

Обоснование мест установки датчиков при диагностировании технического состояния главного редуктора вертолета

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Обоснованы места установки датчиков вибрации при контроле технического состояния главного редуктора вертолета. Определены диагностические ценности признаков, позволяющие уменьшить объем и время выполнения работ при контроле технического состояния.

Ключевые слова: главный редуктор, диагностический признак, уровень вибрации.

В условиях истечения ресурсных показателей авиационной техники актуальной является задача обеспечения требуемого уровня исправности и безопасности полетов. Одним из наиболее эффективных мероприятий в этих условиях является проведение модернизации авиационной техники с последующим переходом на эксплуатацию по техническому состоянию. Реализация технических решений при проведении модернизации позволит обеспечить требования надежности и безопасности полетов.

Особенно остро в настоящее время стоит вопрос оценки технического состояния вертолетного парка, а именно наиболее ответственного агрегата – главного редуктора.

Выполненный анализ научной литературы свидетельствует о том, что для оценки и контроля технического состояния авиационных редукторов и двигателей может быть использован вибрационно-диагностический метод [1 – 4]. При этом результаты контроля, полученные с помощью данного метода, могут быть использованы в качестве исходных данных для определения технического состояния главного редуктора вертолета.

Цель данной работы - разработка подхода к определению мест установки датчиков при контроле технического состояния главных редукторов вертолетов Ми - 8МТ (Ми - 14), основанного на использовании теории информации.

Методический подход

При измерениях вибрации главного редуктора вертолета для получения массива значений уровня вибрации по информационным полосам диагностируемых узлов согласно рекомендациям, приведенным в работах [5 - 7], точки контроля выбирают максимально близкими к источнику вибрации.

Однако получение диагностической информации с использованием указанного подхода требует значительных затрат времени на проведение работ и выполнение обработки статистической информации. Для снижения объема статистической информации и повышения ее информативности воспользуемся работами [8, 9] и определим диагностическую ценность признаков при контроле состояния главного редуктора.

Каждое состояние редуктора соответствует определенной совокупности параметров и может быть описано конкретной реализацией комплекса признаков $K = (k_1^*, k_2^*, \dots, k_j^*, \dots, k_n^*)$. При проведении диагностики область возможных значений измеряемого параметра – виброускорения разобьем на интервалы, и

для каждого из интервалов установим значение признака состояния. Установка датчиков в контрольных точках позволяет измерить виброускорение, провести в последующем замену на признаки, каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние редуктора.

Выбор точки установки датчика обеспечивается путем определения диагностической ценности признаков $k_1, k_2, \dots, k_j, \dots, k_n$ при распознавании диагнозов $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_m$. Каждому k -му признаку будет соответствовать значение уровня виброускорения в конкретной контрольной точке. Диагностическая ценность признака определяется информацией, которая вносится в систему состояний.

Проведенный анализ структурной схемы позволил выявить основные источники вибрации главного редуктора, к которым относятся следующие детали: валы, зубчатые передачи, а также подшипниковые опоры. В последующем это позволило определить места установки пьезопреобразователя.

Согласно рекомендациям ГОСТ 20815-93, ДСТУ 3163-91, ДСТУ 3160-95 по измерению вибрации машин, а также работ посвященных назначению контрольных точек измерения вибрации машинного оборудования [10 - 12] было определено расположение на главном редукторе датчиков для замера уровня вибрации (рис 1).

