаватель Высшее Военное Авиационное Училища Республики Узбекистан

Received 27<sup>th</sup> Oct 2021, Accepted 5<sup>th</sup> Nov 2021, Online 18<sup>th</sup> November 2021

Мақолада математик статистика ва эҳтимоллар назариясини қўллаган ҳолда тажрибалар натижаларига ишлов берилган, шу методика ёрдамида мураккаб техник тизимларнинг техник ҳолатига баҳо бериш билан энг оптимал учиб режими белгиланган шу асосида кейинги рейслар учун техник ҳолатига прогноз бериш амалга оширилган.

**Калит сўзлар:** двигатель; мураккаб техник тизимлар; ишочилик интервали; диагностика; бош танлов; data mining; парвоз маълумотлари.

Техническая диагностика двигателя, как работа по поддержанию ресурса сложных технических систем (СТС) непосредственно связано с математической статистикой и теорией вероятностью (МС и ТВ).

Задачей технической диагностики является – используя достижения современной науки и техники не разбирая объект диагностики на узлы и элементы проверить его техническое состояние (ТС), уровень лётной годности (ЛГ) на будущее использование по назначению.

Часто ресурс двигателя и его систем ограничены, невозможно проводить сбор статистических данных работ двигателя в большом объёме, так как требует много временных ресурсов и трудозатрат.

Долгосрочные исследования и проверки важна для конструкторских доработок, кроме того удобны для стендовых испытаний. При оперативном обслуживании для эксплуатантов в виду ограниченности временного ресурса авиационной техники (АТ) вне аэродромах базирования, такие методы не приемлимы и было разработано новый метод диагностики ТС газотурбинного двигателя (ГТД). Применяв эту методику прогностики за короткое время с малыми трудозатратами можно получить инженерную оценку диагностируемого объекта (ДО), на основе оценки будет вырабатываться технические рекомендации для поддержания авиационной техники (АТ) в исправном состоянии.

В условиях северных широт погодные условия постоянны или изменяется постепенно с переходными циклами, такие условия помогает характеристикам двигателя быть в стабильных значениях, но в условиях резкоконтинентального изменения условий погоды, и в условия географического расположения аэродрома в запыленной зоне усложняет поддержание АТ и его характеристик ЛГ в стабильном уровне без изменений, тем самым усложняет эксплуатацию АТ и его систем.

Такие случаи, приводят к преждевременному изнашиванию и выведения из строя узлов, и частей двигателя, в этом ряду можно отметить

эрозию лопаток компрессора (износ, усталость из-за высоких напряжений) к которым приводят условия запыленности и резкие изменения климатических условий.

Поэтому те агрегаты и составные части имеющие ограниченные ресурсы (высоко технологичный процесс производства) часто требует ремонта и замены, этот процесс восстановления и профилактическое техническое обслуживание (ТО) приводят к завышению эксплуатационных расходов, т.е. имеющие отдельные ограниченные ресурсы ТС за период эксплуатации несколько раз проходить, текущий, средний и капитальный ремонт. Такие обстоятельства вынуждают увеличивать расходы на поддержание исправности АТ, что не всегда оправдано [1].

На основе этих исследований, для повышения надежности ЛА, а также для понижения эксплуатационных расходов и получении экономического эффекта мы находим форму эксплуатации АТ по ТС на сегодня для условий Узбекистана самым оптимальным.

Нам необходимо принять важную форму такой эксплуатации где можно повысить эффективность поддержания ЛГ комплексно, изучив современные методы нами было обращено внимание на метод Data mining модель применяемый в области экономики и предлагаем современную метод адаптировать в авиационную технику [2]. Применение этой модели в диагностировании и оценке ТС АТ является дополнительным информационным пространством для получения важнейших признаков прогнозирования ТС ГТД.

В нахождении альтернативных источников информации, используемые штатные и вновь устанавливаемые мобильные системные датчики выдают информацию о ТС ГТД. Эти полётные данные собираются, обобщаются, затем систематизируются для математической обработки.

В процессе обработки формируются признаки будущих развивающихся отказов для оценки ТС авиационного ГТД.

