

Исследование влияния объемов выборок и генеральных совокупностей прочности деталей автомобилей на их ресурс

В.Е. Касьянов, Е.Е. Косенко, В.В. Косенко, А.А. Котесова, Р.В. Хван

Донской государственный технический университет

Аннотация: проведены исследования твердости различных марок сталей с целью определения плотностей их распределения и распределения крайних членов выборок. Результаты полученных исследований использованы для определения ресурса деталей с использованием графического метода перехода от выборки к совокупности.

Ключевые слова: выборка, усталостный ресурс, генеральная совокупность конечного объема.

Оценка показателей надежности несущих систем автомобилей при их эксплуатации, является одним из направлений современных исследований. При проведении таких исследований оцениваются: прочностные характеристики несущих систем автомобилей и их элементов по долговечности – обычно по выборочным данным из испытаний образцов с прямоугольным сечением [1-7].

Сложность проведения подобных исследований заключается в невозможности прямого определения механических свойств несущих систем автомобилей в процессе эксплуатации, т. к. вырезание образцов с прямоугольным сечением из системы может привести к ее последующему разрушению, особенно если местом исследования является опасное сечение детали. Поэтому такие исследования проводятся с использованием косвенных методов, в основе которых лежит определение твердости сталей [8] и корреляционные зависимости твердости и пределов выносливости.

В представленной работе значения твердости предлагается использовать для определения ресурса элементов автомобилей, выполненных

из различных марок сталей. Для проведения исследований выбраны следующие марки сталей: Ст3, сталь 15 Г и сталь 15ХСНД.

Твердости применяемых марок сталей Ст3, 15Г, 15ХСНД определены при стандартных испытаниях с использованием стационарного твердомера ТР 2140 и электронного твердомера HBRV – 187.5.

В результате испытаний получено 5 выборок объемом $n=50$ для каждого вида стали. По этим данным построены эмпирические функции распределения твердости (рис. 1).

