

## Принципы и характеристика метода обеспечения надежности машин единичного производства

*В.Е. Касьянов*

*Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Целью описанного в статье метода является изложение методического подхода к решению (на наш взгляд впервые) проблемы обеспечения надежности машин единичного производства. Сформулирован ряд принципов, часть которых использованы из метода для серийных машин, а часть новых. Вместо генеральной совокупности бесконечного объема используется совокупность конечного объема. Однородность совокупности и выборки из нее обеспечивается равенством (с ошибкой 5-10%) главных параметров – минимальных ресурсов деталей одной машины, но деталей разных по назначению. Введено понятие самостенда при эксплуатационных ускоренных испытаниях для подтверждения расчетных ресурсов деталей.

**Ключевые слова:** обеспечение, надежность, машина, единичное производство, генеральная, совокупность конечного объема, однородность, выборка, самостенд.

### Введение

На протяжении последних 40-50 лет кафедра АСиДС (ТЭСаО, ПТ и МО) ДГТУ совместно с научной лабораторией управления надежностью машин в составе кафедры работала в направлении обеспечения их надежности. Результаты исследований опубликованы в ряде центральных журналов: Вестник машиностроения, Надежность и контроль качества, Стандарты и качество и др. Приняли участие в разработке двух ГОСТов, четырех методических рекомендаций ГОССТАНДАРТа, отраслевых методических материалов.

Все эти публикации подготовлены для серийных машин с применением статистических методов.

### Цели и задачи исследования

Сформировался ряд принципов (2,3,4) обеспечения надежности серийных машин, которые использованы при разработке нового метода обеспечения надежности машин единичного производства. Принципы 1,5,6 сформулированы для нового метода (единичного производства).

Основные принципы, использованные в методе.

1. Однородная выборка формируется из деталей не по назначению, а по ресурсу с допустимой погрешностью.
2. Используется совокупность конечного объёма.
3. Для совокупности применен закон Вейбулла без параметра сдвига, он заменен минимальным первым значением вариационного ряда.
4. Детали с внезапными усталостными отказами рассчитаны на минимальный ресурс с некоторым запасом, обеспечивающим абсолютную безотказность за назначенный ресурс.
5. Смежные детали – это часть испытательного стенда; детали всей машины образуют самостенд.
6. На период плановых и заявочных ремонтов и ТО необходимо иметь резервную машину.

### **Методы исследования**

Особенностью последних 50-60 лет развития машиностроения и применяемых вероятностно-статистических методов являлась обработка значительных массивов информации, например, выборок в 50, 100 и более единиц (машин, узлов, деталей).

Такие методы широко использовались при определении показателей надежности серийных машин [1-4].

Вместе с тем вопросы обеспечения надежности важнейших изделий единичного производства (автомобиль и вертолет президента страны, уникальный прокатный стан и вскрышной экскаватор, луноход, марсоход и др.) и необходимые в этих случаях статистические методы требуют своего решения.

Попытки найти в технической литературе рекомендации в этой области науки и практики не дали результата (возможно имеет место закрытая тематика).

Ключевыми вопросами при формировании выборок является их репрезентативность (наиболее часто использовалась) и однородность [9].

Выборка называется репрезентативной (представительной), если она достаточно хорошо представляет признаки генеральной совокупности.

Выборка однородна, если каждый объект выборки имеет главный параметр, одинаковый (или почти) с другими объектами выборки.

Совокупность или выборка из нее будут однородными, если главный параметр, например, минимальный ресурс будет одинаковым (с некоторой погрешностью) с другими деталями.

Примеры для деталей машин:

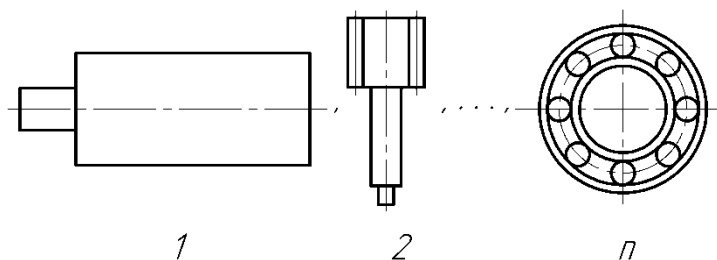
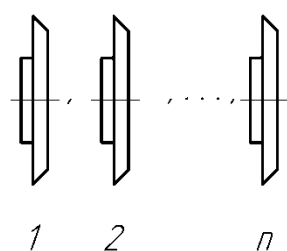
### ДЕТАЛИ