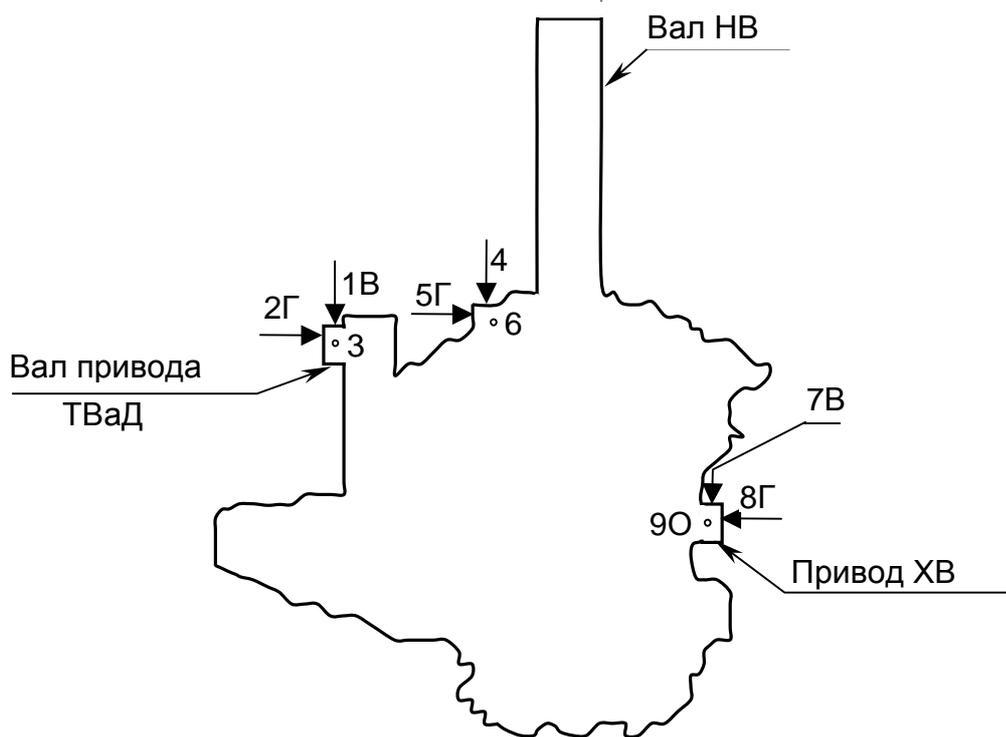


Рис. 1. Схема расположения точек измерения вибрации на главном редукторе

Установка вибропреобразователя в указанных точках позволяет проводить контроль и измерение виброускорения в трех взаимно перпендикулярных направлениях:

- в вертикальном направлении (В) на приводе вентилятора - точка 1В, на планетарной ступени - точка 4В, на приводе хвостового вала - точка 7В;

- в горизонтальном направлении (Г) на приводе вентилятора - точка 2Г, на планетарной ступени - точка 5Г, на приводе хвостового винта - точка 8Г;
- в осевом направлении (О) на приводе вентилятора - точка 3О, на планетарной ступени - точка 6О, на приводе хвостового винта - точка 9О.

Результаты исследований

Пример результатов проведенных замеров виброускорений на приводе вентилятора в контрольных точках 1В и 2Г показан на рис. 2 в виде спектрограмм третьоктавной и узкополосной вибрации, полученных с помощью виброизмерительного оборудования фирмы "Брюль и Кьер".

Полученные спектрограммы вибрации (рис. 2) позволяют установить значения вибрации, возбуждаемой зубчатыми зацеплениями и подшипниковыми узлами, в полосах частот от 400 до 600 Гц для зубчатых зацеплений и соответственно в диапазонах от 3 до 3,5 кГц и от 6 до 6,5 кГц для подшипниковых узлов.

Уровни виброускорения в контрольных точках были приняты как диагностические признаки. При этом оценивалась чувствительность измерительной точки к изменению уровня вибрации главного редуктора в эксплуатации. При исследовании было отдано предпочтение двухразрядному (простому) признаку, который выражается двоичным числом:

