

# ПРОЧНОСТНАЯ НАДЁЖНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

В.И.Росляков<sup>1</sup>

Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики (СПбГУСЭ),  
191015, Санкт-Петербург, ул.Кавалергардская, 7

*Аннотация.* – Рассмотрена связь между надёжностью элементов бытовой техники и параметрами прочности. Показано, что необходим расчёт прочностной надёжности для ответственных элементов техники.

*Ключевые слова:* надёжность; прочность; работоспособность.

## THE DURABLE RELIABILITY AND CAPACITY OF HOUSEHOLD TECHNIQUE.

V.I. Rosliakov

St.-Petersburg state university of service and economy (SPbSUSE),  
191015, St.-Petersburg, street Kavalergardsky, 7

*The summary* – the relation between reliability of the elements of household technique and parameters of the durability. Fits considered that calculation of durable reliability is necessary.

*Keywords:* reliability, durability, capacity.

Многообразие конструкторско-технологических вариантов бытовой техники требует рассмотрения её характеристик в определённой последовательности, включая такие критерии, как быстродействие, производительность а также критерии качества.

Под качеством продукции подразумевается совокупность свойств, обуславливающих способность продукции удовлетворять своему назначению [1].

Качество продукции определяют с помощью показателей качества, которые делятся на единичные и комплексные показатели.

Номенклатура показателей качества зависит прежде всего от назначения продукции. Единичные и комплексные показатели качества закладываются на этапе конструирования изделий, а оценка качества произведённой продукции приводит к делению продукции на две категории – годную продукцию, удовлетворяющую всем требованиям конструкторской документации и брак-продукцию, в которой имеются дефекты.

Таким образом, понятие качества продукции имеет двойственную природу: с одной стороны качество закладывается при конструировании, с другой – оценка

качества производится путём сопоставления фактически измеряемых параметров с допустимыми.

Качество продукции характеризуется широкой номенклатурой свойств: свойствами материалов изделий, точностью их размеров, формы и расположения поверхности, свойствами поверхностного слоя деталей.

Конкретный перечень показателей качества готовой продукции зависит от его вида, назначения и вида технологических процессов.

Анализ качества готовой продукции включает следующие этапы:

1. Выбор контролируемых показателей качества и измерительных средств;
2. Определение величины статистической выборки;
3. Необходимые измерения контролируемых параметров и заполнение соответствующих таблиц;
4. Расчёт значений математического ожидания и среднего квадратического отклонения (СКО);
5. Проверку достоверности полученных результатов;
6. Подбор теоретического закона распределения контролируемого параметра;

7. Определение теоретического поля рассеивания контролируемого параметра;

8. Сопоставление поля рассеивания с допустимыми пределами и оценку показателей качества.

Рассмотрим влияние целого ряда факторов на безотказность и работоспособность бытовой техники.

В процессе эксплуатации изделия, в том числе изделия бытовой техники, находятся под воздействием большого числа внешних и внутренних факторов.

Так, под воздействием факторов в материалах элементов конструкции происходят различные обратимые и необратимые физико-механические процессы, конечным результатом которых является отказ. Изменение свойств материалов элементов приводят к изменению характеристик любого изделия в целом, и, следовательно, к снижению его надёжности.

Обозначив параметры входящих факторов через  $Z_i$ , выразим состояние объекта  $x_i$  как функцию  $Z_i$  и  $t$ :

$$X_i = f(Z_1; Z_2 \dots \dots \dots Z_n, t) \quad (1)$$

В числе параметров  $z_i$  учитываются параметры, характеризующие условия эксплуатации, состояние материала, его механические, электрические, магнитные свойства и другие факторы.

Однако при наличии только функциональной зависимости (1) нельзя точно предсказать поведение объекта в момент отказа, т.к. сами аргументы  $Z_1, Z_2 \dots \dots \dots Z_n$  являются, как правило, случайными величинами.

Действительно, в процессе эксплуатации, как правило, происходят непредвиденные случайные колебания нагрузок, изменения условий эксплуатации. Кроме того, элементы изделия могут быть изготовлены с различными допущениями на размеры, с отклонениями технологических параметров, из материалов с различной структурой и свойствами.

Большинство физических процессов, происходящих в материалах деталей, имеют физико-статистическую природу, в связи с чем подход к анализу состояния технических объектов и материалов, так и статистические закономерности процессов [2].

