

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Контроль и диагностирование технического состояния
ГТД с помощью бортовой аппаратуры вибрации**

Электронные методические указания
к лабораторным работам

САМАРА
2010

УДК 534.647:629.7.036.3

Составители: **Киселев Юрий Витальевич, Гульбис Антон Алексеевич**

Рассмотрены вопросы измерения вибрации авиационных ГТД с помощью бортовой аппаратуры, а также методика контроля и диагностирования технического состояния двигателей по штатным параметрам вибрации, замеренным на работающем двигателе самолета ЯК-42.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 162300, а также для смежных авиационных специальностей и направлений и используются при выполнении комплекса практических и лабораторных работ на учебном аэродроме СГАУ.

Указания разработаны на кафедре ЭАТ для магистерской программы «Контроль, динамика и испытания систем авиационной техники» по направлению 162300.68 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей», в качестве электронного ресурса.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010

1.	.....	4
2.	.....	4
3.	.....	4
3.1.	.....	4
3.2.	.....	7
3.3.	.....	9
3.3.1.	.....	9
3.3.2.	.....	10
4.	.....	-36
4.1.	.....	18
4.2.	.....	18
4.3.	.....	19
4.3.1.	.....	19
4.4.	.....	20
4.5.	.....	21
5.	.....	22
.....	.....	22
.....	.....	23
.....	.....	24

1.

‘ . ‘ -
 : ‘ , ‘
 , ;
 , .

2.

1.

[1-3].

2.

-42

«

-36

-42».

3.

4.

5.

6.

3

3.1.

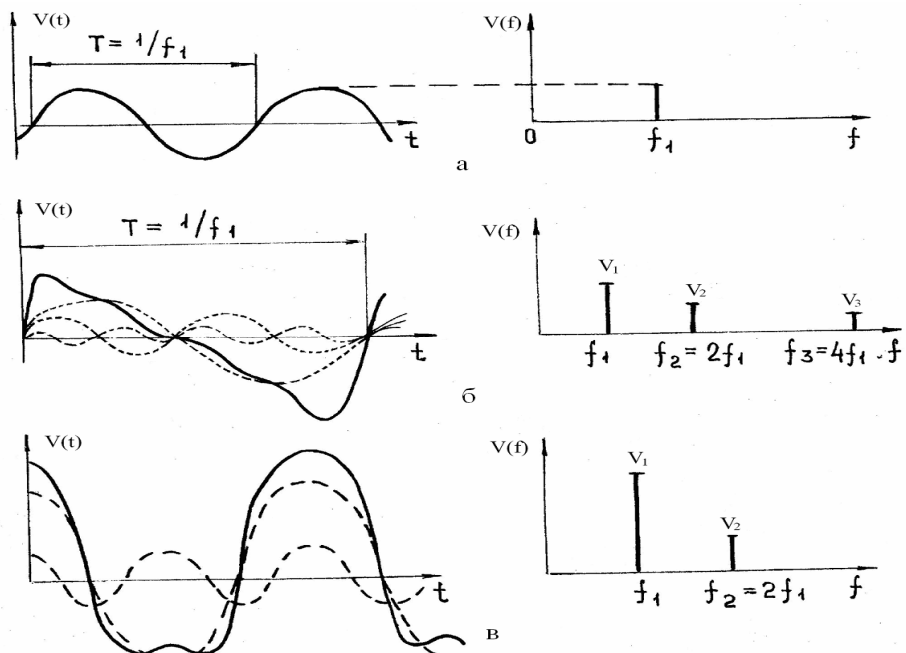
() —
 (, , ,)
 , , ,
 , , ,
 ()

$$S(t) = S_a \cdot \sin(2\pi f \cdot t), \quad (3.1)$$

$$V(t) = S_a \cdot 2\pi \cos(2\pi f t) = V_a \cdot \cos(2\pi f t); \quad (3.2)$$

$$a(t) = -4S_a \cdot \pi^2 f^2 \sin(2\pi f t) = -a_0 \sin(2\pi f t), \quad (3.3)$$

$$V_a = 2\pi f \cdot S_a; \quad a_0 = 4\pi^2 f^2 \cdot S_a = 2\pi f \cdot V_a. \quad (3.4)$$



1 - $V(t)$ $V(f)$
 $-V_{\Sigma}(t) = V_1(t);$ $V_{\Sigma}(t) = V_1(t) + V_2(t);$
 $V_{\Sigma}(t) = V_1(t) + V_2(t) + V_3(t)$

(.1,),

(.1,).
(3.4)

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T |V(t)| dt, \quad (3.5)$$

$$V = \left[\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt \right]^{1/2}, \quad (3.6)$$

$$V_a = \sqrt{2}V = \frac{\pi}{2} \bar{V}. \quad (3.7)$$

(3.5) (3.6),

V.

