

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13842212>

## РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДВИГАТЕЛЯ

**Каримходжаев Н.,**

к.т.н., доцент,

Андижанский институт машиностроения.  
Республика Узбекистан .г.Андижан

**Косимов И.С.,**

старший преподаватель,

Андижанский институт машиностроения.  
Республика Узбекистан .г.Андижан  
[iqosimov1970.andmi@gmail.com](mailto:iqosimov1970.andmi@gmail.com)

### **АННОТАЦИЯ.**

*В данной статье рассматриваются основные характеристики закономерностей процессов восстановления деталей автотракторных двигателей, работающих в жарких климатических условиях эксплуатации республики Узбекистан.*

**Ключевые слова.** *Двигателей внутреннего сгорания, надёжность, эксплуатация, отказы, средняя наработка, функция потока отказов, закономерностей процессов восстановления.*

## **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF LAWS GOVERNING THE PROCESSES OF RESTORATION OF ENGINE ELEMENTS**

### **ABSTRACT**

*This article discusses the main characteristics of the patterns of restoration processes for parts of automotive engines operating in hot climatic operating conditions of the Republic of Uzbekistan.*

**Keywords.** *Internal combustion engines, reliability, operation, failures, average operating time, failure flow function, patterns of recovery processes.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из важнейших характеристик современных двигателей внутреннего сгорания является их надёжность, позволяющая производить количественную оценку изменения качества двигателя по времени его работы. Такая оценка значительно облегчает разработку комплексных мероприятий по дальнейшему совершенствованию существующих и созданию новых конструкций двигателей, способствует повышению эффективности их эксплуатации.[5,6].

## **ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ**

Элементами двигателя являются агрегаты, механизмы и системы, а по отношению к агрегатам и системам — детали. Двигатель средней мощности объединяет более 10 механизмов и систем, которые состоят из 40—45 агрегатов и 750—800 деталей. В процессе эксплуатации около 45—55% агрегатов и деталей теряют свои первоначальные свойства, а примерно 30—35% деталей имеют срок службы меньше, чем двигатель, и требуют особого внимания в работе. Около 20—25% деталей являются определяющими надёжность двигателя и чаще других требуют замены и ремонта, вызывают наибольшие простои двигателя и автотракторных средств. Стоимость устранения отказов намного превышает стоимость ремонта или замены вышедших из строя деталей, двигателя. Так, стоимость ТО и ремонта в 6—7 раз, а трудоёмкость до 60 раз больше, чем соответственно стоимость нового двигателя и трудоёмкость его изготовления [6,10].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Надёжность технического объекта любой сложности должна обеспечиваться на всех этапах его жизненного цикла: от начальной стадии выполнения проектно-конструкторской разработки до заключительной стадии эксплуатации. Основные условия обеспечения надёжности состоят в строгом выполнении правила, называемого триадой надёжности: надёжность закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении и поддерживается в эксплуатации. Без строгого выполнения этого правила нельзя решить задачу создания высоконадёжных изделий и систем путем компенсации недоработок предыдущего этапа на последующем.

Если в процессе проектирования должным образом не решены все вопросы создания устройства или системы с заданным уровнем надёжности и не заложены конструктивные и схемные решения, обеспечивающие безотказное функционирование всех элементов системы, то эти недостатки порой невозможно устранить в процессе производства и их последствия приведут к

низкой надежности системы в эксплуатации. В процессе создания системы должны быть в полном объеме реализованы все решения, разработки и указания конструктора (проектировщика).

Важное значение в поддержании, а точнее в реализации необходимого уровня надежности имеет эксплуатация. При эксплуатации должны выполняться установленные инструкциями условия и правила применения устройств, к примеру, электроустановок; своевременно приниматься меры по изучению и устранению причин выявленных дефектов и неисправностей; анализироваться и обобщаться опыт использования устройств.

Процесс изменения технического состояния у значительной части изделий двигателя носит плавный характер, в конечном счёте приводящий к возникновению постепенных отказов. Характер зависимости при этом может быть различным (рис. 1).

Закономерность изменения параметров технического состояния двигателя в случае постепенных отказов хорошо-может быть описана функцией: целой рациональной функцией второго порядка [4,6]

$$y = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + \dots + a_nt^n \quad (1)$$

Зная функцию  $y=f(t)$  и предельную величину параметра технического состояния  $y_n$ , из уравнения  $t = \varphi(y)$  можно определить средний ресурс узла, агрегата и самого двигателя. Часто закономерности изменения параметров (например, зазора между кольцом и цилиндром) определяются линейными уравнениями вида

$$y = a_0 + a_1t$$

где  $a_1$  — интенсивность изменения параметра технического состояния, зависящая от конструкции или условия эксплуатации изделия.

