

О возможности использования только крайних членов выборки для решения гамма-процентного усталостного ресурса

А.А. Котесова, В.В. Косенко, Д.З. Евсеев, Ф.С. Копылов, В.С. Крымский
Донской государственный технический университет, Ростов – на – Дону

Аннотация: Предлагается метод расчета гамма-процентного усталостного ресурса стрелы одноковшового экскаватора. С помощью этого метода можно наиболее точно определить распределения крайних членов выборок и соответствующих сдвигов распределения Вейбулла. Было выявлено, что производить расчет по сдвигам не обязательно, можно воспользоваться только крайними членами выборок.

Ключевые слова: надежность, вероятность, ресурс, выборка, экскаватор.

При поэтапном проектировании для достижения заданной надежности конструкции необходимо выполнять расчет гамма-процентного ресурса базовых элементов, например, стрелы экскаватора.

Метод расчета характеризуется использованием как вероятностных параметров прочности и нагруженности, так и детерминированных.

Расчет ресурса выполняется по известной формуле Веллера-Серенсена-Когаева, но с использованием моделирования [1,2]. Такие параметры, как предел выносливости, действующее средневзвешенное напряжение, частота нагружения, коэффициент концентрации от сварочного шва, коэффициент внутреннего напряжения сварки и суммарный коэффициент, учитывающий влияние всех факторов на сопротивление усталости задавались вариационными рядами с объемом выборок $n=40$ [3].

Остальные параметры: N_0 – базовое число циклов; m – показатель угла наклона левой ветви кривой усталости; a_p – сумма относительных усталостных повреждений; γ – вероятности безотказной работы; β – коэффициент, учитывающий состояние поверхности на предел выносливости детали (окалина), принимались детерминированными величинами [6]. Расчет выполнялся в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис.1 [4].

