



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ



Студенттер мен жас ғалымдардың  
«ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ - 2014» атты  
IX халықаралық ғылыми конференциясы

IX Международная научная конференция  
студентов и молодых ученых  
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ - 2014»

The IX International Scientific Conference for  
students and young scholars  
«SCIENCE AND EDUCATION-2014»

2014 жыл 11 сәуір  
11 апреля 2014 года  
April 11, 2014



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың  
«Ғылым және білім - 2014»  
атты ІХ Халықаралық ғылыми конференциясының  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
ІХ Международной научной конференции  
студентов и молодых ученых  
«Наука и образование - 2014»**

**PROCEEDINGS  
of the IX International Scientific Conference  
for students and young scholars  
«Science and education - 2014»**

**2014 жыл 11 сәуір**

**Астана**

**УДК 001(063)**  
**ББК 72**  
**Ғ 96**

Ғ 96

«Ғылым және білім – 2014» атты студенттер мен жас ғалымдардың ІХ Халықаралық ғылыми конференциясы = ІХ Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2014» = The IX International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2014». – Астана: <http://www.enu.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie/>, 2014. – 5831 стр. (қазақша, орысша, ағылшынша).

ISBN 978-9965-31-610-4

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

**УДК 001(063)**  
**ББК 72**

ISBN 978-9965-31-610-4

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 2014

## РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Тастемиров Даурен Есенович

jetisai\_dauren@mail.ru

Магистрант 1-курса Транспортно-энергетический факультет,

ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

Научный руководитель - И.о. профессора кафедры ТТТ и Т, д.т.н. Н.А. Данияров

Все элементы любой восстанавливаемой системы можно разбить на два класса: невосстанавливаемые и восстанавливаемые. К первому классу относятся такие элементы, как валы, конденсаторы, сопротивления, электронные полупроводниковые приборы и т.п. Ко второму – редукторы, силовые муфты, фильтры, маслонасосы, гидро и пневмодвигатели, генераторы, электродвигатели, вращающиеся преобразователи и др.

Надежность восстановленных (отремонтированных) элементов естественно будет ниже, чем новых элементов, следовательно, поток их отказов при работе сложной системы будет в общем случае нестационарным. Это означает, что количественные характеристики надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых элементов должны быть разными.

Основными количественными характеристиками надежности невосстанавливаемых элементов в процессе работы могут быть: вероятность безотказной работы  $P(t)$ , среднее время безотказной работы  $T$ , частота  $a(t)$  и интенсивность отказов  $\lambda(t)$ . Эти же характеристики пригодны и для восстанавливаемых элементов, если они используются в системе (аппаратуре) до первого отказа.

Надежность восстанавливаемых элементов, кроме указанных выше характеристик, должна еще оцениваться средним временем между соседними отказами и средней частотой отказов  $1/T$ .

Наиболее полно характеризовать надежность элементов можно частотой отказов, так как она является плотностью распределения времени возникновения отказов и поэтому полностью описывает эти случайные величины с вероятностной точки зрения. Однако плотность распределения бывает достаточно трудно определить экспериментально. Кроме того, она является сложной функцией времени. По этой же причине нецелесообразно оценивать надежность восстанавливаемых элементов по среднему времени между соседними отказами. Таким образом, наиболее удобными характеристиками надежности элементов являются вероятность безотказной работы и интенсивность отказов, а для восстанавливаемых элементов, кроме того и средняя частота отказов. Так как указанные характеристики однозначно связаны между собой, то достаточно знать одну из них, а остальные могут быть вычислены по ней.

Наиболее удобной характеристикой надежности элементов является интенсивность отказов  $\lambda(t)$ . Это объясняется следующим:

1)  $\lambda(t)$  элементов «нестареющих» систем (автоматические системы, системы электроники) на участке времени нормальной работы является величиной постоянной, это позволяет оценивать надежность таких элементов числом, в отличие от вероятности

безотказной работы и средней частоты отказов, которые всегда являются сплошными функциями времени;

2)  $\lambda(t)$  во многих случаях позволяет наиболее просто вычислить остальные количественные характеристики не только элементов, но и сложных систем;

3)  $\lambda(t)$  наиболее просто можно получить экспериментально.

Рассмотрим влияние надежности элементов на надежность восстанавливаемых систем. Оценку влияния надежности элементов на надежность сложной системы произведем при следующих упрощающих предположениях:

- отказы элементов являются событиями случайными и независимыми;
- отказы любого одного элемента ведут к отказу всей системы;
- все элементы в смысле надежности равноценны;
- поток отказов элементов является простейшим.