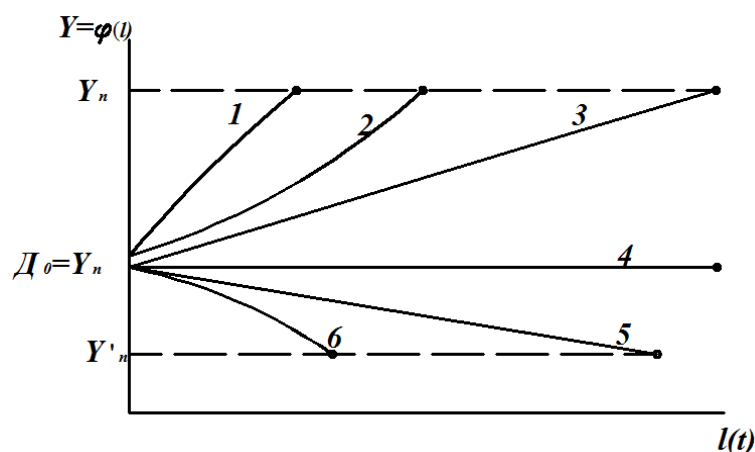


Рис. 1. Вероятные формы зависимости параметра технического состояния ( $Y$ ) от времени ( $t$ ) работы или пробега ( $l$ )

1, 2, 3 –увеличение параметра;  $Y_n, Y_n$  – предельные значения параметра

где,  $a_0$  — начальные параметры технического состояния двигателя,  $t$  — наработка (время работы или пробег) двигателя;  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  — коэффициенты, определяющие характер и степень зависимости

у от  $t$ , или степенной функцией —

$$y = a_0 + a_1 t^b \quad (2)$$

где  $a_1$  и  $b$  — коэффициенты, определяющие характер и интенсивность изменения параметра технического состояния.

Рассмотренные закономерности изменения характеризуют тенденцию изменения параметров технического состояния двигателя и позволяют определить средние наработки до момента наступления предельного состояния у детали, агрегата механизма и самого двигателя.

При эксплуатации двигателя важное место имеет процесс восстановления работоспособности его деталей, узлов, механизмов и, следовательно, самого двигателя. Процесс восстановления, как и надёжность, происходит в соответствии с определенной закономерностью, знание которой позволяет решить вопросы по рациональной организации производства восстановления и эксплуатации двигателей. С помощью закономерностей процессов восстановления изучают взаимосвязи между показателями надёжности и суммарным потоком отказов для группы двигателей, а сам процесс восстановления характеризует возникновение и устранение отказов и неисправностей двигателя по времени. К важнейшим характеристикам закономерностей процессов восстановления относится средняя наработка до  $k$ -го отказа [6.910,]:

$$\bar{x}_k = \bar{x}_1 + \bar{x}_{12} + \bar{x}_{23} \dots + x_{k-1}, \quad k = \bar{x}_1 + \sum_{k=2}^n \bar{x}_{k-1,k}, \quad (3)$$

где  $x_1$  - средняя наработка до первого отказа;  $x_{1,2}$ -средняя наработка между первым и вторым отказом;  $\bar{x}_{2,3}$  — вторым и третьим и т. п. События  $x_1, x_2, \dots, x_k$  называются процессом восстановления.

Средняя наработка между отказами для  $n$  двигателей.

Средняя наработка между первым и вторым отказами,

$$\bar{x}_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{12}}{n}, \text{ между } (k-1)\text{-м и } k\text{-м } x_{2-1,k} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{k-1,k}}{n}. \quad (4)$$

## ОБСУЖДЕНИЕ

Коэффициент полноты восстановления ресурса характеризует степень сокращения ресурса после ремонта, т. е. качество выполненного ремонта ( $0 \leq \eta \leq 1$ ). Сокращение ресурса после первого и последующих ремонтов объясняется тем, что при частичной замене заменяются только отказавшие детали в узле или агрегате, при котором значительно сокращается надёжность других деталей, особенно сопряжённых пар; используемые запасные части и материалы имеют иное качество, чем при изготовлении двигателя, например, восстановленные детали; организация и технология производства ремонтов имеют разные уровни [10.11].