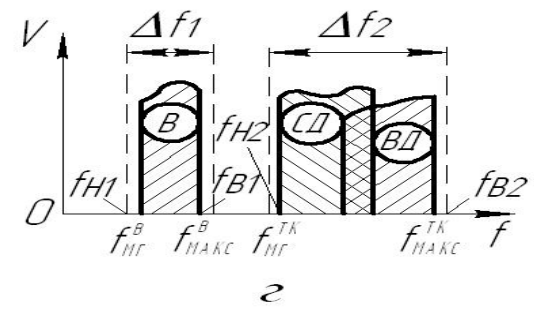
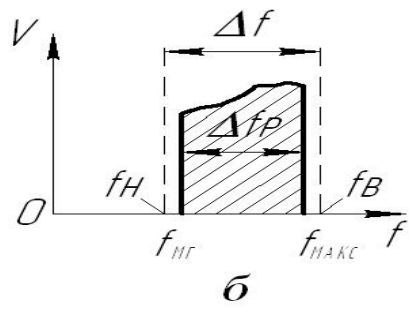
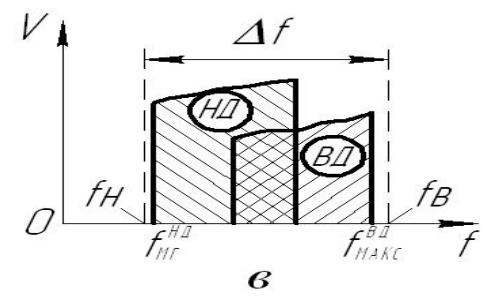
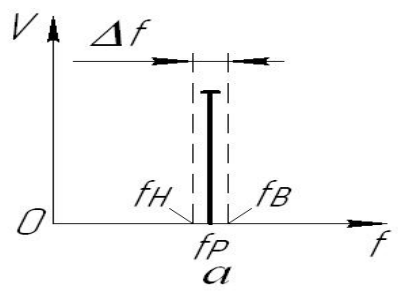
3.2.

()
 f.
 ()

Δf (. 2,).

-41,

-24, -20 .



2-

, — ; —
 ; —

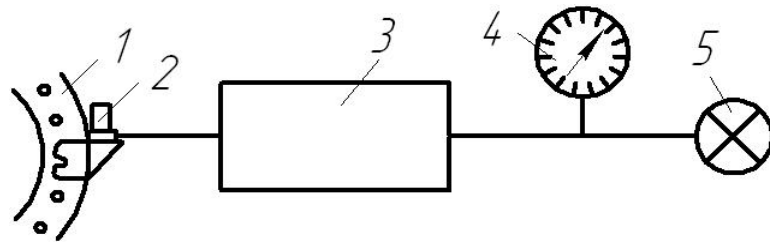
(. 2,).

f
(f), f —
(f).

(. 2,), $f < f$ $f > f$.
-154 -8-
2 .

(. 2,).
 Δf_1 ,

Δf_2
-36.



1 — 3 — ; 2 — ; 3 — ;
4 — ; 5 —

()

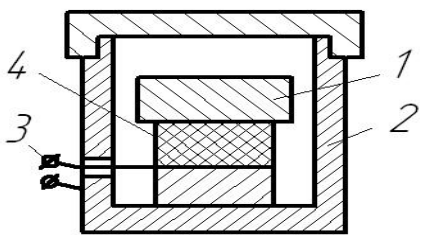
(, ,) .

(. 4).