Вероятность безотказной работы системы  $P_c$ :

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t) = e^{-\lambda_c t}, \quad (1)$$

$$\lambda_c = N \cdot \lambda_i, \quad (2)$$

где  $\lambda_i, \lambda_c$  - интенсивность отказов элементов и системы, соответственно;  $N$  - число элементов в системе;  $P_i(t), P_c(t)$  - вероятность безотказной работы элемента и системы в течение времени  $t$ .

На рисунке 1 показана зависимость  $P_i = f(\lambda_i t)$  для систем различной сложности.

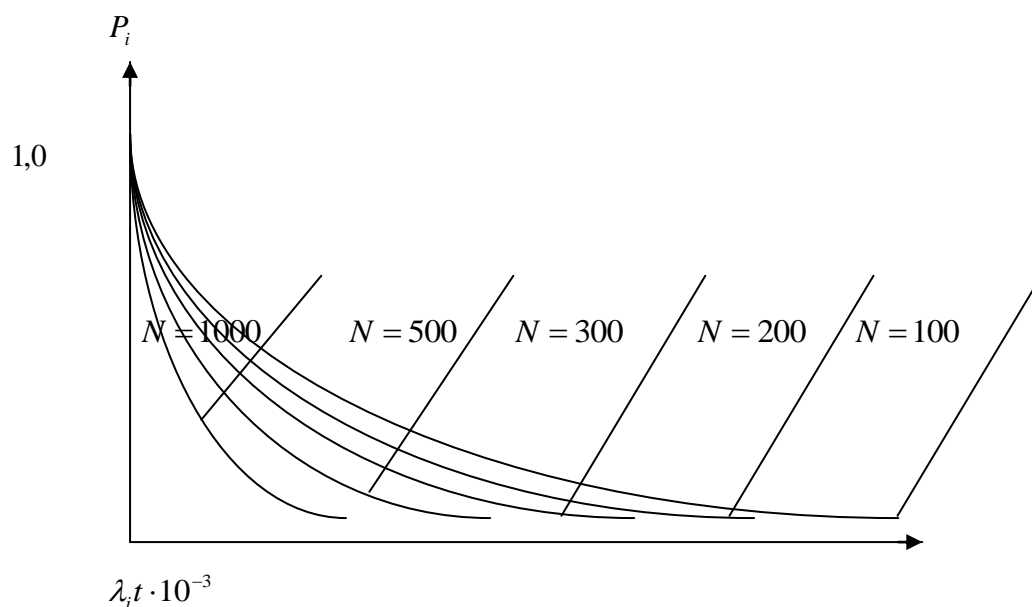


Рисунок 1 – Вероятность безотказной работы систем различной сложности.

Из рисунка 1 видно, что с увеличением сложности систем и с уменьшением надежности элементов существенно уменьшается надежность всей системы. При этом эффект тем больше, чем больше время работы системы. Так, например, если одна система состоит из 1000 элементов, а другая из 100, то их вероятности безотказной работы в течение времени работы  $t = 10$  ч при  $\lambda_i = 0,01 \cdot 10^{-3}$  будут  $P_1(10) = 0,90$  и  $P_2(10) = 0,99$ , т.е. отличаются на 10 %. При тех же условиях, но для  $t = 100$  ч,  $P_1(100) = 0,368$  и  $P_2(100) = 0,710$ , т.е. вероятности будут отличаться уже на 53,2 %. Из формулы 1 видно, что при расчете надежности системы уменьшение числа элементов системы эквивалентно уменьшению в такое же число раз интенсивности отказов элементов.

Столь сильное влияние надежности элементов на надежность системы, предназначенной для длительной эксплуатации, требует тщательного изучения надежности элементов, целесообразных режимов их работы, влияния условий эксплуатации и характера отказов.

Особенность сложных систем состоит в том, что элементы в смысле надежности не равноценны. Это объясняется двумя причинами: во-первых интенсивности отказов различных элементов отличаются друг от друга; во-вторых, в системе содержится неодинаковое количество элементов различных типов.

Рассмотрим вопросы расчета надежности систем при основном соединении элементов и при внезапных отказах элементов.

Рассчитать надежность системы – значит определить ее количественные характеристики надежности по известным характеристикам элементов, из которых состоит система. Выбор тех или других потребных для расчета характеристик надежности зависит от того, насколько глубоко требуется оценить надежность системы.