Ведущая функция потока отказов (функция восстановления)  $\Omega(x)$  определяет накопленное количество первых и последующих отказов двигателя к моменту (наработке)  $x$ . Из рис.1 следует, что из-за вариации наработок на отказы происходит их смещение, а функции вероятностей первых и последующих отказов  $F_1, F_2, \dots, F_k$  частично накладываются друг на друга. Поэтому если вероятное количество отказов, например, к пробегу  $x_1$  (рис. 1), определяется как  $\Omega(x) = F_1(x)$ , то для момента  $x_2$  общее число отказов определяется суммированием вероятностей первого  $F_1(x_2)$  и второго  $F_2(x_2)$  отказов. В связи с чем  $\Omega(x_2) = F_1(x_2) + F_2(x_2)$ , а в общем случае,

$$\Omega(x) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(x). \quad (5)$$

Параметр потока отказов  $\omega(x)$  характеризует плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого элемента двигателя для данного момента времени или пробега:

$$\omega(x) = \Omega'(x) = \sum_{k=1}^{\infty} f_k(x), \quad (6)$$

где  $f_k(x)$  — плотность вероятности возникновения отказа. Другими словами,  $\omega(x)$  — это относительное число отказов, приходящееся на единицу времени работы или пробега одного элемента двигателя. Следует отметить, что ведущая функция и параметр потока отказов определяются аналитическим способом лишь для некоторых видов законов распределения, например, для экспоненциального закона:  $\Omega(x) = x\omega = \frac{x}{\eta x_1}$ ,  $\omega = \frac{1}{\eta x_1} = const$  при  $\eta = 1$ ,  $\omega = \frac{1}{x} = const$

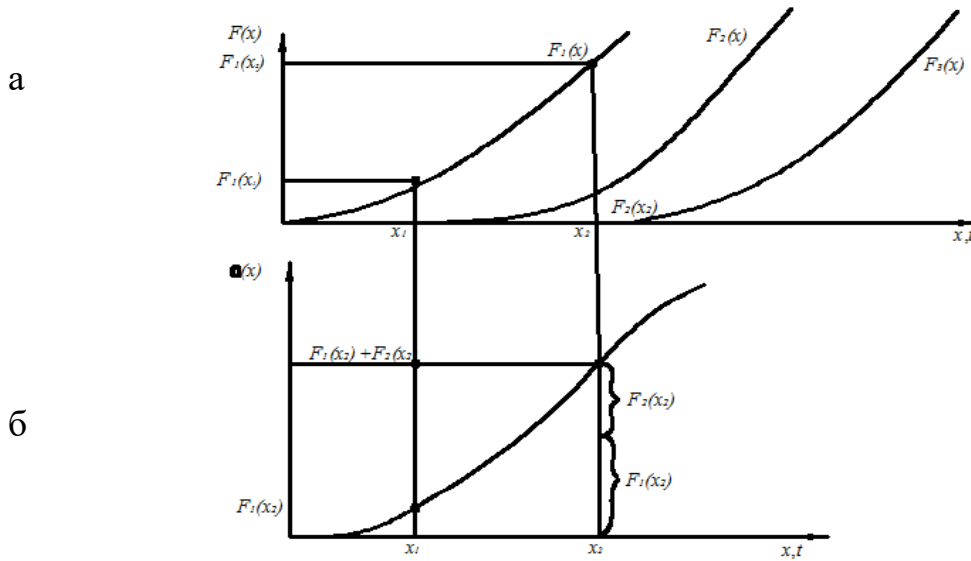


Рис. 1. Ведущая функция потока отказов:

а- накопленное количество отказов; б — функция вероятностей отказов  $F_1(x_2)$  для нормального закона

$$F(x) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{x - k\eta\bar{x}_1}{\sigma k}\right), \quad (7)$$

$$\omega'(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}k} e^{-\frac{(x - k\eta\bar{x}_1)^2}{2\sigma^2 k^2}} \quad (8)$$

где  $\Phi(z)$ -нормированная функция для  $z = \frac{x - k\eta\bar{x}_1}{\sigma\sqrt{k}}$ ;  $k$ - число отказов (замен).

**Пример.** Нарботка до первой замены поршневых колец автомобильного двигателя из-за износа составляет 150 тыс. км, среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 35$  тыс. км, коэффициент восстановления

$\eta = 0,7$ . Определить возможное число замен при пробеге автомобиля 300 тыс. км.

По формуле (5) последовательно вычисляем значения  $F_1, F_2, F_3$ , и т. п.:

$$F_1(300) = \Phi\left(\frac{300 - 1 \cdot 150}{35}\right) = \Phi(4,3) = 1;$$

$$F_2 = 300 = \frac{300 - 0,7 \cdot 2 \cdot 150}{35} = \Phi(2,6) = 0,995;$$

далее  $F_3(300) = 0,945$ ;  $F_4 = 0,0003$ . Ввиду того, что  $F_4$  имеет малое значение, последующие расчёты для  $F_5$  и др. можно не производить. Получим, что к

пробегу 300 тыс. км возможное число замен колец составит,  $\Omega(300) \approx \sum_{k=1}^4 \Phi(z) = 2,9$

Таким образом, за счёт применения значений параметра потока отказов можно определить расход деталей за любой заданный период работы двигателя в эксплуатации. Однако, следует отметить, что полученное аналитическое значение может иметь некоторое отклонение от расчетного исходя из условий эксплуатации двигателя. Следовательно, с учетом места эксплуатации двигателей необходимо внести поправочные коэффициенты.