Выработка ресурса изделий и возникновение отказов связаны, как правило, с накоплением необратимых повреждений и старением деталей и узлов изделия.

Основополагающее влияние на старение элементов оказывают различные физико-механические процессы.

Повреждения, приводящие к отказам, могут быть как механического (усталость, трещинообразование, износ, накопление пластических деформаций и т.д.), так и физико-химического происхождения (коррозия, эрозия, адсорбция и др.). Многие виды повреждений носят смешанный характер и включают процессы механического, физического, химического и электрического происхождения.

Закономерности методов расчёта, применяемых при конструировании и изготовлении технических систем, могут быть использованы при решении вопросов надёжности. При этом необходимо оценивать изменение состояния и свойств элементов и материалов в функции времени, поэтому необходимо выявить основные физические процессы, влияющие на параметры элементов, закономерности их протекания и связанные с ними изменения работоспособности во времени.

Рассмотрим связь надёжности элементов бытовой техники с параметрами прочности.

Надёжность по параметрам прочности (прочностная надёжность) – это свойство элемента сохранять работоспособное состояние под воздействием внешних нагрузок [3].

Показателями надёжности по параметрам прочности могут быть: средняя наработка до отказа или вероятность безотказной работы элемента. Показатели прочностной надёжности определяются в зависимости от критериев предельного состояния. Такими критериями могут быть определённое число циклов нагружения или изменения параметров, или другие характеристики.

В общем случае отказ элементов по параметрам прочности возникает то-

гда, когда уровень внешних воздействий превысит запас его прочности. При этом внезапные отказы возникают вследствие того, что отдельные элементы имеют запас прочности ниже допустимого. Постепенные отказы происходят в результате уменьшения прочности элемента вследствие естественных процессов износа и старения материалов.

Нагрузки, которые испытывают элементы технических систем, подразделяют на внешние и внутренние. [4]

Внешние нагрузки возникают вне элемента независимо от его функционирования и зависят от условий работы (механические, климатические, акустические и т.д.)

Внутренние нагрузки возникают в самом элементе и связаны с ошибками конструирования и эксплуатации и зависят как от особенностей строения и эксплуатации технических объектов, так и от параметров внешних нагрузок.

В реальных условиях эксплуатации изделий всегда имеют место разбросы фактических значений прочности, колебания нагрузки, т.е. эти факторы носят случайный характер и могут быть получены экспериментальными методами с использованием математической статистики.

Работоспособность элементов технических систем, в том числе бытовой техники, будет обеспечена, если нагрузка не будет превышать нижнего предела прочности.

При расчетах элементов различных технических систем часто вводят коэффициент запаса прочности, который равен отношению средних значений величин прочности и нагрузки:

$$K = M(R)/M(N). \quad (2)$$

Состояние элемента по условию прочности считается безотказным, если нагрузка  $N$  не превышает прочности элемента  $R(N \leq R)$  и вероятность безотказной работы элемента при известных законах распределения  $N$  и  $R$  равна вероятности этого события:

$$P = \int_{N_i}^{\infty} f(R) dR \dots \dots \quad (3)$$

Если ввести в рассмотрение безотказности запас прочности  $T=R-N$ , то ве-

роятность безотказной работы в функции  $T$  будет равна:

$$P = P(T > 0) = \int_{M(R)-M(N)}^{\infty} f(T) dT. \quad (4)$$

Если нагрузка на элементы и прочность распределены по нормальному закону, то запас прочности также распределён по нормальному закону:

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(T-M(T))^2}{2\sigma_T^2}\right] \quad (5)$$

с математическим ожиданием и средним квадратическим отклонением:

$$M(T) = M(R) - M(N); \quad \sigma_T = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}. \quad (6)$$

Тогда вероятность безотказной работы элемента:

$$P = P(T > 0) = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}} \exp\left[-\frac{(T-M(R)-M(N))^2}{2(\sigma_R^2 + \sigma_N^2)}\right] dT \quad (7)$$

С использованием нормированной функции Лапласа  $\Phi(Z)$

$$P = \frac{1}{2} + \Phi(Z) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{M(R)-M(N)}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}\right) \quad (8)$$

Формулу (8) можно выразить через коэффициент запаса прочности

$K = M(R)/M(N)$  и коэффициенты вариации нагрузки  $V_N = \sigma_N/M(N)$  и прочности  $V_R = \sigma_R/M(R)$

$$P = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{K-1}{K \cdot \sqrt{V_R^2 + V_N^2}}\right) \quad (9)$$

Приведённые модели надёжности позволяют рассчитать вероятность безотказной работы (ВБР) в данный конкретный момент времени и не позволяют оценить изменение надёжности во времени.

