



Исследование эксплуатационной надежности автомобилей при замене параметра сдвига распределения ресурса деталей закона Вейбулла

В.Е. Касьянов

д.т.н., профессор кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Е.Е. Косенко

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

e-mail: a123lok@mail.ru

В.В. Косенко

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

А.А. Котесова

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Р.В. Хван

аспирант Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Аннотация. В статье проведен анализ результатов расчета прочности и усталостного ресурса деталей машин при замене параметра сдвига распределения Вейбулла на первое значение вариационного ряда со-

вокупности конечного объема. Графическим методом определены значения параметров распределения закона Вейбулла для совокупности. Получены значения сдвига при размахе $R=1,3$ для твердости и при размахе $R=50$ для ресурса. В результате проведенных исследований установлена необходимость их учета в расчетах усталостного ресурса деталей машин.

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

Шведский инженер Валлоди Вейбулл (1887–1979) в 1930-х гг. провел усталостные испытания образцов для выборок из совокупности. Как показал последующий анализ исследования очень важного параметра – сдвига, определившего минимальные значения для выборочных данных, этот метод может быть успешно применен в расчетах усталостного ресурса [1–5].

Однако дальнейшие исследования, в том числе проведенные нашей научной лабораторией управления надежностью машин, показали, что информация об отказах при эксплуатации приходит не только от объекта выборки [6–11]. Дополнительно отказы фиксируются для всей совокупности эксплуатирующихся машин, узлов и деталей. Поэтому возникла необходимость в расчетах, например усталостного ресурса, в обязательном порядке использующем не только выборочную информацию, но и данные о совокупности машин и их составных частей.

На рис. 1 представлено:

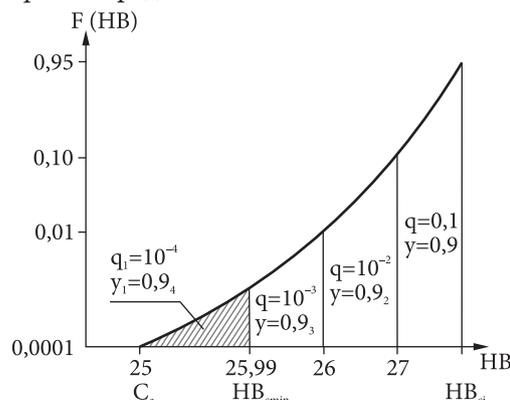


Рис. 1. Левая ветвь распределения совокупности значений твердости стали Ст3

- значение параметра сдвига распределения Вейбулла для совокупности (C_c);
- первое значение твердости вариационного ряда совокупности $HВ_{c1}$ (минимальное);
- доверительная вероятность $\gamma_1=0,94$, $q_1=10^{-4}$ и далее

$$\gamma = 0,9_3, q = 10^{-3};$$

$$\gamma = 0,9_2, q = 10^{-2};$$

$$\gamma = 0,9, q = 0,1.$$

Заштрихованная область свидетельствует о том, что в интервале $C_c - HВ_{c1}$ отсутствуют образцы стали Ст3, т.к. значений твердости меньше $HВ_{c1}$ не может быть (не корректно). Поэтому для расчета ресурса деталей следует использовать значение $HВ_{c1}$ взамен C_c .

Для графического метода перехода от параметров закона Вейбулла к параметрам совокупности конечного объема использовался метод Капура-Ламберсона [12], позволяющий достаточно просто определить параметры масштаба «а» и параметр формы «b». Параметр «с» определен посредством преобразования формулы интегрального вида закона Вейбулла.

При использовании графического метода для перехода от выборки к расчету параметров закона Вейбулла для совокупности конечного объема в ряде случаев возникает необходимость (при размахах параметров более 10) изменения шкалы по оси абсцисс в сторону уменьшения значений параметра. Этот подход является вынужденным в случае, когда продление аппроксимирующей прямой для выборки невозможно, т.к. прямая для совокупности оказывается за пределами шкалы.

В общем виде уравнение имеет вид:

$$HВ_{ci} = C_{ci} + A \sqrt[3]{-\ln(\gamma_i)}, \quad (1)$$

$$C_{ci} = HВ_i - A \sqrt[3]{-\ln(\gamma_i)}, \quad (2)$$

где $HВ_i$ – наименьшее значение совокупности; C_{ci} – сдвиг, полученный при анализе совокупности; γ – доверительная вероятность.

Для определения минимального значения:

$$HВ_{cmin} = C_c + A \sqrt[3]{-\ln(\gamma_1)}, \quad (3)$$

$$C_{c1} = HВ_{cmin} - A \sqrt[3]{-\ln(\gamma_1)}, \quad (4)$$

При рассмотрении выборочных значений с размахом $R \approx 1,3$ расчет будет иметь следующий вид.