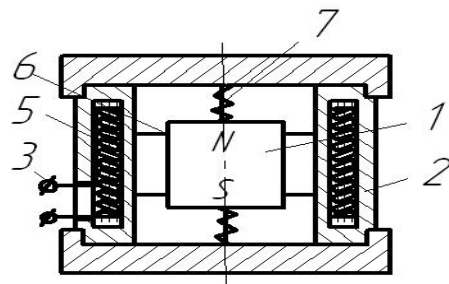
()

()

« » « »



4 -
; 1 -
; 5 -



: -
; 2 - ; 3 - ; 4 -
; 6 - ; 7 -

3.3.

3.3.1.

50...90 / 100...200 /

U_{1-g_1} —

$$(3.8) \quad P_{g_1} = 1 - g_1$$

m D.

n

\bar{V}_n

S_n^2 :

$$\bar{V}_n = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} ; \quad (3.9a)$$

$$S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_n)^2}{n-1} , \quad (3.9)$$

V_i —

(3.9),

:

$$\bar{V}_n = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} V_i + V_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} V_i + V_n}{n} \cdot \frac{(n-1)}{(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} V_i + V_n}{n-1} \cdot \frac{n-1}{n} = \bar{V}_{n-1} \cdot \frac{n-1}{n} + \frac{V_n}{n} , \quad (3.10)$$

\bar{V}_{n-1} —

n-1-

$$S_n^2 = \frac{(n-2)}{(n-1)} \cdot S_{n-1}^2 + (\bar{V}_{n-1})^2 + \frac{V_n^2}{n-1} - \frac{n}{n-1} (\bar{V}_n)^2 , \quad (3.11)$$

S_{n-1}^2 —

n-1

\bar{V}_n

S_n^2

V_i ,

n

[4].

$P_{\bar{V}}$,

$$\bar{V}_n - t \sqrt{\frac{S_n^2}{n}} \leq m \leq \bar{V}_n + t \sqrt{\frac{S_n^2}{n}} , \quad (3.12)$$

$t = \frac{P_{\bar{V}}}{\chi^2}$, $r = n - 1$.

$$\frac{S_n^2(n-1)}{\chi_{1-P_g}^2} \leq D \leq \frac{S_n^2(n-1)}{\chi_{1-P_g}^2}, \quad (3.13)$$

$\chi^2 = P_g \chi^2 -$, $r = n - 1$.

(3.8) (V_n^{*B}) ,

$$V_n^{*B} = \left[\bar{V}_n + t \sqrt{\frac{S_n^2}{n}} \right] + U_{1-g_1} \sqrt{\frac{S_n^2(n-1)}{\chi^2}}.$$

$$V_n^{*B} = \bar{V}_n + K_n \sqrt{S_n^2}, \quad (3.14)$$

$$V_n^{*H} = \bar{V}_n - K_n \sqrt{S_n^2}, \quad (3.15)$$

$K_n =$

$$K_n = \frac{t}{\sqrt{n}} + U_{1-g_1} \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2}}, \quad (3.16)$$

(3.14) (3.15),

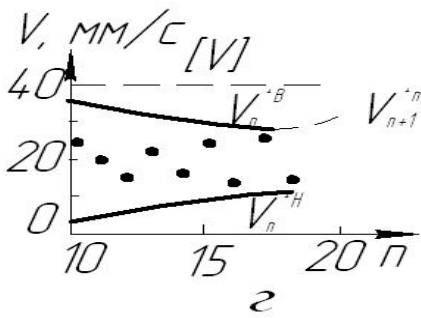
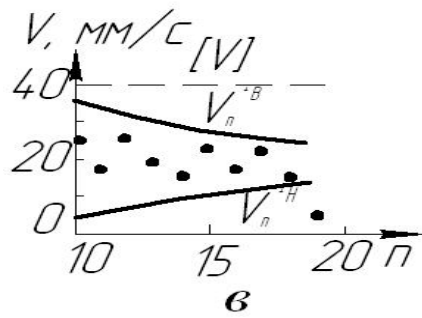
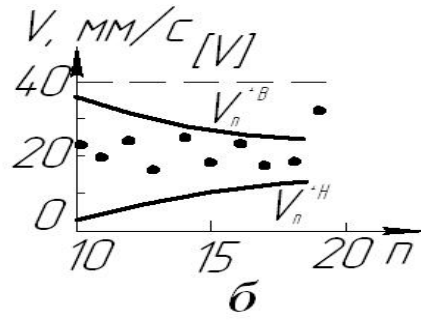
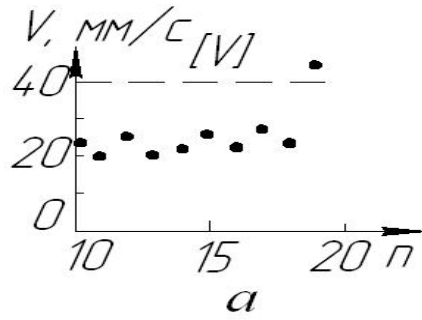
()