Предлагаемые в большом количестве методы расчета во многом определяются видом закона распределения времени возникновения отказов. В свою очередь, вид закона распределения отказов зависит от способов соединения элементов. Поэтому все методы расчета разделяются на две большие группы: 1) методы, пригодные для оценки надежности системы с основным соединением элементов; 2) методы, пригодные для оценки надежности систем с резервным соединением элементов. Вид закона распределения отказов также существенно зависит от характера отказов, поэтому в каждой из перечисленных групп методов следует выделить методы расчета, пригодные для случаев внезапных отказов и для случая постепенных отказов.

В большинстве случаев расчета предполагается, что поток отказов системы является простейшим, удовлетворяющим условиям стационарности, отсутствия последствий и ординарности. Отказы элементов сложной «нестареющей» системы являются событиями случайными и независимыми. Тогда вероятность безотказной работы  $P_c$  сколь угодно сложной системы будет равна произведению вероятностей безотказной работы ее элементов

$$P_c = P_1 \cdot P_2 \dots P_N = \prod_{i=1}^N P_i, \quad (3)$$

где  $P_i$  - вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента;  $N$  - число элементов в системе.

Обычно вероятность безотказной работы  $P_c$  выражается в функции времени  $t$ :

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (4)$$

В силу стационарности потока отказов

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}. \quad (5)$$

Тогда

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^N e^{-\lambda_i t} = e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (6)$$

где  $\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i$ .

Среднее время наработки на отказ системы

$$T_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}. \quad (7)$$

Частота отказов системы

$$a_c(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t} = \sum_{i=1}^N \lambda_i e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i}. \quad (8)$$

В сложной системе элементы работают при различных коэффициентах нагрузки, температуре окружающей среды, вибрации, влажности и т.п. По этой причине интенсивности отказов однотипных элементов сложной системы будут различными, а следовательно для расчета ее надежности необходимо знать зависимости интенсивности отказов каждого из элементов системы от условий эксплуатации и режимов нагрузки. Поэтому описанный выше метод расчета может быть применен лишь при окончательном расчете надежности сложной системы, когда выпущены опытные образцы машин или аппаратуры и экспериментально получены режимы работы всех элементов и их характеристики надежности.

При ориентировочном расчете надежности системы делается следующее упрощающее предположение: все однотипные элементы равнонадежны. Это предположение означает, что независимо от режимов работы все однотипные элементы имеют одинаковую интенсивность отказов, равную среднестатистическому значению:

$$P_c(t) = e^{-t \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i}, \quad (9)$$

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i, \quad (10)$$

$$T_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^r N_i \lambda_i}, \quad (11)$$

$$a(t) = \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i e^{-t \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i}, \quad (12)$$

где  $N_i, \lambda_{iu}$  - число и среднестатистическая интенсивность отказов элементов  $i$ -го типа,  $r$  - число типов элементов.

Из приведенных выражений (9, 10, 11, 12) видно, что для ориентировочного расчета надежности сколь угодно сложной «нестареющей» системы достаточно знать состав элементов, их число и среднестатистические значения интенсивности отказов элементов каждого типа. Ориентировочный расчет надежности сложной системы целесообразно вести по блокам или агрегатам, конструктивно оформленным в одно целое. Это позволяет сравнить блоки (агрегаты) по надежности, выявить слабые места системы в смысле надежности и наметить пути по ее повышению. Характерной особенностью сложных автоматических систем является то, что не все элементы системы работают непрерывно от момента ее включения до выключения. Тогда считая отказы блоков событиями независимыми, вероятность безотказной работы в течение времени  $t$  можно вычислить по формуле

$$P_c(t) = P_1(\Delta t_1) \cdot P_2(\Delta t_2) \dots P_N(\Delta t_N) = \prod_{i=1}^N P_i(\Delta t_i), \quad (13)$$

где  $P_i(\Delta t_i)$  - вероятность безотказной работы  $i$ -го блока в течение промежутка времени  $\Delta t_i = t_i^K - t_i^H$  (промежуток времени непрерывной работы  $i$ -го блока).

$$P_i(\Delta t_i) = e^{-\lambda_i \cdot \Delta t_i} = e^{-\lambda_i (t_i^K - t_i^H)}, \quad (14)$$

$$P_c(\Delta t) = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i (t_i^K - t_i^H)}. \quad (15)$$

#### Список литературы

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. /Ред.совет: В.С.Авдеевский и др. – М.: Машиностроение, 1986. Т.1: Методология. Организация. Терминология /Под ред. А.И.Рембезы. – 224 с.