Серийная машина

Машина единичного производства

Выборка

Выборка



Одинаковые  $i$ -е детали (шестерни)

Одинаковые  $i$ -е детали по главному

по назначению

параметру  $T_{рди}$ , но разные

и главному параметру  $T_{рди}$

по назначению

Главный параметр  $i$ -й детали ресурс  $T_{рди}$  зависит от параметров прочности, нагруженности, т.е. факторов, увеличивающих или снижающих прочность и действующие напряжения и др.

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

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

Необходимо, чтобы этот расчетный ресурс с допустимой погрешностью относился к каждому объекту совокупности или выборки из нее [5,6].

Таким образом, разные по назначению детали (валы, шестерни, цепи и т.п.), но с одинаковым ресурсом составят однородную совокупность и выборку из нее.

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

Тогда однородность выборки (совокупности) будет определяться одинаковыми минимальными ресурсами  $i$ -х деталей  $T_{рди} \min$ :

$$T_{рди} \min \approx T_{рд2} \min \approx \dots \approx T_{рдп} \min \approx T_{нрд}$$

где  $T_{нрд}$  – назначенный ресурс до предельного состояния детали.

Основное условие для обеспечения одинаковых главных параметров деталей с внезапными отказами ресурса  $T_{рди}$  (машины единичного производства) – это расчет по формуле Велера-Серенсена-Когаева по экспериментальным исходным статистическим данным усталостной прочности и нагруженности.

При наличии вероятностных распределений выборочных параметров  $\sigma_{-1}$ ,  $\sigma_a$ ,  $\beta$ ,  $k$  и других выполняется моделирование по зависимости (1) с дальнейшим переходом к распределению совокупности и далее к нахождению ее минимального значения для искомых параметров (рис.1) [7,8].