На практике для упрощения расчётов и анализа изменения параметра потока отказов в течение года часто принимают  $\omega = \text{const}$ . Это позволяет рассматривать потоки как простейшие или пуассоновские, обладающие рядом важных в прикладном смысле свойств: стационарности, ординарности и отсутствия последствия.

Если поток является стационарным, то количество отказов за период  $x$  можно найти как  $\Omega'(x) = x/\eta\bar{x}$

Ординарность означает, что одновременное возникновение двух отказов у двигателя практически маловероятно.

Отсутствие последствия показывает независимость характера потока от числа ранее поступивших отказов и моментов их возникновения. На практике суммирование более 6—8 элементарных потоков приводит к образованию простейшего потока. Вероятность возникновения определенного числа отказов в течение времени определяется законом Пуассона,

$$R_k(t) = \frac{(\omega t)^k}{k!} e^{-\omega t}, \quad (9)$$

где,  $k=0, 1, 2, \dots$ , — число отказов за время  $t$ ;  $\omega$  — параметр потока отказов.

В практике принимают  $t=1$  (1 ч, 1 неделя и т. д.),  $\omega t = \Omega' = a$  — среднее число отказов за период  $t$ . Тогда

$$P_{k,a} = \frac{a^k}{k!} e^{-a} \quad (10)$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс восстановления, как и надёжность, происходит в соответствии с определенной закономерностью, знание которой позволяет решить вопросы по рациональной организации производства восстановления и эксплуатации двигателей. С помощью закономерностей процессов восстановления изучают взаимосвязи между показателями надёжности и суммарным потоком отказов для группы двигателей, а сам процесс восстановления характеризует возникновение и устранение отказов и неисправностей двигателя по времени. Отдельные детали изделия могут характеризоваться различными законами распределения времени безотказной работы и времени восстановления. Оценку надёжности деталей (узлов) изделия не целесообразно связывать с видом функции распределения ресурсов или отказов, чтобы избежать возможных ошибок при выборе вида распределения. Повышение точности оценки значений показателей надёжности элементов может быть достигнуто за счёт числа опытных данных и их «инженерной достоверности».

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Андреев А.В. Теоретические основы надёжности технических систем /учебное пособие/ А,В. Андреев, В. В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. — 164
2. Григорьев М.А., Долецкий В.А. Обеспечение надёжности двигателей. - М.: Изд-во стандартов. 1978. - 324 с.
3. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надёжности./ основные характеристики надёжности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Москва : ЛИБРОКОМ, 2012. - 582 с.
4. Долгин В. П. Надёжность технических систем : учеб. по-собие / В. П. Долгин, А. О. Харченко. — М. : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2018. — 167 с.
5. Крамаренко Г.В., Салимов А.У., Каримходжаев Н.Т, Каюмов К.К. Качество топлива и надёжность автотракторных двигателей. - Ташкент. Фан. 1992. – 118 с.



6. Основы теории надежности: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль подготовки «Автомобильный сервис») / А.М. Третьяков; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2016 – 106 с.

7. Надежность технических систем и техногенный риск : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / С. П. Тимошенко, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко. —М. : Издательство Юрайт, 2017. — 502 с. — Серия : Бакалавр и магистр. Академический курс

8.Тимошенко С. П. Основы теории надежности : учебник и практикум для академического бакалавриата / С. П. Тимошенко, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко. — Мо-сква : Юрайт, 2019. — 445 с.

9. Эксплуатационная надежность технических систем: учеб. пособие / А.Н. Абрамов. – М.: МАДИ, 2019. – 120 с.

10. Косимов И.С., Алматаев Т.О., [Усовершенствованный метод притирки автотракторных валовых деталей](#). / Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сборник научных трудов : в 2 томах / – Минск : БНТУ, 2022. – Т. 1. – С. 306-309.

11. Каримходжаев Н., Косимов И.С., [“Современная технология в автомобильной промышленности Узбекистана”](#)/ Ijodkor o‘qituvchi ilmiy-uslubiy jurnal 2024/4/5 Tom1 (38), 26-31 с.

12..[https://studfile.net/preview/Порядок\\_решения\\_задач\\_на\\_надежность\\_\(studfile.net\)](https://studfile.net/preview/Порядок_решения_задач_на_надежность_(studfile.net))

13..[https://studopedia.su/15\\_160131\\_opredelenie-i-raschet-pokazateley-nadezhnosti.html](https://studopedia.su/15_160131_opredelenie-i-raschet-pokazateley-nadezhnosti.html)