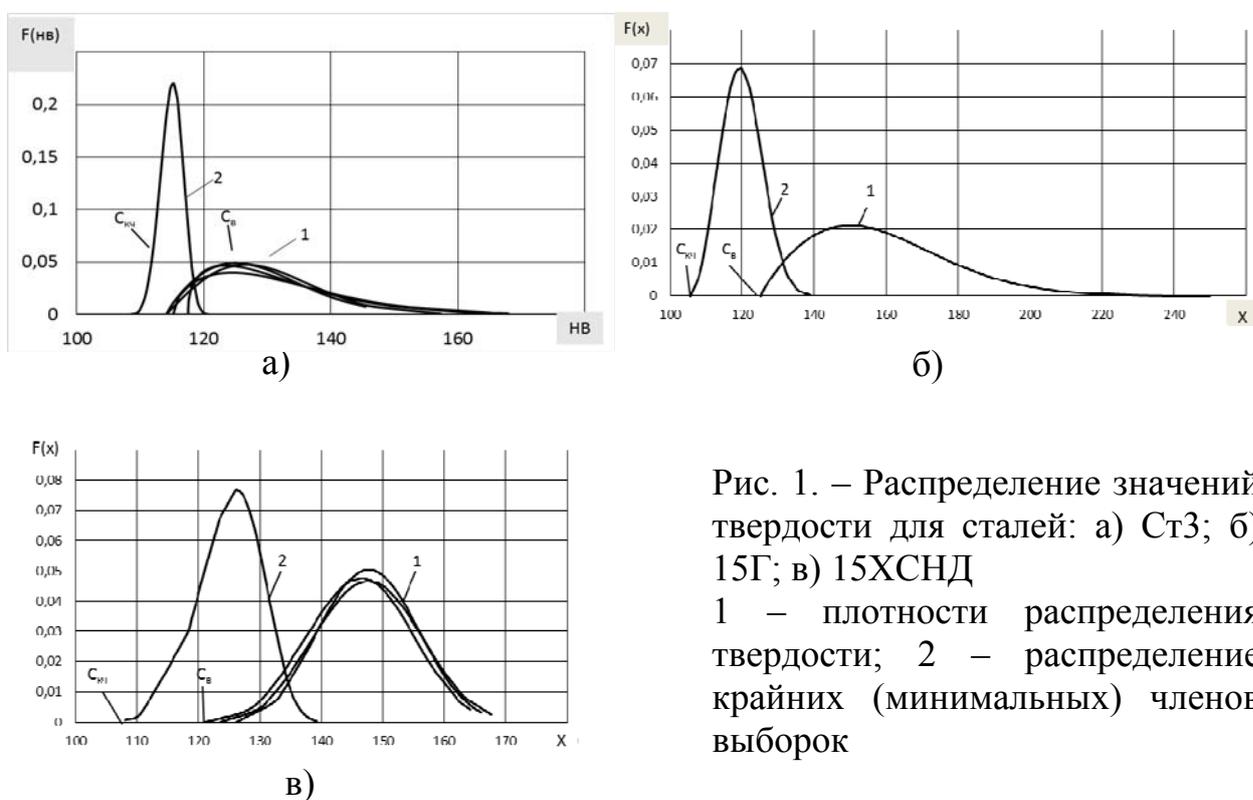


Рис. 1. – Распределение значений твердости для сталей: а) Ст3; б) 15Г; в) 15ХСНД
1 – плотности распределения твердости; 2 – распределение крайних (минимальных) членов выборки

Полученные значения твердости, необходимо использовать для определения пределов прочности и выносливости рассматриваемых марок сталей. Имеется ряд эмпирических формул корреляционной зависимости между твердостью и пределом выносливости стали.

Из авторов, занимающихся данным вопросом, следует отметить исследования отечественных авторов Марковца М.П., Добровольского И.И.,

Жукова А.А., и др., а также зарубежных Хейвуда, Роша, Эйхингера, Крюссара, Корбера, Хемпеля. В результате анализа выбрана формула перехода (формула Марковца) с минимальной погрешностью расчета, составляющей 2,3%.

Следующий этап исследований проводился с целью определения минимальных значений механических характеристик рассматриваемых сталей. Исследование минимальных значений вызвано необходимостью получения наименьших значений механических характеристик, которые определяют минимальный ресурс.

Для оценки минимальных значений механических характеристик необходимо знать закон распределения механических характеристик. Как указано в работах [9, 10], в большинстве случаев для элементов, выполненных из стали, наиболее предпочтительным является трехпараметрический закон распределения Вейбулла.

В отличие от конструкторских бюро, которые обычно пользуются в расчетах усталостных ресурсов деталей выборочными значениями твердости и предела выносливости, предлагается перейти от выборок к генеральной совокупности конечного объема. При этом, генеральная совокупность – это то количество деталей, узлов и машин, которые обычно выполняются без изменения конструкции и технологии изготовления в течение примерно 8-12 лет и могут составлять несколько тысяч единиц.

В этих целях выполнен переход от выборочных значений твердости (объемом выборок $n=50$) с использованием графического метода и вероятностных сеток (рис. 2). Выполнена аппроксимация выборочных данных с помощью метода наименьших квадратов линейной функции, а указанная доверительная вероятность для сталей составит: Ст3 – $P=0,92$; 15Г – $P=0,968$; 15ХСНД – $P=0,97$.