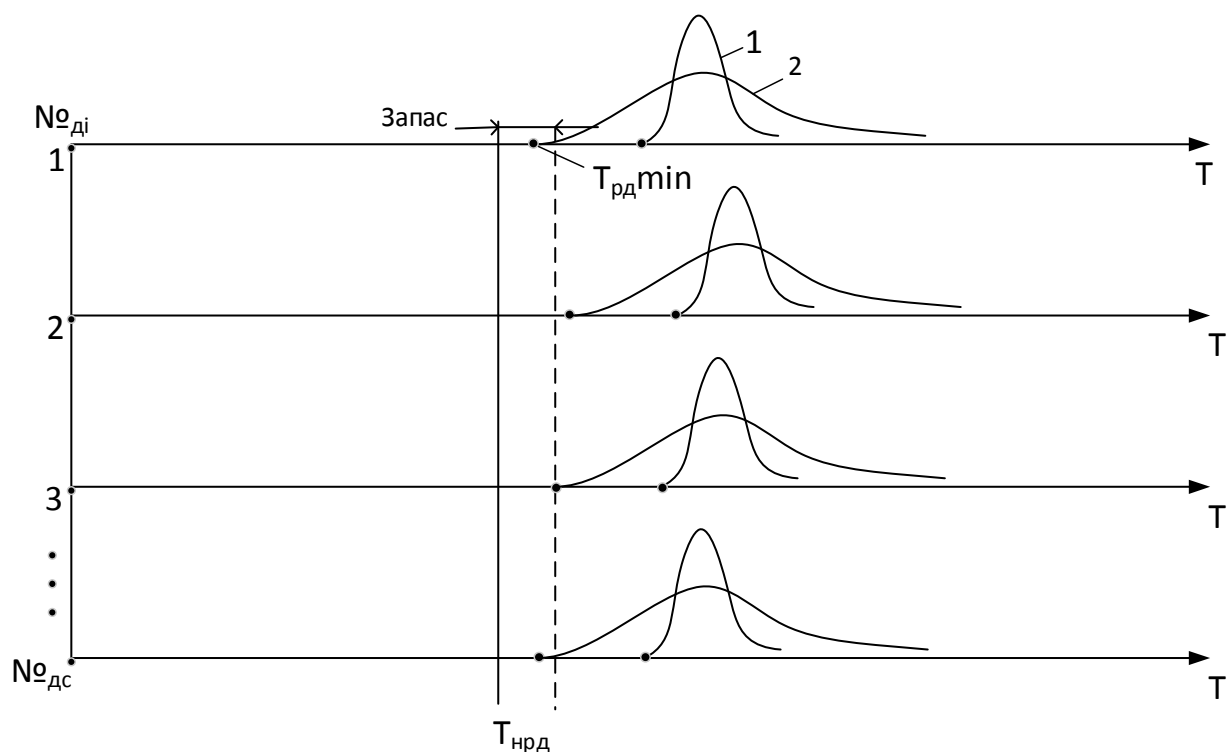


Рис. 1. Вероятностные распределения ресурса выборок и совокупностей деталей с усталостными внезапными отказами: 1-выборка; 2-совокупность

Информация для расчета ресурса детали имеется на рис.2

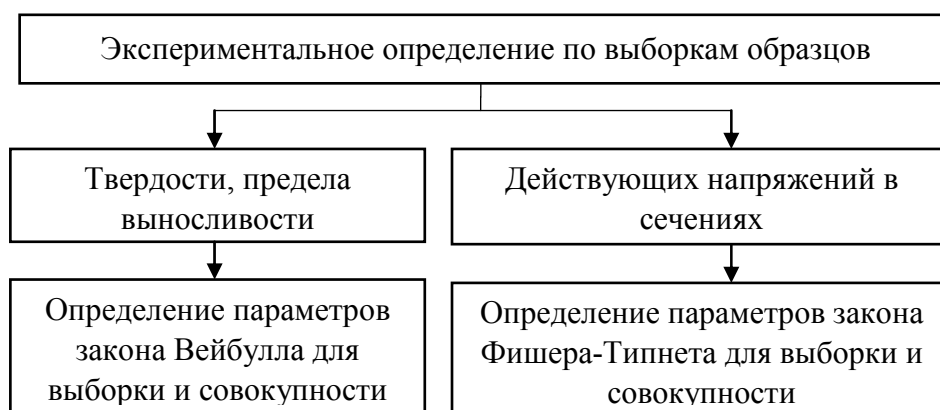


Рис. 2. Информация для расчета ресурса детали

Алгоритм определения параметров выборки и совокупности представлены на рис. 3



Рис. 3. Алгоритм определения параметров вероятностных распределений выборки и совокупности усталостного ресурса детали.

Весь состав деталей машины необходимо разделить с учетом влияний отказов деталей на отказ машины (рис 4)

Детали с внезапным отказом	Детали с постепенным отказом	Ненагруженные детали
Усталость	Износ, усталость	Отказов нет
Не диагностируются	Диагностируются, отказы предупреждаются заявочными или плановыми заменами	
	Не вызывают отказ машины	

Рис.4. Влияние видов повреждения деталей на безотказность машины (узла).

Из рассмотрения отказов деталей видно, что на безотказность машины (узла) влияют внезапные усталостные отказы деталей [9, 10]. Для предупреждения таких отказов необходимо выполнение условия:  $T_{нрд} < T_{рд\ i\ min}$ , где

$T_{нрд}$  – назначенный ресурс детали;  $T_{рд\ i\ min}$  – минимальный ресурс  $i$ -й детали.

Поэтому, исходя из данного условия, требуется дополнительно к основной машине иметь резервную с таким же характером работы.

Работу основной и резервной машины можно представить в виде схемы (рис.5).



Рис.5. Алгоритм испытания на надежность двух автомобилей

Применительно к серийной машине используются показатели по её свойствам надежности, как для машины в целом, так и для узлов и деталей [16, 17]. Кроме этого применяются комплексные показатели: коэффициенты

готовности и технического использования. Эти же показатели определяются и для машины единичного производства.

### **Результаты эксперимента**

Важное место в системе обеспечения надежности машин единичного производства занимают испытания, которые должны подтвердить расчетные ресурсы деталей машины (узла).

Анализ различных видов испытаний показал, что наиболее эффективным видом является эксплуатация машины (узла), почти каждая деталь проходит испытания и одновременно служит нагружающим элементом для другой детали (рис.5).