Известно, что при диагностировании технического состояния ТС используется несколько современных общеизвестных методик диагностики:

известный и наиболее распространенный способ, параметрическая диагностика – допусковый контроль путём измерения величин параметров двигателя;

тестирование диагностического объекта (ДО)–применяется сигналы иницирования работы выбранного контролируемого объекта диагностики для получения результата годен или не годен.

Вышеотмечанные методы являются параметрическими и они сегодня также имеют свою актуальность в построении систем контроля.

Нужно отметить что, известные методы не могут предотвратить медленно развивающиеся неисправности и отказы. Они могут дать картину текущего состояния двигателя, но прогнозировать на предстоящие рейсы этих методов недостаточно.

Когда в авиации Узбекистана АТ используется по ТС, определения его дальнейшего ресурса является очень важным аспектом и необходимо более качественный и достоверный контроль всех узлов авиационного двигателя.

Качество технической диагностики объекта выражается такими качествами как глубина и точность диагностирования.

Поэтому предлагается новый комбинированный метод диагностики, где используется данные штатного и нештатного оборудования, т.е. съёмные измерители согласно модели Data mining.

В нашем случае предлагается измерители вибрации двигателя, так как вибрация является важным фактором и наиболее информативен согласно проведенной экспертной оценки, где было отмечено что, в процессе динамических малозаметных изменений нормальной работы двигателя явно влияют или иметь зависимость на общий показатель механического колебания двигателя.

И так при воздействии факторов на ДО каждый датчик:

$D1: x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ,  $D2: x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ,  $D3: x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ,  $D4: x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ,  $D5: x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  выдает дискретные случайные значения о характере структурного элемента (детали и другие агрегаты) ДО и которые преобразуются в сообщающие электрические сигналы об изменениях технических характеристик (ГТД) [3, 4].

Предлагается комбинированный метод где, сигналы штатных датчиков и вновь устанавливаемого съёмного датчика вибрации (сейсмического модуля) на СТС комбинируется как единое целое, заполняя тем самым ту недостаточность которая была бы необходимо для оценки ТС на будущие полёты.

Комбинация сигналов датчиков бортового оборудования предназначено для получения сигнала исправности или соответствия техническим требованиям всех элементов целого агрегата.

Тогда, сумму потока информации (коплекса) от поступающих одинаковых датчиков измерителей в математической статистике называют главным множеством  $x$ , в таком случае мы применим для обработки поступающих сигналов классический метод - математическая статистика и теория вероятности (МС и ТВ) [4].

Для прогнозирования отклонения важнейших параметров ГТД от оптимальных режимов работы двигателя можно сделать отбор главного множества  $x$  и среди множеств выбирается

ограниченная выборка  $X$  где, должно выполняться условие  $x > X$ .

При ограниченных статистических характеристиках ГТД применение численного метода может привести к грубым ошибкам.

Эти ограниченные наблюдения находятся на известных интервалах с достоверностью  $\gamma=0,95$ ;  $\gamma=0,99$  и  $\gamma=0,999$  и помогает оценивать правильность распределения вибрационных параметров как важной составляющей характеристики ГТД, т.е. дать оценку ДО или его главному множеству. По этой причине мы будем применять оптимальный метод для нашего ограниченного условия – так называемый в МС и ТВ метод интервальной оценки.

Сущность интервальной оценки состоит в определении (по данным наблюдения, выборки) такого числового интервала, относительно которого, с

заранее установленной вероятностью правильности суждения, можно заключить, что внутри этого интервала находится истинное значение оцениваемого параметра.

В нашем случае применяется вариант интервальной оценки, который носит название доверительного интервала.

Интервальная оценка – это оценка концами интервалов (промежутка) двух чисел (строится в форме двух неравенств).

По этой причине, в источнике [5] где параметр прямого измерения - скорость вибрации ГТД приводится к эмпирической функции для оценки ТС в условиях запыленной местности как важнейшего фактора износа проточной части двигателя и здесь мы используем этот фактор для построения методики интервальной оценки оптимального рабочего состояния двигателя в наших условиях.