- 1 – соответствует интервалу изменения виброускорения между измерениями на

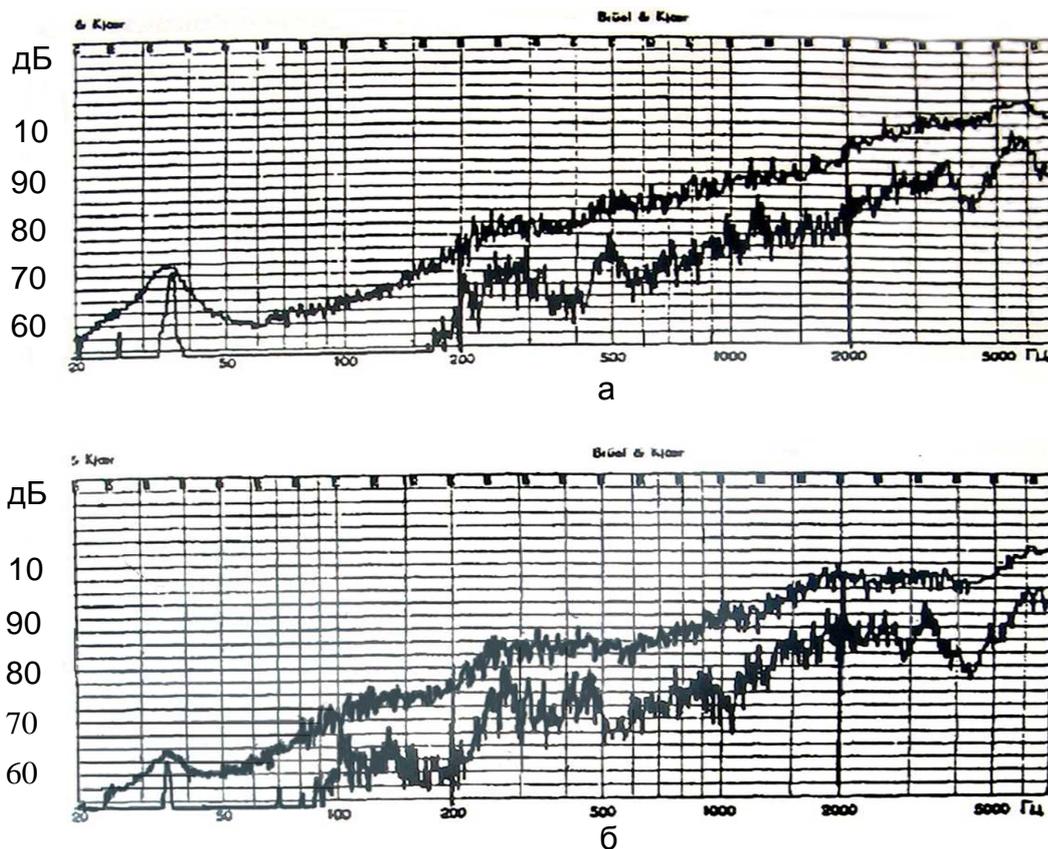


Рис. 2. Спектры третьоктавной и узкополосной (3%) вибрации привода вентиляторной установки главного редуктора вертолета:
а - горизонтальное направление (точка 2Г);
б - вертикальное направление (точка 1В)

1 дБ;

0 – соответствует уровням менее 1 дБ.

Таким образом, если k_j – простой признак состояния D_i главного редуктора, то его значения будут соответственно обозначать:

$k_j = 1$ – приращение уровня виброускорения между измерениями более 1 дБ, что свидетельствует о чувствительности точки измерения;

$k_j = 0$ – приращение между измерениями виброускорения менее 1 дБ.

Для определения диагностической ценности признаков были проведены измерения уровня виброускорения в девяти контрольных точках.

Анализ статистической информации дефектов и неисправностей, которые наиболее часто встречаются в эксплуатации, позволил установить наиболее частые диагнозы:

- дисбаланс валов;
- питтинг, выкрашивание рабочей поверхности зубьев зубчатых передач;
- выкрашивание поверхности подшипников качения.