Таким образом, машина (узел) превращается в самостенд. При отказе какой-либо детали ее необходимо заменять и продолжать эксплуатацию машины (рис.6).

Эксплуатационные ускоренные по времени испытания одной машины как самостенда позволяют получить объективную информацию для определения показателей надежности машины, узлов и деталей. Такие испытания при работе в три смены по 22 часа в сутки позволяют отработать за 330 дней в году  $22 \cdot 330 = 7260$  часов, за два года 14520 часов, а за два с половиной года 18150 часов, что примерно соответствует назначенному ресурсу машины.



На рис. 6 представлена схема обеспечения надежности основной 1 и резервной 2 машины.



Рис.6. Схема обеспечения надежности основной и резервной машины

### Вывод

Таким образом, для обеспечения надежности машины единичного производства, когда на первый взгляд отсутствует возможность использования наработанных вероятностно-статистических и других методов обеспечения надежности серийных машин, имеется реальная возможность применить изложенный выше метод.

### Литература

1.Касьянов В.Е. Испытания экскаваторов в эксплуатации и расчет показателей их надежности на ЭВМ // Надежность и контроль качества. 1976. №6. С.15-19.

2.Касьянов В.Е. Интегральная оценка, повышение и оптимизация надежности машин // Вестник машиностроения. 1990. №4. С. 7-8.

3.Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высшая школа, 1991. 319 с.

4.Коновалов Л.В. Роль и приоритетные направления конструктивной надежности машин при современных тенденциях развития машиностроения // Надежность и контроль качества. 1997. №5. С. 3-17.

5. Касьянов В.Е. Принципы создания машины абсолютной безотказности. // Деп. ВИНТИ. 2014. 8 с.

6. Касьянов В.Е., Роговенко Т.Н., Щулькин Л.П. Основы теории и практики создания надежных машин // Вестник машиностроения. 2003 №10. С. 3-6

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

8. Касьянов В.Е. Принципы создания практически безотказных машин // Стандарты и качество. 1988 №7. С. 39-42.

9. Касьянов В.Е., Щулькин Л.П., Котесова А.А., Котова С.В. Алгоритм определения параметров прочности, нагруженности и ресурса с помощью аналитического перехода от выборочных данных к данным совокупности // Инженерный вестник Дона, 2012, №4-2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236

10. Щулькин Л.П. Модернизация технологической линии по производству керамического кирпича. // Инженерный вестник Дона, 2013, Т. 27, № 4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2177

11. Genschel U., Meeker W. A Comparison of Maximum Likelihood and Median Rank Regression for Weibull Estimation. Department of Statistika Iowa State University Ames. IA 50011, 2010. 311 p.

12. 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.

### References

1. Kas'yanov V.E. Nadezhnost' i kontrol' kachestva. 1976. №6. Pp.15-19.
2. Kas'yanov V.E. Vestnik mashinostroeniya. 1990. №4. Pp. 7-8.



3. Kogaev V.P., Drozdov Yu.N. Prochnost' i iznosostoykost' detaley mashin [Strength and wear resistance of machine parts]. M.: Vysshaya shkola, 1991. 319 p.
4. Konovalov L.V. Nadezhnost' i kontrol' kachestva. 1997. №5. Pp. 3-17.
5. Kas'yanov V.E. Dep. VINITI. 2014. 8 p.
6. Kas'yanov V.E., Rogovenko T.N., Shchul'kin L.P. Vestnik mashinostroeniya. 2003. №10. Pp.3-6
7. Kas'yanov V.E. Nauchnoe obozrenie 2014 g. №11-3. Pp. 785-788
8. Kas'yanov V.E. Standarty i kachestvo. 1988. №7. Pp. 39-42.
9. Kas'yanov V.E., Shchul'kin L.P., Kotesova A.A., Kotova S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. №4-2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236)
10. Shchul'kin L.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. T. 27. № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2177](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2177)
11. Genschel U., Meeker W. A Comparison of Maximum Likelihood and Median Rank Regression for Weibull Estimation. Department of Statistika Iowa State University Ames. IA 50011, 2010. 311 p.
12. Kas'yanov V.E., Rogovenko T.N. Probabilistic-statistical estimation of the gamma-life of a machine chassis. Russian Engineering Research. 1999. V. 6. r. 10.