Исходные данные:

Выборка: Ст3, $N=50$, $HВ_{min}=116$, $HВ_{max}=148$.

Параметры распределения Вейбулла (выборка) по методу максимального правдоподобия: $a=18,03$; $b=1,6$; $c=115,3$.

Параметры распределения Вейбулла для совокупности $N_c=10^4$: $A=a$; $B=b$;
 $C = HВ_{min} - A \cdot \sqrt[3]{-\ln(\gamma)}$.

$HВ_{min}$ для совокупности найдено графическим методом:

$$HВ_{min}=80,$$

$$C_c = 80 - 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9_4)} = 79,94.$$

Решение №1:

1. При $\gamma = 0,9_4$

$$HВ(C_c) = C_c + A \cdot \sqrt[3]{-\ln(\gamma)} = 79,94 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9_4)} = 80,$$

$$HВ(HВ_{min}) = HВ_{min} + A \cdot \sqrt[3]{-\ln(\gamma)} = 80 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9_4)} = 80,05.$$

Расхождение

$$\delta = \frac{HВ(HВ_{min}) - HВ(C_c)}{HВ(HВ_{min})} \cdot 100\% = 0,0749.$$

2. При $\gamma = 0,9_3$

$$HВ(C_c) = 79,94 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9_3)} = 80,18;$$

$$HВ(HВ_{min}) = 80 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9_3)} = 80,24,$$

$$\delta = 0,0747\%.$$

3. При $\gamma = 0,9_2$

$$HВ(C_c) = 79,94 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9_2)} = 80,95;$$

$$HВ(HВ_{min}) = 80 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9_2)} = 81,01,$$

$$\delta = 0,0741\%.$$

4. При $\gamma = 0,9$

$$HВ(C_c) = 79,94 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9)} = 84,35;$$

$$HВ(HВ_{min}) = 80 + 18,03 \cdot \sqrt[3]{-\ln(0,9)} = 84,41,$$

$$\delta = 0,0715\%.$$

Результаты расчета сведены в табл. 1.

Зависимость расхождения δ от вероятности $\gamma/100$ представлена на рис. 2.

Расчет ошибки, с учетом твердости и ресурса [13], проведен для случая замены параметра сдвига закона Вейбулла на первое значение вариационного ряда совокупности. С учетом размаха $R \approx 50$ расчет будет иметь следующий вид.

Таблица 1.

Результаты расчетов

γ	$HВ(C_c)$	$HВ(HВ_{min})$	$\delta, \%$
0,9 ₄	80	80,06	0,0749
0,9 ₃	80,18	80,24	0,0747
0,9 ₂	80,95	81,01	0,0741
0,9	84,35	84,41	0,0715

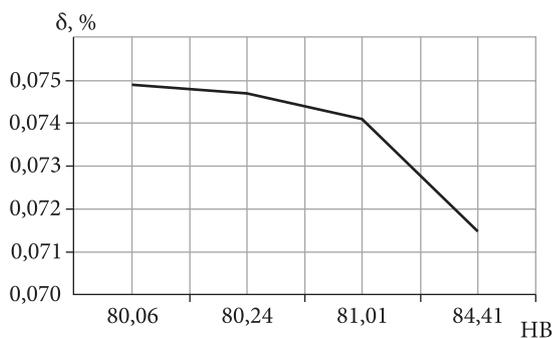


Рис. 2. Зависимость расхождения δ от первого значения вариационного ряда совокупности твердости

Параметры трехпараметрического закона распределения Вейбулла определены с использованием графического метода по схеме, показанной на рис. 3.

Совокупность: $a = 1800$; $b = 1,65$

$c = C_{cl}$ – определяем по формуле (4).

T_{pmin} для доверительной вероятности $\gamma = 0,9999$ составляет 26 ч.

T_{pmin} для совокупности найдено графическим методом

$$C_c = 26 - 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9_4)} = 19,22 \text{ ч.}$$

Решение №2:

1. При $\gamma = 0,9_4$

$$T_p(C_c) = C_c + A \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(\gamma)} = 19,22 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9_4)} = 25,99 \text{ ч. ,}$$