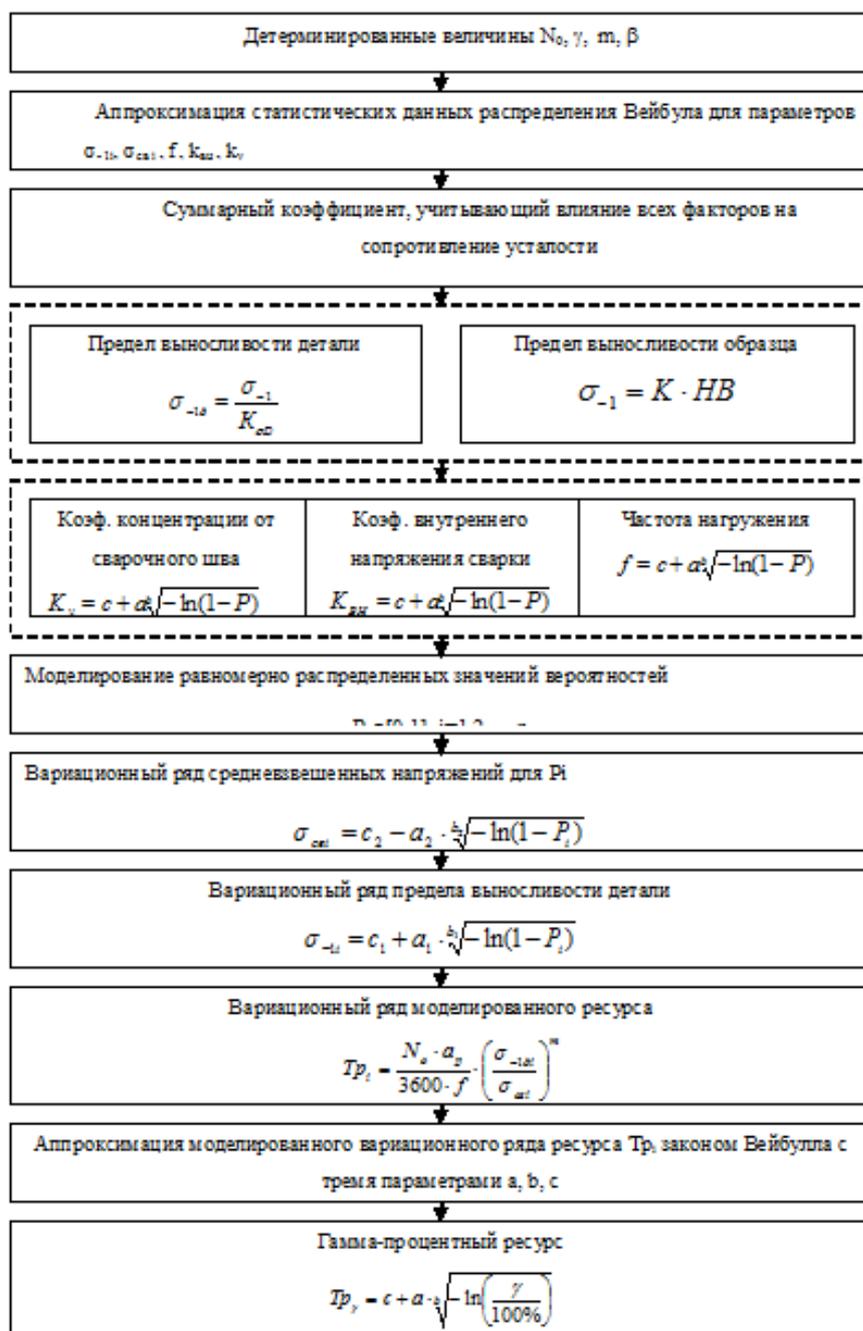


Рис.1. Блок-схема алгоритма расчета гамма-процентного значения усталостного ресурса детали

Результаты расчета даны в таблице.

Таблица – Параметры распределения ресурса по Вейбуллу и гамма-процентные значения ресурса при различных доверительных вероятностях

Параметры распределения выборочного ресурса				Тру			
№	a	b	c	0,99	0,9 ₃	0,9 ₄	0,9 ₅
1	44016,920	1,150	15527,7	16333,793	15636,121	15542,334	15529,676
2	59719,050	1,180	11613,6	12824,325	11784,966	11637,939	11617,058
3	62403,680	0,970	12691,3	13235,315	12741,736	12696,004	12691,747
4	51117,490	1,100	15477,3	16257,795	15573,128	15489,109	15478,756
5	46193,110	1,050	11584,7	12162,612	11648,876	11591,823	11585,459
6	72140,560	1,200	12816	14376,738	13044,224	12849,486	12820,915
7	44218,770	0,880	19933,9	20171,273	19951,189	19935,199	19934,032
8	53047,490	1,270	16823,3	18240,962	17053,759	16860,870	16829,413
9	53207,210	1,080	15941,7	16693,511	16030,446	15952,177	15942,898
10	58443,940	1,000	13370,7	13958,051	13429,143	13376,515	13371,254
11	50710,000	0,920	20248,8	20590,446	20276,647	20251,097	20249,006
12	42303,320	1,400	12308,6	13891,161	12613,160	12367,382	12319,949
13	49726,200	0,890	16105,7	16388,778	16126,926	16107,333	16105,860
14	64876,000	0,780	19951,8	20129,946	19961,051	19952,283	19951,825
15	55910,840	1,120	11556,6	12476,425	11673,802	11571,550	11558,470
16	54008,590	1,040	12524,9	13172,712	12595,328	12532,547	12525,691
17	66128,720	1,070	9545,4	10443,385	9649,357	9557,481	9546,804
18	50648,000	1,090	13850,8	14594,998	13940,413	13861,616	13852,090
19	54764,140	1,300	15340,6	16931,744	15610,346	15386,466	15348,394
20	46975,470	0,880	13930,8	14182,928	13949,124	13932,138	13930,898
21	43590,220	0,740	15824,5	15911,493	15828,321	15824,641	15824,478
22	71042,670	1,070	12943,7	13908,403	13055,372	12956,668	12945,199
23	44892,180	1,150	15732,5	16554,652	15843,107	15747,455	15734,545
24	64888,660	1,360	11274,3	13478,160	11678,360	11348,603	11287,968
25	42572,190	1,140	14900,2	15652,914	14999,640	14913,354	14901,911
26	44119,940	1,040	13862,7	14391,942	13920,274	13868,988	13863,387
27	53204,260	1,180	9038,49	10117,136	9191,161	9060,174	9041,571
28	44730,930	0,840	17378,7	17565,887	17390,717	17379,484	17378,760
29	51486,900	1,370	13437,9	15230,298	13770,616	13499,845	13449,436
30	62524,530	0,800	16853,6	17052,515	16864,676	16854,175	16853,585
31	51042,440	0,790	11752,3	11903,314	11760,432	11752,731	11752,314
32	43903,360	1,070	17090,7	17686,859	17159,698	17098,700	17091,612
33	37394,210	0,760	22494,7	22582,581	22498,884	22494,864	22494,670
34	55244,310	0,920	11881,1	12253,313	11911,455	11883,620	11881,343
35	53981,390	1,230	15495,3	16777,632	15691,815	15525,515	15499,947
36	54496,340	1,060	13966	14676,601	14046,599	13975,169	13967,036
37	37972,050	0,980	14574,6	14922,004	14607,566	14577,717	14574,870
38	49471,650	1,300	12475,8	13913,182	12719,486	12517,243	12482,850
39	47510,060	0,800	8287,89	8439,076	8296,344	8288,365	8287,917
40	48066,400	1,040	13484	14060,582	13546,724	13490,850	13484,748