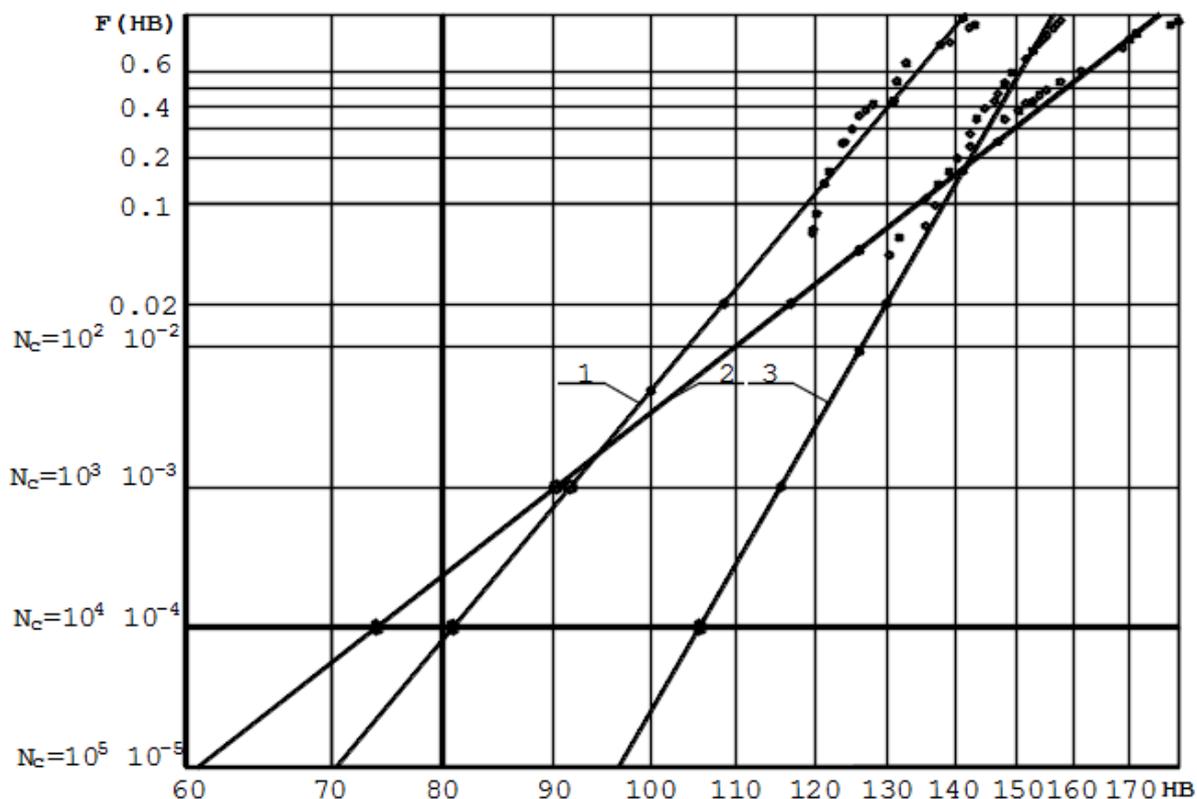


Рис. 2. – Графический метод перехода от выборки к совокупности для трех марок сталей: 1 - Ст3; 2 - 15Г; 3 - 15ХСНД

Результаты расчетов минимальных значений рассматриваемых сталей приведены в таблице №1.

Таблица №1

Определение минимальных значений твердости для выборки

№ п/п	Стали	n	ω^2	m	HB _{min}	C
1	Ст 3	50	0.13-0.47	20	109.0	108.29
2	15Г	50	0.11-0.71	20	118,0	105.66
3	15ХСНД	50	0.15-0.36	20	129,5	119.53

В таблице №2 включены минимальные значения твердости трех марок сталей для выборок (q_b) и совокупностей (Q_c).

Таблица №2

Определение минимальной твердости для совокупности

№ п/п		n	q_b	$HB_{в.min}$	N_c	Q_c	$HB_{с.min}$	$K_{уп}$
1	Ст3	50	0,02	109,0	10^3	10^{-3}	92,0	1,18
2		50	-	-	10^4	10^{-4}	81,5	1,34
3		50	-	-	10^5	10^{-5}	71,0	1,54
4	15Г	50	0,02	118,0	10^3	10^{-3}	90,5	1,3
5		50	-	-	10^4	10^{-4}	74,0	1,59
6		50	-	-	10^5	10^{-5}	61,5	1,92
7	15ХСНД	50	0,02	129,5	10^3	10^{-3}	115,5	1,12
8		50	-	-	10^4	10^{-4}	106,0	1,22
9		50	-	-	10^5	10^{-5}	97,5	1,33

Для примера рассчитаем ресурс элемента конструкции автомобиля выполненного из стали Ст3. Опираясь на график, изображенный на рис. 2, определены минимальные значения твердости для выборки $HB_1 = 108$ кгс/мм² (выборка), при $N_c = 10^4$, $HB_1 = 81$ кгс/мм² (совокупность).