$$a_0(10) = V_{10}^* ; V_{10}^* = V_{10}^* ; a_0(10) = 0$$

$$a_0(n) \quad a_1(n)$$

10-

- 1) ()
 - 2) () [V] (.5,);
 - 3) (.5,);
 - 4) (.5,);
- (.5,).



5-

V

;

;

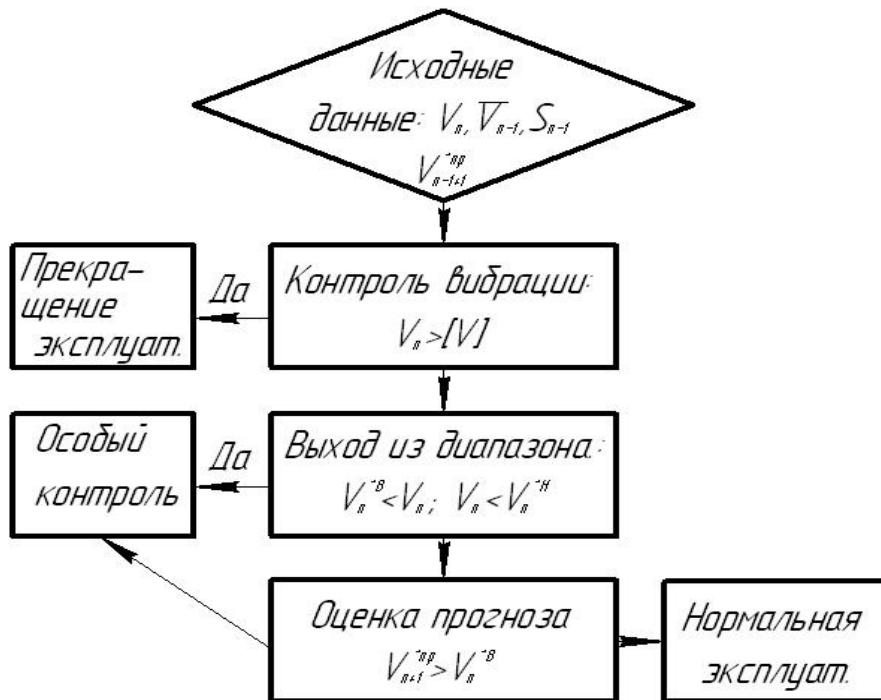
;

.5.1.

1.

		,
	« »	(, .).
	« », « »	, , , (,)
	« », « »	, ,
	« »	(, ,)

1. [1].
 (. 6).
 V_n .
 $[V]$.
 $V_n < [V]$. (3.20)
 (. $V_n \geq [V]$)



6 -

2.

$$V_n^* \leq V_n \leq V_n^{*B} \quad (3.21)$$

, . . .

(),

(3.21)

$$V_{n+1}^* \quad ,$$

3.

$$V_n^{*B} \quad .$$

$$V_{n+1}^*$$

(. . .

)

$$V_{n+1}^* < V_n^{*B} \quad (3.22)$$

, . .
,

,

(3.22)

.

4.

-36

4.1.

-36

-42
14-

(),

()

().

:

.

—

-

.

.

,

,

.

.

.

()

.

,

()

,

,

, . .

.

.

,

,

.

.

-31.