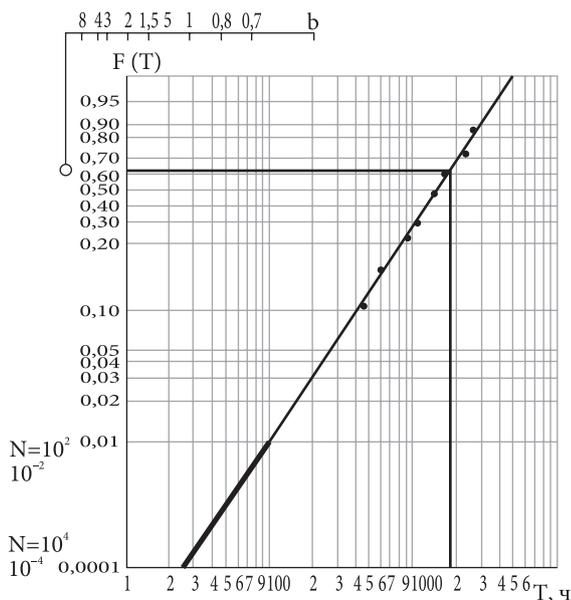


Рис. 3. Графический метод перехода от выборки к совокупности

$$T_p(T_{pmin}) = T_{pmin} + A \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(\gamma)} = 26 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9_4)} = 32,78 \text{ ч.}$$

Расхождение

$$\delta = \frac{T_p(T_{pmin}) - T_p(C_c)}{T_p(T_{pmin})} \cdot 100\% = 20,71.$$

2. При $\gamma = 0,9_3$

$$T_p(C_c) = 19,22 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9_3)} = 46,58 \text{ ч. ,}$$

$$T_p(T_{pmin}) = 26 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9_3)} = 53,37 \text{ ч.}$$

$$\delta = 12,72\%.$$

3. При $\gamma = 0,9_2$

$$T_p(C_c) = 19,22 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9_2)} = 129,98 \text{ ч. ,}$$

$$T_p(T_{pmin}) = 26 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9_2)} = 136,78 \text{ ч.}$$

$$\delta = 4,97\%.$$

4. При $\gamma = 0,9$

$$T_p(C_c) = 19,22 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9)} = 479,41 \text{ ч. ,}$$

$$T_p(T_{pmin}) = 26 + 1800 \cdot \sqrt[1,65]{-\ln(0,9)} = 486,21 \text{ ч.}$$

$$\delta = 1,39\%.$$

Результаты расчета сведены в табл. 2.

Зависимость расхождения δ от вероятности $\gamma/100$ представлена на рис. 4.

Анализ графика (рис. 2) показывает, что при замене параметра сдвига совокупности твердости на первое значение вариационного ряда твердо-

Таблица 2.

Результаты расчетов

	$T_p(C_c)$, ч.	$T_p(T_{pmin})$, ч.	δ , %
$\gamma=0,9_4$	25,99	32,78	20,71
$\gamma=0,9_3$	46,58	53,37	12,72
$\gamma=0,9_2$	129,98	136,78	4,97
$\gamma=0,9$	479,41	486,21	1,39

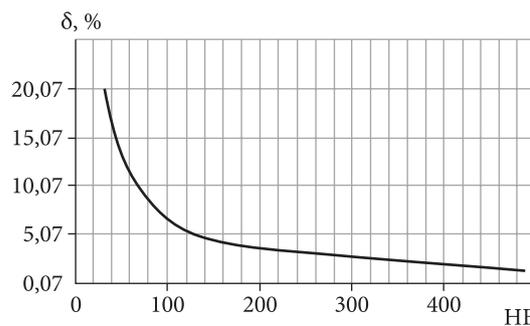


Рис. 4. Зависимость расхождения δ от первого значения вариационного ряда совокупности ресурса

сти расхождение имеет очень малое значение – от 0,069% до 0,075%. Это объясняется низким рассеиванием твердости с размахом $R = 1,3$.

Из графика (рис. 4) видно, что величина расхождения при замене параметра сдвига «С» на первое значение вариационного ряда совокупности изменяется от 1,4% до 20,7% при размахе $R = 50$ для выборочных данных.

Таким образом, замена некорректного параметра сдвига «С» закона Вейбулла первым значением вариационного ряда совокупности зависит от рассеивания параметра (размаха R), что необходимо учитывать в расчетах усталостного ресурса деталей машин.

Литература

1. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
2. Касьянов В.Е., Роговенко Т.Н., Шулькин Л.П. Основы теории и практики создания надежных машин // Вестник машиностроения. – 2003. – № 10. – С. 3.
3. 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.
4. 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.
5. Роговенко Т.Н., Зайцева М.М. Оценка оптимального значения вероятности безотказной работы деталей машин, на примере рукояти одноковшового экскаватора // Инженерный вестник Дона. 2016. Т. 43. № 4 (43). С. 84.
6. 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.
7. Беленький Д.М., Косенко Е.Е., Оганезов Л.Р. Минимальные значения и рассеивание механических характеристик строительных сталей // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 6. – С. 102–105.
8. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В. Моделирование стержней с дефектами, имеющих различные виды закрепления // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 27. – № 4. – С. 272.
9. 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.

