

the maximum value of the eigenvalue from the series considered. This approach somewhat reduces calculation reliability, but it is quite applicable for practical calculations of a statistical similarity criterion from solid-propellant engine input data. The calculated statistical similarity criterion is compared with the value of the Harington desirability function, which confirms its applicability.

Keywords: statistical criterion, dispersion, principal components method, solid-propellant engine, covariation matrix.

$$P(T_\pi) = \Phi \left[\frac{\lambda_{\max} \cos \theta - \lambda'_{\max}}{\sqrt{2 \left(\frac{\lambda_{\max}^2}{n} \cos \theta + \frac{(\lambda'_{\max})^2}{n} \right)}} \right], \quad [1],$$

$$[1, 2]$$

$$P(T_\pi) = \Phi \left[\frac{\lambda_{\max} \cos \theta - \lambda'_{\max}}{\sqrt{2 \left(\frac{\lambda_{\max}^2}{n} \cos \theta + \frac{(\lambda'_{\max})^2}{n} \right)}} \right], \quad (1)$$

$P(T_\pi) -$
 $(T_\pi \geq 1);$
 $;$ $\Phi -$; $\lambda_{\max}, \lambda_{\max} -$
 $()$
 $;$ $\theta -$,
 $;$ $n, n -$
 $\lambda_{\max}, \lambda_{\max} -$
 $;$ $\cos \theta = \cos \left(\arccos \frac{\lambda_{k \max}}{k - \lambda_{k \max}} - \arccos \frac{\lambda'_{k \max}}{k - \lambda'_{k \max}} \right);$ $k -$

- 1 - (1) (2) .
- 2 - ;
- 3 - , ;
- 4 - , / 2;
- 5 -
- 6 - , / ; , / .

Таблица 1

Параметр	Номер испытания													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X1, с	0,207	0,166	0,167	0,215	0,182	0,159	0,207	0,157	0,19	0,188	0,141	0,167	0,207	0,157
X2, с	0,25	0,23	0,23	0,27	0,23	0,2	0,25	0,21	0,23	0,22	0,17	0,2	0,23	0,18
X3, с	52,6	55,3	48,2	50,2	51,9	48,6	53,6	48,3	49,1	52,6	53,1	52,2	50,9	—
X4, кгс/см ²	14,6	14,3	13,0	13,7	13,3	13,4	13,9	13,7	13,5	14,4	14,1	13,6	13,4	—
X5, кгс/с	857,5	812,8	947,2	907,6	881,2	942,8	851,7	941,3	943,8	878,1	898,3	880	903,9	—
X6, кгс-с/кгс	273,5	269,1	270,3	271	270,6	270,2	272,9	271,8	270,3	273,7	271,7	269,4	270,5	—

Таблица 2

Параметр	Номер испытания												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X1, с	0,21	0,11	0,18	0,16	0,16	0,17	0,2	0,11	0,2	0,19	0,21	0,13	0,15
X2, с	0,23	0,2	0,21	0,21	0,21	0,2	0,25	0,16	0,25	0,24	0,23	0,16	0,2
X3, с	50,2	50,5	49,88	52,32	51,97	51,38	50,5	53,8	48,23	50,4	48,77	51,08	53,17
X4, кгс/см ²	13,58	13,5	12,6	13,34	13,98	13,5	13,57	14,05	12,54	13,17	12,67	13,19	4
X5, кгс/с	911,5	906,8	920,1	872,5	884,1	894,1	906	865,9	948,4	906,2	937,7	896,4	855,4
X6, кгс-с/кгс	272,5	—	272,4	—	273,6	273,4	273,1	—	272,6	272,4	272	272,5	270,9

2, 4, 8, 6, [3], 6. [2] [4]. [4],

272,54.

$$x_{ij}^H = \frac{x_{ij}}{\sigma_i}, \quad (2)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^S (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{S-1}}, \quad (3)$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^S x_{ij}}{S}, \quad (4)$$

$i=1, N$ ($N=6$); $j=1, S$ ($S=14$); x_{ij} - i - j -
 1 (2); \bar{x}_i - i - ; σ_i -
 i - ; x_{ij}^H -

(2) - (4) 1 2 -
 3 4 . A A' (3 4)

$$A = \begin{pmatrix} \text{cov}(x_1, x_1) & \dots & \text{cov}(x_1, x_6) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{cov}(x_6, x_1) & \dots & \text{cov}(x_6, x_6) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$A' = \begin{pmatrix} \text{cov}(x'_1, x'_1) & \dots & \text{cov}(x'_1, x'_6) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{cov}(x'_6, x'_1) & \dots & \text{cov}(x'_6, x'_6) \end{pmatrix}, \quad (6)$$