Таким образом, получены распределения крайних членов выборки ресурса X_1 и соответствующих сдвигов S распределения Вейбулла с тремя параметрами (рис. 2). Следовательно, для вероятности безотказной работы 0,99 – 0,99999 значения ресурса стрелы экскаватора находятся в интервале 8 – 10 тыс. ч (рис. 3,4), что не соответствует упрощенному методу расчета, в котором для вероятности безотказной работы 0,99 – 0,99999 значения ресурса стрелы экскаватора больше и находятся в интервале 9 – 11 тыс.ч[5]. Исходя из этого следует, что отказы стрелы появятся на 1000 часов раньше и это будет свидетельствовать о снижении надежности экскаватора.

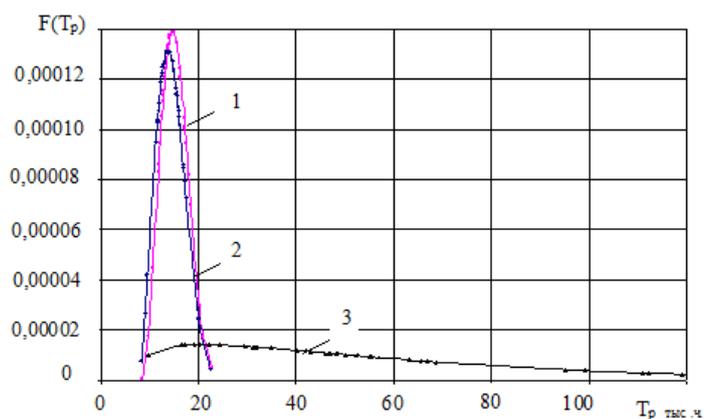


Рис. 2. График плотности распределения ресурса: 1 – распределение крайних членов выборок; 2 – сдвиги ресурса; 3 – выборочные данные

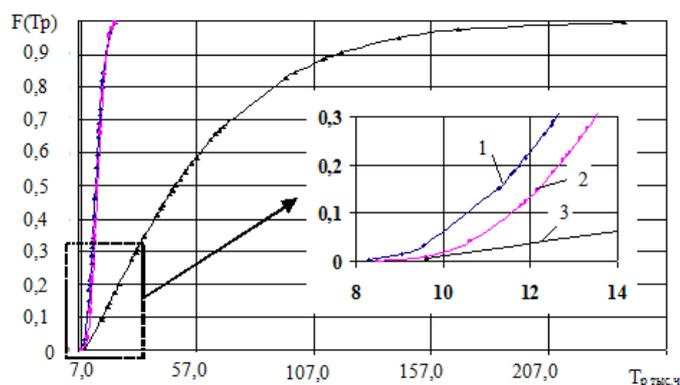


Рис. 3. Интегральные кривые распределения: 1 – сдвигов ресурса; 2 – распределения крайних членов выборки; 3 – выборочные данные

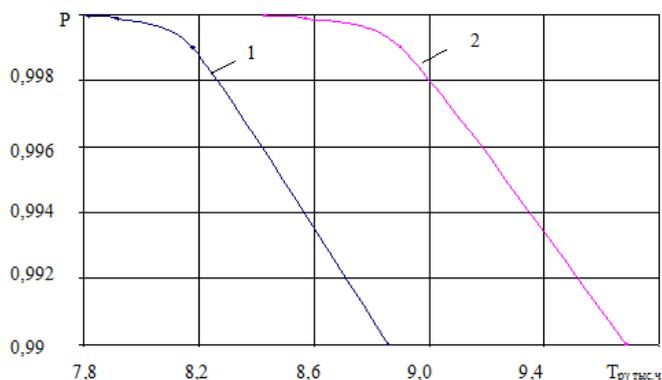


Рис. 4. Зависимость гамма-процентного значения ресурса для: 1–сдвигов выборок; 2 – крайних членов выборок от величины безотказной работы ресурса

Произведем расчеты по определению ошибки между гамма-процентными значениями ресурса сдвигов и крайних членов выборок по формулам:

$$\delta_{сд} = \frac{T_{p\gamma 1} - T_{p\gamma 2}}{T_{p\gamma 1}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$\delta_{кр} = \frac{T_{p\gamma 1} - T_{p\gamma 3}}{T_{p\gamma 1}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где $T_{p\gamma 1}$ – гамма-процентные значения выборки ресурса ($T_{p\gamma 1}=10117,3$), $T_{p\gamma 2}$ – гамма-процентные значения сдвигов ресурса ($T_{p\gamma 2}=8858,8$), $T_{p\gamma 3}$ – гамма-процентные значения крайних членов выборки ($T_{p\gamma 3}=9686,15$).