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

11. 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.

12. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Машиностроение, 1980. – 604 с.

13. 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.

Investigation of Operational Reliability of Cars when Replacing the Parameter of the Discharge of Resource Distribution of Parts of the Weibull Law

V.E. Kasianov, doctor of technical sciences, professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

E.E. Kosenko, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

e-mail: a123lok@mail.ru

V.V. Kosenko, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

A.A. Kotesova, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Motor transport, construction and road facilities» of the Don state technical university; Rostov-on-Don

R.V. Khvan, graduate student of the Don state technical university; Rostov-on-Don

Summary. The analysis of the results of calculation of strength and fatigue resource of machine parts is performed in the article when the Weibull distribution shift parameter is replaced by the first value of the variational series of a set of final volume. The values of the distribution parameters of the Weibull law for the aggregate are determined graphically. The shift values at the span of $R = 1,3$ are obtained for hardness and at a span of $R = 50$ for the resource. As a result of the studies carried out, it is established that they need to be taken into account in calculating the fatigue recourse of machine parts.

Keywords: sampling, fatigue resource, total set of the final volume.

References:

1. Markovets M.P. Determination of mechanical properties of metals on hardness. *Mechanical engineering*. Moscow, 1979. 191 p.



2. Kasyanov V.E., Rogovenko T.N., Shchulkin L.P. Bases of the theory and practice of creation of reliable cars. *Messenger of mechanical engineering*. 2003, No. 10.
3. Kasyanov V.E., Rogovenko T.N. Probabilistic-statistical estimation of the gamma-life of a machine chassis. *Russian Engineering Research*. 1999, Volume 6. p. 10.
4. Kasyanov V.E., Rogovenko T.N., Zaytseva M.M. Providing the set fatigue resource of details of cars with use of small selections of basic data. *Messenger of mechanical engineering*. 2013, No. 5. pp. 10–15.
5. Rogovenko T.N., Zaytseva M.M. Assessment of optimum value of probability of no-failure operation of details of cars, on the example of a handle of the odnokovshovy excavator. *Engineering bulletin of Don*. 2016, Volume 43, No. 4 (43). p. 84.
6. Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Modeling of the cores with defects having different types of fixing. *Engineering bulletin of Don*. 2013, No. 4 Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2155.
7. Belenkiy D.M., Kosenko E.E., Oganezov L.P. Minimum values and dispersion of mechanical characteristics of construction steels. *News of higher educational institutions. Construction*. 2003, No. 6. pp. 102–105.
8. Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V. Modeling of the cores with defects having different types of fixing. *Engineering bulletin of Don*. 2013, Volume 27, No. 4. p. 272.
9. Teplyakova S.V., Kotesova A.A., Kosenko E.E. Rated and experimental determination of the maximum loading of an arrow of the one-bucket excavator. *Bulletin of the Siberian state automobile and road academy*. 2016, No. 2 (48). pp. 38–43.
10. Kasyanov V.E. A non-failure operation assessment method for selection and set of final volume. *Scientific review*. 2014, No. 11 (3). pp. 785 – 788.
11. Kosenko E.E., Cherpakov A.V., Kosenko V.V., Nedoluzhko A.I. Methods of assessment of operational reliability of cars. *Engineering bulletin of Don*. 2017, No. 3. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4303.
12. Kapoor K., Lamberson L. Reliability and design of systems. *Mechanical engineering*. Moscow, 1980. 604 p.
13. Kasyanov V.E., Kotesova A.A., Teplyakova S.V. The simplified definition of divergences between the minimum resources of selections and sets for responsible details of cars. *Engineering bulletin of Don*. 2013, No. 2. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1694.

Влияние генеральных совокупностей конечного объема на эксплуатационную надежность автомобилей при единичном и серийном производствах

В.Е. Касьянов

д.т.н., профессор кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Е.Е. Косенко

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

e-mail: a123lok@mail.ru

В.В. Косенко

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

А.А. Котесова

к.т.н., доцент кафедры «Автотранспортные, строительные и дорожные средства» Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Р.В. Хван

аспирант Донского государственного технического университета; г. Ростов-на-Дону

Аннотация. Авторами статьи приводятся результаты исследования твердости различных марок сталей с целью определения пределов выносливости по корреляционным зависимостям. Результаты полученных исследований использованы для определения ресурса деталей с использованием графического метода перехода от выборки к совокупности. Рассмотрена связь единичного и серийного производства через однородность выборочной статистики.

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