В результате обработки результатов измерений получены следующие статистические данные, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1
Статистические данные диагностики главных редукторов (ГР)

D_i	№ ГР	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9
D_1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	0	0	1	0
D_2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
	2	0	0	0	1	1	1	0	0	1
	3	1	0	0	0	1	0	0	1	0
	4	1	1	0	0	1	1	0	0	0
	5	1	0	1	1	0	1	1	0	0
D_3	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
	2	1	0	0	0	1	1	1	0	1
	3	0	1	0	1	0	0	0	1	0
	4	1	0	0	0	0	1	1	0	1
	5	1	0	0	0	0	1	1	1	0
	6	0	1	1	1	1	0	0	1	1
	7	0	1	1	1	0	0	1	1	0

Проведение исследований на 15 главных редукторах по трем наиболее вероятным диагнозам с применением простых диагностических признаков

позволило установить, что с диагнозом D_1 обнаружено три редуктора, с диагнозом D_2 - пять редукторов и с диагнозом D_3 - семь редукторов.

Авторами работ [8, 9] предложено определять диагностическую ценность для простого признака как

$$Z_{D_i}(k_j) = P(k_j/D_i) \cdot \log_2 \left[P(k_j/D_i) / P(k_j) \right] + \left[1 - P(k_j/D_i) \right] \cdot \log_2 \frac{1 - P(k_j/D_i)}{1 - P(k_j)}, \quad (1)$$

где $P(k_j/D_i)$ – вероятность появления признака k_j для главных редукторов с диагнозом D_i ;

$P(k_j)$ – вероятность появления признака k_j у всех главных редукторов с диагнозами $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_m$.

Наибольшую диагностическую ценность имеют исследования по признакам, которые при диагнозе D_i встречаются часто: $P(k_j) \rightarrow 1$, редко: $P(k_j) \rightarrow 0$ или, наоборот, по признаку k_j , встречающемуся при диагнозах $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_m$, редко: $P(k_j/D_i) \rightarrow 0$, а часто: $P(k_j/D_i) \rightarrow 1$. В случае совпадения $P(k_j)$ и $P(k_j/D_i)$ исследование не имеет диагностической ценности.

Проведение исследований по оценке различных возможных состояний главного редуктора, которые характеризуются диагнозами с помощью признаков $k_1, k_2, \dots, k_j, \dots, k_n$, позволяет определить частную диагностическую ценность признаков $P(D_i)$ при диагнозах $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_m$.

Общая диагностическая ценность исследования по признаку k_j для всех возможных диагнозов определяется следующим образом:

$$Z_D(k_j) = \sum_{i=1}^m P(D_i) \cdot Z_{D_i}(k_j), \quad (2)$$

где $P(D_i)$ – частная диагностическая ценность признаков при диагнозах D_i .

Использование выражения (1) позволило провести расчет значений частной диагностической ценности признаков при диагнозах главного редуктора D_1, D_2 и D_3 . На основе полученных результатов и выражения (2) была определена общая диагностическую ценность обследования по признаку k_j для всей системы диагнозов D_1, D_2, D_3 . Результаты расчетов частной и общей диагностической ценности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Общая диагностическая ценность признаков

k_j	$Z_{D_1}(k_j)$	$Z_{D_2}(k_j)$	$Z_{D_3}(k_j)$	$P(k_j)$	$Z_D(k_j)$
1	0,209	0,132	0,014	0,60	0,213
2	0,053	0,013	0,117	0,47	0,085
3	0	0,063	0,084	0,33	0,049
4	0,117	0,013	0,003	0,47	0,062
5	0,053	0,013	0,003	0,53	0,037
6	0,117	0,223	0,003	0,53	0,183
7	0,053	0,013	0,117	0,47	0,085
8	0,013	0,117	0,184	0,6	0,189
9	0	0,063	0,084	0,33	0,049

Оценка общей диагностической ценности признаков k_1, \dots, k_9 при диагнозах D_1 , D_2 и D_3 показывает, что все значения $Z_{D_i}(k_j)$ находятся в диапазоне 0,164 ... 0,223. При этом максимумы можно отметить $Z_D(k_1)=0,212$ для признака k_1 , $Z_D(k_8)=0,189$ для признака k_8 и $Z_D(k_6)=0,183$ для признака k_6 , а минимумы $Z_D(k_3)=Z_D(k_9)=0,049$ для признаков k_3 и k_9 , а также $Z_D(k_5)=0,037$ для признаков k_5 .