$$\delta_{сд} = \frac{10117,3 - 8858,8}{10117,3} \cdot 100\% = 12,4\% \quad (3)$$

$$\delta_{кр} = \frac{10117,3 - 9686,15}{10117,3} \cdot 100\% = 4,2\% \quad (4)$$

Следовательно, сравнив полученные ошибки, можно сделать вывод, что ошибка незначительна $\delta_{кр}=4,2\%$, поэтому производить расчет по сдвигам не обязательно, можно воспользоваться только крайними членами выборок.

Литература

1. Когаев В.П., Петрова И.М. Расчет функции распределения ресурса деталей машин методом статистических испытаний // Вестник машиностроения. – 1981. – № 1 – С.9 – 11.
 2. Касьянов В.Е., Аннабердиев А. Х.-М. Определение функции распределения ресурса деталей одноковшового экскаватора методом Монте-Карло. – Ростов - на - Дону: 1988. – 17с. – Деп. в ЦНИИТЭстроймаша 23.05.88, № 69.
 3. Касьянов В.Е., Топилин И.В. Определение функции распределения средневзвешенных напряжений по амплитудным значениям напряжений для расчета усталостного ресурса деталей методом Монте-Карло. – 1999. – 9 с. – Деп. в ВИНТИ 13.02.99, № 364 – В99.
 4. Касьянов В.Е, Роговенко Т.Н., Дудникова В.В. Анализ методов расчета усталостного ресурса деталей машин. – 2003. – 14с. – Деп. в ВИНТИ 28.04.03, №827.
 5. Серенсен С.В., Кагаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. – М. Машиностроение, – 1975. – 488с.
 6. Касьянов В. Е., Зайцева М. М., Котесова А.А., Теплякова С. В., Котесов А. А. Расчетно-экспериментальное определение гамма-процентного ресурса стрелы одноковшового экскаватора для генеральной совокупности конечного объема // Инженерный вестник Дона, 2012, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/624.
-



7. Касьянов В. Е., Котесова А. А., Теплякова С. В. Упрощенное определение расхождений между минимальными ресурсами выборок и совокупностей для ответственных деталей машин // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1694.

8. Котесова А.А. Уточненное определение ресурса совокупности по выборочным данным для стрелы одноковшового экскаватора // Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1695.

9. Applied statistics and probability for engineers / Douglas C. Montgomery, George C. Runger. - 3rd ed. – 976 p.

10. W.J. DeCoursey / Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel. – 2003 – 400 p. – Elsevier Science (USA).

References

1. Кобаев В.Р., Петрова И.М. Vestnik mashinostroeniya. 1981. № 1 pp.9 – 11.

2. Кас'янов В.Е., Аннабердиев А. Н. М. Определение функции распределения ресурса деталей одноковшового экскаватора методом Монте-Карло [The definition of the resource allocation function for one novelty of the Monte Carlo methodological method]. Rostov - na - Donu: 1988. 17 p. Dep. v CNIITJestromasha 23.05.88, № 69.

3. Кас'янов В.Е., Топилин И.В. Определение функции распределения средневзвешенных напряжений по амплитудным значениям напряжений для расчета усталостного ресурса деталей методом Монте-Карло [Determination of the distribution function of weighted average stresses from the amplitude values of stresses for calculating the fatigue life of parts by the Monte Carlo method]. 1999. 9 p. Dep. v VINITI 13.02.99, № 364 V99.



4. Kas'janov V.E., Rogovenko T.N., Dudnikova V.V. Analiz metodov rascheta ustalostnogo resursa detalej mashin [Analysis of methods for calculating the fatigue life of machine parts]. 2003. 14 p. Dep. v VINITI 28.04.03, №827.
5. Serensen S.V., Kagaev V.P., Shnejderovich R.M. Nesushhaja sposobnost' i raschety detalej mashin na prochnost'[Bearing capacity and calculations of machine parts for strength]. M. Mashinostroenie, 1975. 488 p.
6. Kas'janov V. E., Zajceva M. M., Kotesova A.A., Tepljakova S. V., Kotesov A. A. - Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/624.
7. Kas'janov V. E., Kotesova A. A., Tepljakova S. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1694.
8. Kotesova A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1695.
9. Applied statistics and probability for engineers Douglas C. Montgomery, George C. Runger. 3rd ed. 976 p.
10. W.J. DeCoursey Statistics and Probability for Engineering Applications with Microsoft® Excel. 2003. 400 p. Elsevier Science (USA).