Для оценки величины изменения прочности и ресурса, введены коэффициенты: снижения прочности ($K_{сп}$), снижения ресурса ($K_{сп}$), увеличения ресурса для совокупности ($K_{уп,с}$), увеличения прочности для совокупности ($K_{уп,с}$).

Коэффициент снижения прочности (твердости) стали Ст3: $K_{сп} = 108/81 = 1,33$.

Предел прочности Ст3 (выборка) [11, 12] рассчитан по формуле (1):

$$\sigma_B = HB_B^{0,9899} \cdot 0,365 = 108^{0,9899} \cdot 0,365 = 37,4 \text{ кгс/мм}^2. \quad (1)$$

Предел выносливости Ст3 (выборка) рассчитан по формуле (2):

$$\sigma_{-1B} = 0,432 \cdot \sigma_B + 2,2 = 0,432 \cdot 37,4 + 2,2 = 18,4 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2)$$

Ресурс элемента металлоконструкции автомобиля по выборке рассчитан по формуле (3):

$$T_{p \text{ выб}} = \frac{a_p \cdot \sigma_{-1g}^{m_1} \cdot N_0}{f \cdot \sigma_{св}^{m_1} \cdot 3600} = \frac{1 \cdot 18,4^6 \cdot 2 \cdot 10^6}{4 \cdot 12^6 \cdot 3600} = 1778 \text{ ч.} \quad (3)$$

где a_p – сумма относительных усталостных повреждений; m_1 – коэффициент угла наклона кривой усталости для многоциклового области; N_0 – базовое число циклов; f – частота нагружения, Гц; $\sigma_{св}$ – действующее средневзвешенное напряжение, кгс/мм²

Для совокупности рассчитаны параметры по формуле (4, 5, 6):

$$\sigma_B = HB_B^{0,9899} \cdot 0,365 = 81^{0,9899} \cdot 0,365 = 28,17 \text{ кгс/мм}^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{-1B} = 0,432 \cdot \sigma_B + 2,2 = 0,432 \cdot 28,17 + 2,2 = 14,35 \text{ кгс/мм}^2 \quad (5)$$

$$T_{p \text{ сов}} = \frac{a_p \cdot \sigma_{-1g}^{m_2} \cdot N_0}{f \cdot \sigma_{св}^{m_2} \cdot 3600} = \frac{1 \cdot 14,35^{12} \cdot 2 \cdot 10^6}{4 \cdot 12^{12} \cdot 3600} = 1187 \text{ ч.} \quad (6)$$

где m_2 – коэффициент угла наклона кривой усталости для сверхмногоциклового области

$$K_{ср} = \frac{1778 \text{ ч.}}{1187 \text{ ч.}} = 1,5.$$

В итоге сокращение ресурса по расчету КБ составит 1,5 раза.

$$\text{Коэффициент увеличения ресурса } K_{урс} = \frac{20000 \text{ ч.}}{1187 \text{ ч.}} = 16,85.$$

$$\text{Коэффициент увеличения прочности } K_{упс} = \sqrt[12]{16,85} = 1,265.$$

Необходимая твердость (прочность) для совокупности $NB_{yпc} = 81 \cdot 1,265 = 102,5$ кгс/мм².

Следовательно, несколько большее увеличение прочности и ресурса будет достигнуто при переходе от Ст3 на сталь 15ХСНД ($K_{yп} = 105/81 = 1,3$) для совокупности конечного объема $N_c = 10^4$.