Однако, если известны характер изменения нагрузки и прочности во времени, то при оценке надёжности может быть учтён фактор времени [4].

Например, если известны  $R(t)$ ;  $\sigma_R = \sigma_R(t)$ ;  $N(t)$ ;  $\sigma_N = \sigma_N(t)$ , то

$$P(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{R(t)-N(t)}{\sqrt{\sigma_R^2(t) + \sigma_N^2(t)}}\right) \quad (10)$$

Вероятностные расчёты прочности позволяют учесть случайный характер нагрузок и характеристик прочности элементов и перейти от оценки прочности по коэффициентам запаса к оценке вероятности безотказной работы (ВБР) и к прогнозированию ресурса. Однако, необходимость получения дополнительной информации о прочности элементов и о нагрузках существенно увеличивают трудоёмкость таких расчётов. Вследствие этого перед проведением расчётов целесообразно ограничить номенклатуру элементов, выбирая такие элементы, надёжность которых определяет надёжность всего изделия, то есть элементы с небольшим коэффициентом запаса прочности.

Запас прочности считается достаточным, если выполняется условие:

$\bar{R} - \bar{N} \geq 3 \sigma_R + \sigma_N$ , при этом вероятность безотказной работы элементов высока ( $P > 0,999$ ).

В качестве примера рассмотрим расчёт надёжности (ВБР) одной из основных деталей - вала компрессора кондиционера, который расположен снаружи здания. В летний период кондиционер обеспечивает охлаждение помещения, а в зимний период, работая по схеме теплового насоса, обеспечивает нагревание воздуха в помещении.

Пусть нагрузки, испытываемые деталью, вызывают в ней напряжение, распределённое по нормальному закону с математическим ожиданием  $M(N) = \bar{N} = 320$  МПа и средним квадратическим отклонением  $\sigma_N = 50$  МПа. Прочность детали (предел прочности) имеет также нормальное распределение с математическим ожиданием  $M(R) = 550$  МПа и средним квадратическим отклонением  $\sigma_R = 45$  МПа.

При работе компрессора в зимний период при температуре до  $(-10^\circ\text{C})$  математическое ожидание прочности сохраняется, а среднее квадратическое откло-

нение увеличивается вдвое ( $\sigma_R = 90$  МПа).

Очевидно, что коэффициент запаса прочности в обоих случаях (лето и зима) будет одним и тем же:  $K = \frac{R}{N} = \frac{550}{320} = 1,72$ .

Однако вероятность безотказной работы для этих двух случаев будет различной, причём во втором случае она будет значительно меньше:

$$P_1 = \frac{1}{2} + \Phi \frac{550-320}{\sqrt{50^2+45^2}} = \frac{1}{2} + \Phi(3,42) = 0,5 + 0,4997 = 0,9997;$$

$$P_2 = \frac{1}{2} + \Phi \frac{550-320}{\sqrt{50^2+90^2}} = \frac{1}{2} + \Phi(2,23) = 0,5 + 0,4871 = 0,9871.$$

Вероятность отказа  $Q_1 = 1 - P_1 = 0,0003$ ;  $Q_2 = 1 - P_2 = 0,0123$ .

Таким образом, даже при сравнительно большом значении коэффициента запаса (1,72) вероятность отказа существует, причём во втором случае вероятность отказа увеличивается в 41 раз по сравнению с первым случаем. Этот пример показывает необходимость и важность проведения расчётов прочностной надёжности для элементов и деталей, работающих в экстремальных условиях.

### Список литературы

1. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов. М., Машиностроение, 2007г. – 379с.
2. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. М., Стройиздат, 1982г., – 351с.
3. Надёжность и эффективность в технике. Справочник в 10 т., Т 7. Качество и надёжность в производстве. М., Машиностроение, 1989г., – 376с.
4. Разумный В.М., Толченев О.В. Оценка работоспособности устройств автоматики. М., Энергия, 1977г. – 120с.

<sup>1</sup> Росляков Валерий Иванович, к.т.н., доцент, доцент кафедры “Сервис торгового оборудования и бытовой техники” СПбГУСЭ, тел.: (812) 368-42-89.