(30... 100)

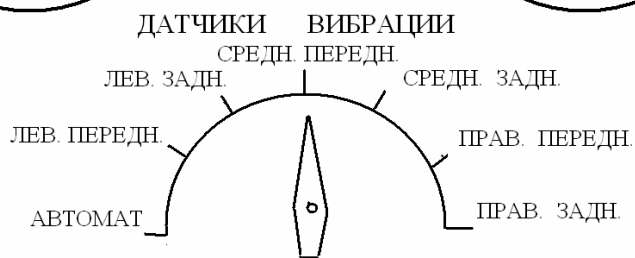
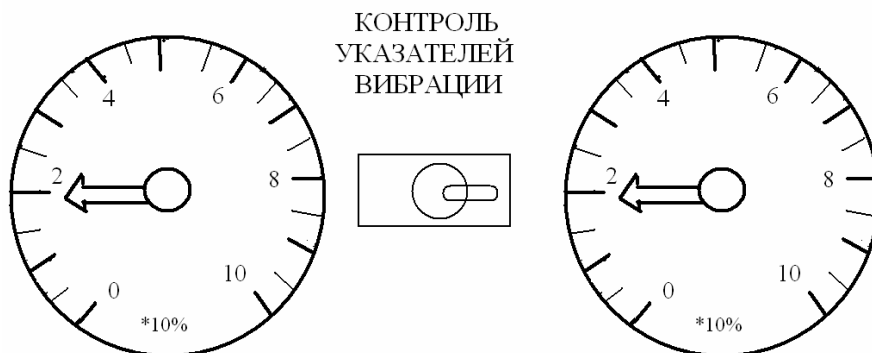
(125 ...270)

()

ИЗМЕРЕНИЕ ВИБРАЦИИ

ВЕНТИЛЯТОРОВ

ТУРБОКОМПРЕССОРОВ



7 -

« (.7). (100%) »

0,2 .

« 100 / . » (100%)

« » « » (),

4.3.

1.

« , (-36 -42».

2.

3.

4.

5.

6.

7.

4.3.1.

1.

$\alpha = 81^\circ$.

« » « ».

« »

« (. 1).)».

« » (,

2.

$n = 76\%$.

« » , -

() .

« ».

,

(),

. 1.

3.

$n = 91\%$.

« » ,

, « ».

,

. 1.

4.

« » « »

.

4.4

1. S^2 ; $V_{(n-1)+1}^*$; $a_1(n-1)$; (-1) ; \bar{V}_n

2. S^2 ; (3.10) (3.11) ; $(\cdot 2)$

3. (3.16), $U_{1-g1} = 2,58$, $t \chi^2$; $4^{gl} = 0,995$

4. ≥ 20 , $t = 2,58$, 2

$$\sqrt{\frac{(n-1)}{\chi^2}} \approx \frac{1}{\sqrt{1-1,64\sqrt{2/(n-1)}}}$$

5. V^* ; (3.14) (3.15)

6. $a_0(n)$; $a_1(n)$; 2 ; (3.18) (3.19), $\alpha = 0,1$

7. $V_{n+1}^* = a_0(n) + a_1(n)$

. 2.

4.5.

. 3.3.

. 6.

1.

(3.20):

$$V_n < [V].$$

40%.

2.

, . . .

$$V_n^* \leq V_n \leq V_n^{*B}.$$

(

3.

*

, (* + 1).

$$V_{n+1}^* < V_n^{*B}.$$

5.

1.

2.

3.

4.

5.

1.

2.

3.

4.

1.

(

2.

1984. § 5.2. . 122-134.

3.

4.

/ . . . - , , 2010

).

. ∴ ,

, 1986. §11. . 68—76

, 1969. 576

1 – -42
 (, , n=)

$\alpha = 81\%$		$n = 76\%$		$n = 91\%$	
.,%	,%	.,%	.,%	.,%	.,%

« _____ »

2 – , n=

		$\bar{V}_n, \%$	$S_n^2, \%$	$V_n^*, \%$	$V_n^*, \%$	$a_1(n), \%$	$V_{n+1}^*, \%$
$n = 76\%$							
$n = 91\%$							

3 – $P_{\bar{V}} = 0,995$

n	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t	4,3	3,71	3,5	3,35	3,25	3,17	3,11	3,1	3,01

n	14	15	16	17	18	19	20	40	∞
t	2,98	2,95	2,93	2,92	2,88	2,86	2,84	2,7	2,58

4 – χ^2 $P_g = 0,95$

n-1	4	5	6	7	8	9	10	11
χ^2	0,71	1,14	1,63	2,17	2,73	3,32	3,94	4,6

n-1	12	13	14	15	16	17	18	19
χ^2	5,2	5,9	6,6	7,3	8	8,7	9,4	10,1