Таким образом, использование конструкторскими бюро усталостного ресурса, полученного по выборочным данным прочности, завышает расчетный ресурс в несколько раз. Применение генеральной совокупности конечного объема, соответствующей реальным объемам эксплуатирующихся машин, узлов и деталей приводит к заниженному ресурсу и значительному количеству отказов. Поэтому необходимо в расчетах ресурсов использовать только генеральные совокупности конечного объема.

Литература

1. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
2. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
3. Касьянов В.Е., Роговенко Т.Н., Щулькин Л.П. Основы теории и практики создания надежных машин // Вестник машиностроения. 2003. № 10. С. 3.
4. Kas'yanov V.E., Rogovenko T.N. Probabilistic-statistical estimation of the gamma-life of a machine chassis // Russian Engineering Research. 1999. V. 6. p. 10.
5. Касьянов В.Е., Роговенко Т.Н., Зайцева М.М. Обеспечение заданного усталостного ресурса деталей машин с использованием малых выборок исходных данных // Вестник машиностроения. 2013. № 5. С. 10-15.

6. Роговенко Т.Н., Зайцева М.М. Оценка оптимального значения вероятности безотказной работы деталей машин, на примере рукояти одноковшового экскаватора // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3848.

7. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. Моделирование стержней с дефектами, имеющих различные виды закрепления // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2155.

8. Теплякова С.В., Котесова А.А., Косенко Е.Е. Расчетно-экспериментальное определение максимальной нагруженности стрелы одноковшового экскаватора // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 2 (48). С. 38-43.

9. Касьянов В.Е. Метод оценки безотказности для выборки и совокупности конечного объема // Научное обозрение. - 2014. - №11 (3). - С. 785 - 788.

10. Косенко Е.Е., Черпаков А.В., Косенко В.В., Недолужко А.И., Методы оценки эксплуатационной надежности автомобилей // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4303.

11. 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.

12. S.V.Teplyakova, E.E.Kosenko, V.V.Kosenko, A.V.Cherpakov Mathematical Modeling of Ensuring Machine Reliability // Abstracts & Schedule. International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications" (PHENMA 2016) Surabaya, Indonesia, July 19-22, 2016, pp. 269.



References

1. Serensen S.V., Kogaev V.P., Shnejderovich R.M. Nesuŝaja sposobnost' i raschet detalej mashin na prochnost' [The bearing ability and calculation of details of cars on durability]. M.: Mashinostroenye, 1975. 448 p.
 2. Markovets M. P. Opredelenie mekhanicheskich svojstv metallov po tvërdosti [Determination of mechanical properties of metals by hardness]. M.: Mashinostroenye, 1979. 191 p.
 3. Kasyanov V.E., Rogovenko T.N., Šul'kin L.P. Vestnik mashinostroenya. 2003. №. 10. P. 3.
 4. Kas'yanov V.E., Rogovenko T.N. Russian Engineering Research. 1999. V. 6. p. 10.
 5. Kas'yanov V.E., Rogovenko T.N., Zajtseva M.M. Vestnik mashinostroenya. 2013. №. 5. pp. 10-15.
 6. Rogovenko T.N., Zajtseva M.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3848.
 7. Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2155.
 8. Teplyakova S.V., Kolesova A.A., Kosenko E.E. Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobilno-dorozhnoj akademii. 2016. № 2 (48). pp. 38-43.
 9. Kas'yanov V.E. Nauchnoe obozrenie. 2014. №11 (3). P. 785 - 788.
 10. Kosenko E.E., Cherpakov A.V., Kosenko V.V., Nedolujko A.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4303.
 11. Kas'yanov V.E., Kolesova A.A., Teplyakova S.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1694.
 12. S.V.Teplyakova, E.E.Kosenko, V.V.Kosenko, A.V.Cherpakov International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications"(PHENMA 2016) Surabaya, Indonesia, July 19-22, 2016, pp. 269.
-