Таблица 3

Параметр	Номер испытания													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
X1, с	8,84	7,09	7,13	9,18	7,77	6,79	8,84	6,71	8,11	8,03	6,02	7,13	8,84	6,7
X2, с	9,12	8,39	8,39	9,85	8,39	7,29	9,12	7,66	8,39	8,02	6,2	7,29	8,39	6,57
X3, с	24,25	25,49	22,22	23,14	23,92	22,4	24,71	22,26	22,63	24,25	24,48	24,06	23,46	23,64
X4, кгс/см ²	32,09	31,43	28,57	30,11	29,23	29,45	30,55	30,11	29,67	31,65	30,99	29,89	29,45	30,25
X5, кгс/с	21,59	20,46	23,85	22,85	22,18	23,73	21,44	23,7	23,76	22,11	22,61	22,15	22,76	22,55
X6, кгс·с/кгс	192,76	189,66	190,5	190,99	190,71	190,43	192,33	191,56	190,5	192,9	191,45	189,87	190,64	191,1

Таблица 4

Параметр	Номер испытания												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X1, с	5,97	3,13	5,12	4,55	4,55	4,84	5,69	3,13	5,69	5,4	5,97	3,7	4,27
X2, с	7,9	6,87	7,21	7,21	7,21	6,87	8,59	5,5	8,59	8,24	7,9	5,5	6,87
X3, с	31,37	31,56	31,17	32,69	32,47	32,1	31,56	33,62	30,14	31,49	30,47	31,92	33,22
X4, кгс/см ²	5,17	5,14	4,8	5,081	5,32	5,14	5,17	5,35	4,78	5,02	4,83	5,02	1,52
X5, кгс/с	34	33,82	34,31	32,54	32,97	33,35	33,79	32,29	35,37	33,8	34,97	33,43	31,9
X6, кгс·с/кгс	413,8	413,86	413,65	413,86	415,47	415,16	414,71	413,86	413,95	413,65	413,04	413,8	411,37

$$\text{cov}(x_i, x_j) = \frac{\sum_{i,j=1}^m (x_i^* - \bar{x}_i^*)(x_j^* - \bar{x}_j^*)}{m-1}, \quad \text{cov}(x'_i, x'_j) = \frac{\sum_{p=1}^n (x'_i - \bar{x}'_i)(x'_j - \bar{x}'_j)}{n-1},$$

$$x_{i(j)}^* = \frac{1}{m} \sum_{i(j)=1}^m x_{i(j)}^H, \quad x'_{i(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i(j)=1}^n x'_{i(j)}{}^H; \quad m = 14, \quad n = 13$$

$X \quad X'$

$A \quad A'$

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 0,873 & 0,0998 & 0,118 & -0,22 & 0,335 \\ & 1 & 0,025 & 0,045 & -0,21 & 0,17 \\ & & 1 & 0,693 & -0,95 & 0,171 \\ & & & 1 & -0,68 & 0,581 \\ & & & & 1 & -0,15 \\ & & & & & 1 \end{vmatrix},$$

$$A' = \begin{vmatrix} 1 & 0,851 & -0,67 & 0,06 & 0,623 & 0,054 \\ & 1 & -0,667 & 0,044 & 0,604 & 0,082 \\ & & 1 & 0,844 & -0,982 & -0,093 \\ & & & 1 & -0,841 & 0,0097 \\ & & & & 1 & 0,156 \\ & & & & & 1 \end{vmatrix}.$$

$$|A - \lambda I| = \begin{vmatrix} \sigma_1^2 - \lambda_1 & \text{cov}(x_1, x_2) & \dots & \text{cov}(x_1, x_6) \\ \text{cov}(x_2, x_1) & \sigma_2^2 - \lambda_2 & & \text{cov}(x_2, x_6) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \text{cov}(x_6, x_1) & \text{cov}(x_6, x_2) & \dots & \sigma_6^2 - \lambda_6 \end{vmatrix} \quad (7)$$

$$A_1 \quad A'_1 \quad ; \quad I - \lambda \quad .$$

$$\det|A - \lambda I| = 0 \quad (8)$$

$$\det|A' - \lambda' I| = 0. \quad (9)$$

$$\lambda_1 = 2,854, \quad \lambda_2 = 1,7887, \quad \lambda_3 = 1,0207, \quad \lambda_4 = 0,2114, \quad \lambda_5 = 0,1028, \quad \lambda_6 = 0,0225. \quad (10)$$

$$\lambda'_1 = 0,01, \quad \lambda'_2 = 0,127, \quad \lambda'_3 = 0,164, \quad \lambda'_4 = 0,642, \quad \lambda'_5 = 1,741, \quad \lambda'_6 = 3,317. \quad (11)$$