Выводы

1. Предложенный в работе подход с использованием теории информации позволяет сократить время, которое затрачивается на проведение диагностирования главного редуктора без снижения диагностической ценности признаков при определении технического состояния главного редуктора.

2. При контроле технического состояния редуктора с использованием общей ценности диагностических признаков установлено, что наибольшей информативностью обладают признаки k_1 , k_6 и k_8 . Полученный результат свидетельствует о целесообразности проведения измерений уровней вибрации главного редуктора вертолета в точках 1В, 6О и 8Г. Установка датчика в указанных точках позволяет получить максимум информации об изменении уровня вибрации и уменьшить время диагностирования главного редуктора вертолета.

Список литературы

1. Карасев В.А. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей / В.А.Карасев, В.П. Максимов, М.К. Сидоренко. – М.: Машиностроение, 1978. – 132 с.
3. Володко А.М. Автоматизированный мониторинг работоспособности и применения зарубежных вертолетов / А.М. Володко // Проблемы безопасности полетов. – М.: ВИНТИ. – 2003. – № 4. – С. 3-48.
4. Егоров И.В. Прогнозирование технического состояния турбомашин методами трендового анализа параметров / И.В. Егоров, П.А. Бобович,

А.Т.Нуруллаев // Конверсия в машиностроении. – 2005.– С. 128-132.

4. Тырсин А.Н. Определение динамических характеристик элементов ГТД по спектру вибросигнала / А.Н. Тырсин // Авиационная техника. – Казань. КГТУ, 2005. – №3. – С. 78-80.

5. Явленский А.Н. Приборные шариковые подшипники / А.Н. Явленский, В.Н.Нарышкина, Е.Е.Чадаева – М.: Машиностроение, 1981. – 310 с.

6. Вибрация и шум электрических машин малой мощности / Л.К.Волков, Р.Н.Ковалев, Г.Н. Никифорова и др. - Л.: Энергия, 1979. – 206 с.

7. Сидоров Е.Е. Техника шумов и вибрации. Часть 1. Снижение вибрации и машин / Е.Е. Сидоров.– М.: Моск. горн. инст-т, 1971. – 102 с.

8. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер.– М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

9. В.Б. Курочкин В.Б. Диагностическая ценность признаков состояния винтовых компрессорных установок / В.Б. Курочкин // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- 2008.- №3(13).- С . 59-62.

10. ДСТУ 3160-95 Компресорне обладнання. Визначення вібраційних характеристик. Загальні вимоги. – Увед. 01.07.1996. – Київ: Держстандарт України, 1996. – 11 с.

11. ISO 2373-87 Механические вибрации некоторых вращающихся электрических машин с высотой вала от 80 до 400 мм. Измерение и оценка интенсивности вибрации. – Введ. 01.06.87. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 6 с.

12. ISO 3945-85. Вибрация механическая больших вращающихся машин с диапазоном частот вращения от 10 до 200 об/с. Измерение и оценка интенсивности вибрации на месте. – Введ. 15.12.85 – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 9 с.

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. О.Б. Леонтьев, Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков.

Поступила в редакцию 07.06.10

Обґрунтування місць встановлення датчиків при діагностуванні технічного стану головного редуктора вертольота

Обґрунтовано місця встановлення датчиків вібрації при контролі технічного стану головного редуктора вертольота. Визначено діагностичні цінності ознак, що дозволяють зменшити обсяг і час виконання робіт при контролі технічного стану.

Ключові слова: головний редуктор, діагностична ознака, рівень вібрації.

Feasibility of sensors installation during check of helicopter main gear box operational status

Sensors places of installation during check of helicopter main gear box operational status are substantiated. Diagnostic importance of features allowing to decrease scope of work and time of work execution during check of helicopter main gear box operational status is determined.

Keywords: main gear box, diagnostic feature, vibration level.