



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.

Определение показателей надежности несущих систем автомобилей в условиях их эксплуатации является актуальной задачей. Интерес представляют исследования надежности автомобилей при единичном и серийном производстве, а именно определение факторов, характеризующих их главный параметр – ресурс. Исследования в этой области основываются на экспериментах, проводимых с использованием образцов с прямоугольным сечением и с применением моделирования [1–9].

В связи со сложностью выполнения прямых исследований, связанных с вырезанием образцов из эксплуатируемых несущих конструкций автомобилей, образцы изготавливались из марок сталей, подобных эксплуатируемым [10].

В представленной работе значения твердости, полученные экспериментальным путем у марок сталей: Ст3, сталь 15 Г и сталь 15ХСНД, использовались для определения пределов прочности и выносливости по эмпирическим формулам корреляционной зависимости между твердостью и пределом выносливости стали.

Исследованию данных вопросов посвящены работы отечественных авторов: Марковца М.П., Добровольского И.И., Жукова А.А. и др., а также зарубежных – Хейвуда, Роша, Эйхингера, Крюсара, Корбера, Хемпеля. В результате анализа выбрана формула перехода (формула Марковца) с минимальной погрешностью расчета, составляющей 2,3%.

В основе дальнейших исследований лежит определение минимальных значений механических характеристик рассматриваемых сталей для последующего определения минимального ресурса.

Для оценки минимальных значений механических характеристик необходимо знать закон распределения механических характеристик. Как указано в работах [11, 12], в большинстве случаев для исследования элементов, выполненных из стали, наиболее предпочтительным является применение трехпараметрического закона 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. 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. 1). Выборочные данные ап-

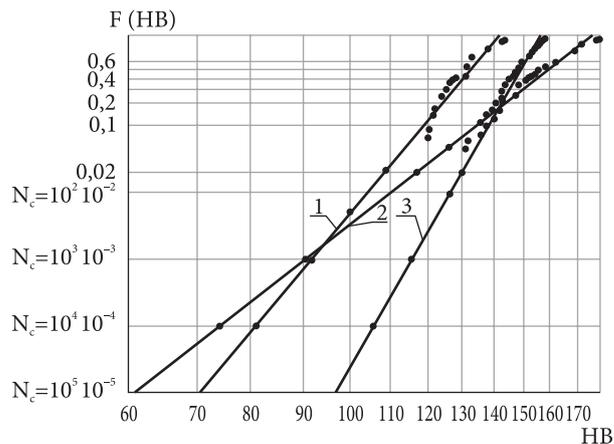


Рис. 1. Графический метод перехода от выборки к совокупности для трех марок сталей: 1 – Ст3; 2 – 15Г; 3 – 15ХСНД

проксимированы с помощью метода наименьших квадратов линейной функции, а указанная доверительная вероятность для сталей составит:

$$\text{Ст3} - P = 0,92; 15Г - P = 0,968; 15ХСНД - P = 0,97.$$

Рассматривая ресурс детали как главный параметр, будем учитывать, что разные по назначению детали из коробки передач, двигателя, тормозной системы и т.п. образуют выборки, например: 20, 40 или 75 деталей. Количество деталей – от 3 до 10 тысяч в рамках одной машины – представляют совокупность конечного объема, а какой-либо узел (сборочная единица) – это выборка из данной совокупности.

Главный параметр детали – ресурс $T_{рди}$ – зависит от параметров прочности, нагруженности, т.е. факторов, увеличивающих или снижающих прочность и действующие напряжения и другие:

$$T_{рди} = f(\sigma_{-1д}, \sigma_a, \beta, \kappa), \quad (1)$$

где $\sigma_{-1д}$ – предел выносливости деталей; σ_a – действующее напряжение в опасном сечении детали; β – коэффициент увеличения прочности детали; κ – коэффициент увеличения действующего напряжения.

Результаты расчетов минимальных значений рассматриваемых сталей приведены в табл. 1.

В табл. 2 включены минимальные значения твердости трех марок сталей для выборок (q_v) и совокупностей (Q_c).

Необходимо, чтобы этот расчетный ресурс с допустимой погрешностью относился к каждому объекту совокупности или выборки из нее (рис. 2) [11].

Таким образом, разные по назначению детали (валы, шестерни, цепи и т.п.), но с одинаковым ре-

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

Таблица 2.

Определение минимальной твердости для совокупности

№ п/п		n	q _в	HB _{min}	N _c	Q _c	HB _{сmin}	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

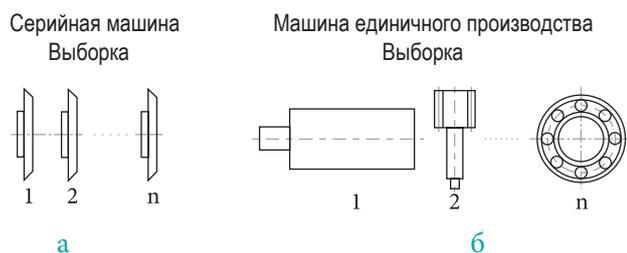


Рис. 2. Примеры для деталей машин: а – одинаковые детали (шестерни) по назначению и главному параметру T_{рдв}; б – одинаковые детали по главному параметру T_{рдв} но разные по назначению

сурсом составят однородную совокупность и выборку из нее.