(5) (6)

[0].

$$(R) \quad (R') \quad R = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & & r_{2k} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & 1 \end{vmatrix} \quad R' = \begin{vmatrix} 1 & r'_{12} & \dots & r'_{1k} \\ r'_{21} & 1 & & r'_{2k} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r'_{k1} & r'_{k2} & \dots & 1 \end{vmatrix}, \quad (12)$$

$$r_{ij} = \frac{\text{cov}(x_i, x_j)}{\sqrt{\sigma_i \sigma_j}} - \quad x_i, x_j.$$

$$R \quad R' \quad R = \begin{vmatrix} 1 & 0,871 & 0,01 & 0,117 & -0,224 & 0,334 \\ & 1 & 0,026 & 0,046 & -0,217 & 0,174 \\ & & 1 & 0,679 & -0,936 & 0,167 \\ & & & 1 & -0,664 & 0,57 \\ & & & & 1 & -0,15 \\ & & & & & 1 \end{vmatrix},$$

$$R' = \begin{vmatrix} 1 & 0,849 & -0,67 & 0,06 & 0,622 & 0,054 \\ & 1 & -0,69 & 0,046 & 0,621 & 0,084 \\ & & 1 & -0,271 & -0,964 & -0,091 \\ & & & 1 & 0,361 & 0,789 \\ & & & & 1 & 0,153 \\ & & & & & 1 \end{vmatrix}.$$

$$|R - \lambda_k I| = \begin{vmatrix} 1 - \lambda_{k1} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 - \lambda_{k2} & & r_{2k} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & 1 - \lambda_{kk} \end{vmatrix}, \quad (13)$$

$$|R' - \lambda'_k I| = \begin{vmatrix} 1 - \lambda'_{k1} & r'_{12} & \dots & r'_{1k} \\ r'_{21} & 1 - \lambda'_{k2} & & r'_{2k} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r'_{k1} & r'_{k2} & \dots & 1 - \lambda'_{kk} \end{vmatrix}, \quad (14)$$

$$\lambda_k \quad \lambda'_k - \quad R \quad R' \quad \lambda_k \quad \lambda'_k$$

$$\det|R - \lambda_k I| = 0 \quad \det|R' - \lambda'_k I| = 0, \quad (15)$$

$$\lambda_{k1} = 0,0334, \lambda_{k2} = 0,1167, \lambda_{k3} = 0,2, \lambda_{k4} = 1,01, \lambda_{k5} = 1,823, \lambda_{k6} = 2,82. \quad (16)$$

$$\lambda'_{k1} = 0,029, \lambda'_{k2} = 0,13, \lambda'_{k3} = 0,176, \lambda'_{k4} = 0,62, \lambda'_{k5} = 1,727, \lambda'_{k6} = 3,318. \quad (17)$$

(10), (11) (16), (17)

$$\lambda_i = \lambda_{\max} \quad \lambda'_{\max}, \lambda_{k\max}, \lambda'_{k\max}$$

$$A - 2,854, A' - 3,317, R - 2,8172 \quad R' - 3,218.$$

$$\cos \theta$$

$$\cos \theta = \cos \left(\arccos \frac{2,8172}{6 - 2,8172} - \arccos \frac{3,318}{6 - 3,318} \right) = 0,97.$$

$$P(T_\pi) = \Phi \left[\frac{2,8539^2 \cos 0,97 - 3,317}{\sqrt{2 \left(\frac{2,8539^2}{14} \cos 0,97 + \frac{(3,317)^2}{13} \right)}} \right] = 0,88. \quad (1)$$

[6],

1, 5, 0,88, 0,8
« -

5

f_x	
$0,8 < f_x \leq 1,0$	
$0,63 < f_x \leq 0,8$	
$0,37 < f_x \leq 0,63$	
$0,2 < f_x \leq 0,37$	
$0 < f_x \leq 0,2$	

0,88,

1. URL: <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=Parallel/ch030203.mod> (- 18.04.19).
2. 2017. 3. 64-71.
3. 2018. 4. 119-125.
4. 1983. 471.
5. 1976. 736.
6. Harrington E. C. Industry Quality Control. 1965. 21. N 10. 494-498.

06.06.2019,
23.09.2019