Скажем, объектом исследования принимаем газотурбинный двигатель (ГТД) военно-

транспортного вертолёта Ми-8МТВ. Где выделим главный множество  $x$  из возникающих физико-механических процессов, сделаем выборку  $X$  которая имеет некоторые характеристики распределения, т.е. наблюдаемые варианты ( $x > X$ ).

Нам известно что, при условии чем меньше  $|\bar{x} - \alpha|$  т.е. в данной условии если  $\delta > 0$  и  $|\bar{x} - \alpha| < \delta$  то, оценка параметра  $\alpha$  будет тем точнее.

Здесь  $\gamma$  - показатель достоверности полученных результатов измирений случайных событий, часто определяются числами 0,95, 0,99 и 0,999.

В таком случаи, точность  $\delta$  случайного события  $\bar{x} - \alpha$  определяется вероятностным показателем достоверности события  $\gamma$  и выражается

$$P \quad \{|\bar{x} - \alpha| < \delta\} = \gamma \quad (1)$$

$\bar{x}$  -среднее значение случайных событий, показателей выборки (параметров вибрации двигателя);

$\alpha$  – неизвестный параметр;

$\delta$  – точность оценки статистических характеристик найденной по данным выборки или неизвестного параметра  $\alpha$  где, определяется отношением  $\frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}} = \delta$ .

Выражение (1) это условие когда, определения границ параметров т.е. интервалов (промежутков) дискретных сигналов приближается к показателям достоверности или как выражается покрывается показателями достоверности.

Неизвестный параметр покрывающий с данной  $\gamma$  достоверностью –называется интервалом ( $\alpha - \delta$ ;  $\alpha + \delta$ ) достоверности.

Теперь, для решения возникающих отрицательных воздействий и продления ресурса двигателя поддержанием необходимых рабочих

режимов в географических условиях Узбекистана рассмотрим динамические режимы работы ГТД вертолёта Ми-8.

Исследуется деградация показателей скорости вибрации при интенсивных механических воздействиях при наработке двигателя Т=2000-2500 часов.

На вертолёте Ми-8 с бортовым номером № 17 в ходе исследования провидено более  $n \approx 100$  часов полёта и для упрощения данные результатов наблюдений или эмпирические данные приводятся в табличный вид (табл. 1, вибрация мм/сек).

**Таблица 1:** Результаты эмпирических данных (вибрация мм/с)

<b>варианты</b> $x_i$ (мм/с)	6	8	12	14	18	23	24	25
<b>частоты</b> $n_i$ (h) наблюдения	1	5	11	20	25	16	7	1

Перед тем как определить интервал оценки нормальных распределений случайных событий необходимо определить достоверность  $\gamma$  ( $\gamma = 0,95$ ).

С помощью средних значений вибрации за период эксплуатации ТС вертолёта будет прогнозироваться с достоверностью 95%, из них 5% ожидаемая возможная ошибка прогнозирования события  $X$ .

Промежуток наблюдений за время полётов постоянная и составляет  $\tau = 40$  мин.

Далее, для упрощения вычисления составим таблицу вычисления (табл. 2):

- 1) на первый столбец подставим варианты;
- 2) на вторую число наблюдений;
- 3) в третье подставим результат произведения варианты и частоты;
- 4) в четвертую значения квадратов варианты;

- 5) на пятую подставляем произведения подходящих значений квадрата варианты и частот;
- 6) снизу таблицы подставим сумму всех подходящих на столбцах чисел. двигателя (ГТД).

### Литература

1. Биргер И.А. Техническая диагностика И.А. Биргер.– М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.;
2. <http://statistica.ru/local-portals/data-mining/>(дата обращения 12.07.2019 год);
3. Гмурман В.Е. Эҳтимоллар назарияси ва математик статистика Т.: Ўқитувчи, 1977-368 б.;
4. Абдалимов Б. Олий математика: Аграр университет ва қишлоқ хўжалиги Олий ўқув юртлари учун дарслик. – Т.: Ўқитувчи, 1994.-368 б.
5. Туганов Г.Ш., Махмудов Н.А., Эралиев А.П., Техник тизимларни назарий баҳолашда танланма тақсимотнинг эмпирик функциясидан фойдаланиш ЎР ҚК Академияси Хабарлари 3(31)/2019. 202-209 б.