Вместе с тем в качестве основного параметра следует применить минимальный ресурс детали.

Для примера рассчитаем ресурс элемента конструкции автомобиля, выполненного из стали Ст3. Из графика, изображенного на рис. 1, определяются минимальные значения твердости для выборки HB₁ = 108 кгс/мм² (выборка), при N_c = 10⁴, HB₁ = 81 кгс/мм² (совокупность).

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

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

Предел прочности Ст3 (выборка) [13] рассчитан по формуле (2):

$$\sigma_B = HB_B^{0,989} \cdot 0,365 = 108^{0,989} \cdot 0,365 = 37,4 \text{ кгс/мм}^2 \quad (2)$$

Предел выносливости Ст3 (выборка) рассчитан по формуле (3):

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

Ресурс элемента металлоконструкции автомобиля по выборке рассчитан по формуле (4):

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

где a_p – сумма относительных усталостных повреждений; m₁ – коэффициент угла наклона кривой усталости для многоциклового участка; N₀ – базовое число циклов; f – частота нагружения, Гц; σ_{св} – действующее средневзвешенное напряжение, кгс/мм².

Для совокупности рассчитаны параметры по формулам (5–7):

$$\sigma_B = HB_B^{0,989} \cdot 0,365 = 81^{0,989} \cdot 0,365 = 28,17 \text{ кгс/мм}^2 \quad (5)$$

$$\sigma_{-1B} = 0,432 \cdot \sigma_B + 2,2 = 0,432 \cdot 28,17 + 2,2 = 14,35 \text{ кгс/мм}^2 \quad (6)$$

$$T_{p \text{ сов}} = \frac{a_p \cdot \sigma_{-1g}^{m_2} \cdot N_0}{f \cdot \sigma^{m_2} \cdot 3600} = \frac{1 \cdot 14,35^{12} \cdot 2 \cdot 10^6}{4 \cdot 12^{12} \cdot 3600} = 1187 \text{ ч.}, \quad (7)$$

где m₂ – коэффициент угла наклона кривой усталости для сверхмногоциклового участка.

Коэффициент снижения ресурса детали:

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

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

Коэффициент увеличения ресурса:

$$K_{урс} = 20000 \text{ ч.} / 1187 \text{ ч.} = 16,85.$$

Коэффициент увеличения прочности:

$$K_{урс} = \sqrt[3]{16,85} = 1,265.$$

Необходимая твердость (прочность) для совокупности:

$$HВ_{упс} = 81 \cdot 1,265 = 102,5 \text{ кгс/мм}^2.$$

Следовательно, несколько большее увеличение прочности и ресурса будет достигнуто при переходе от Ст3 на сталь 15ХСНД ($K_{уп} = 105/81 = 1,3$) для совокупности конечного объема $N_c = 104$.

Заданный ресурс деталей должен обеспечиваться как в серийном, так и в единичном производстве.

При подробном рассмотрении блок-схемы, представленной на рис. 3, можно заключить, что для серийного производства определяющим является совокупность значений. Соответствие полученных выборочных значений данной совокупности определяют размеры деталей, прочность используемого материала и т.д. В случае серийного производства важно обеспечить репрезентативность выборки, составляющей значительное количество однородных деталей, имеющих примерно одинаковый ресурс.

В случае единичного производства, когда количество выборочных значений составляет 1-2 единицы, рассматриваются агрегаты (например, автоматическая коробка переключения передач), у которых выборку составляют детали, отличающиеся по назначению. Однако ресурс однородных

деталей в этом случае так же, как и в серийном производстве, имеет незначительное отличие.

Ключевым параметром детали для двух рассматриваемых производств является ресурс.

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. При рассмотрении же единичного и серийного производства машин, с учетом наличия большого количества статистических показателей, ресурс является главным ключевым параметром при оценке времени безотказной работы машин.

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., Шулькин 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. – Т. 43. – № 4 (43). – С. 84.
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. 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.



Рис. 3. Связь единичного и серийного производства через однородность выборочной статистики



9. 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.

10. 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.

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

12. 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.

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.

Influence of Populations of Final Volume on Operational Reliability of Cars by Single and Serial Productions

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 authors of the article give the results of the investigation of the hardness of various steel grades in order to determine the limits of endurance by correlation dependencies. The results of the obtained studies were used to determine the resource of details

using the graphic method of transition from sample to population. The relation of single and serial production through homogeneity of sample statistics is considered.

Keywords: sampling, fatigue resource, general totality of the final volume, homogeneity.

References:

1. Serensen S.V., Kogaev V.P., Shneyderovich R.M. The bearing ability and calculation of details of cars on durability. *Mechanical engineering*. Moscow, 1975. 488 p.

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

3. 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. p. 3.

4. 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.

5. 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.

6. 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 one-bucket excavator. *Engineering bulletin of Don*. 2016, Volume 43, No. 4 (43). p. 84.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

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.