

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ  
НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ  
БЕЗОПАСНОСТИ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

В. А. Дурденко\*, А. А. Рогожин\*\*, А. В. Яковлев\*\*\*

\* Воронежский институт инновационных систем

\*\* Воронежский институт МВД России

\*\*\* Воронежская государственная лесотехническая академия

Поступила в редакцию 28.10.2011 г.

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос оценки надежности интегрированной системы безопасности охраняемого объекта. Определены оценки структурной и параметрической надежности. Сделано предположение об использовании коэффициента эффективности функционирования для более удобной оценки надежности интегрированной системы безопасности

**Ключевые слова:** интегрированная система безопасности, структурная и параметрическая надежность, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов.

**Annotation.** The question of estimation of reliability of the integrated system of safety of the guarded object is considered in the article. The estimations of structural and self-reactance reliability are certain. Supposition about the use of coefficient of efficiency of functioning for more comfortable estimation of reliability of the integrated system of safety.

**Keywords:** the integrated system of safety, structural and self-reactance reliability, probability of faultless work, intensity of refuses.

ВВЕДЕНИЕ

Задача построения надежных интегрированных систем безопасности (ИСБ) на охраняемых объектах является чрезвычайно актуальной, что объясняется их использованием для повышения антитеррористической устойчивости особо важных, критически важных и потенциально опасных объектов, уязвимых в диверсионном отношении на территории Российской Федерации [1]. Как известно, ИСБ представляет сложную техническую систему, которая на программно-аппаратном уровне объединяет в себе подсистемы охранно-пожарной сигнализации, контроля и управления доступом, охранного телевидения, управления инженерными системами объекта, работающих по единому алгоритму, имеющих общую базу данных и каналы связи. С целью оценки надежности вновь проектируемой ИСБ охраняемого объекта положим, что она определяется надежностью структуры, надежностью ее элементов, вероятностью

соблюдения технологической дисциплины при монтаже оборудования непосредственно на объекте.

1. ОСНОВНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ  
(ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ)

Если допустить, что контроль за технологическими процессами позволяет устранить технологические дефекты, то ожидаемая вероятность безотказной работы проектируемой ИСБ определяется [3]:

$$P = P_{\text{д}}P_{\text{с}}, \quad (1.1)$$

где  $P_{\text{с}}$  – вероятность безотказной работы комплектующих элементов ИСБ;  $P_{\text{д}}$  – вероятность безотказной работы ИСБ.

Надежность, свойственная структуре, или структурная надежность, определяется как вероятность работы комплектующих элементов без внезапных отказов при тех условиях, которые оговорены в техническом задании на проектирование. Сомножитель  $P_{\text{с}}$  в выражении (1.1) характеризует структурную надежность.

Надежность, свойственная системе в целом, или параметрическая надежность, определяет

© Дурденко В. А., Рогожин А. А., Яковлев А. В., 2012

ся как вероятность работы системы без постепенных (допусковых) отказов, возникающих в результате выхода параметров за пределы допуска. Сомножитель  $P_d$  в выражении (1.1) характеризует параметрическую надежность.

Выражение (1.1) получено в предположении, что внезапные (в том числе при намеренном выводе из строя элемента системы правонарушителем) и постепенные отказы возникают независимо друг от друга. В действительности в некоторых случаях такая зависимость существует, и грань между внезапными и постепенными отказами условна. Но учет этих особенностей не привел бы к существенному повышению точности расчетов, поэтому целесообразно расчет структурной и параметрической надежности производить порознь.

## 2. ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОХРАНЯЕМОГО ОБЪЕКТА

Под оценкой структурной надежности ИСБ можно понимать определение основных количественных показателей надежности системы при возможных внезапных отказах элементов. Оценка производится при условии, если известна структура и комплектация всей системы охраняемого объекта. Исходными данными для расчета являются статистические характеристики надежности комплектующих элементов, полученные в результате лабораторных испытаний или подконтрольной эксплуатации аппаратуры. Поскольку реальные условия отличаются от лабораторных и от условий подконтрольной эксплуатации, то достоверность результатов расчета оказывается ограниченной. Рассматриваемые методы оценки надежности отличаются различной степенью учета реальных условий эксплуатации: чем лучше учтены эти условия, тем выше точность оценки. Таким образом, основная сложность оценки структурной надежности ИСБ объекта заключается в выборе необходимых статистических данных и в учете реальных условий эксплуатации.

Особенностью схемы ИСБ может являться наличие определенной последовательности в прохождении сигналов, когда выход из строя любого из элементов может вызвать отказ всей ИСБ. Это можно сказать о любой ИСБ, в которой отсутствует структурная избыточность. Поэтому независимо от характера схемы системы с функ-

ционально необходимой структурой для расчета надежности его представляют в виде цепочки последовательно соединенных элементов. Отказ любого элемента последовательной схемы эквивалентен разрыву цепи и отказу всей ИСБ.

При выводе основного расчетного соотношения предполагается, что отказы всех элементов эквивалентной схемы системы являются независимыми событиями, а вероятности возникновения отказов каждого из элементов могут быть вычислены. Тогда, на основании теоремы умножения вероятностей можно определить структурную надежность ИСБ охраняемого объекта [16]:

$$P_c(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_N(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t) \quad (1.2)$$

где  $p_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента ИСБ объекта.

Выражение (1.2) является основным для расчета структурной надежности ИСБ охраняемого объекта с функционально необходимой схемой.

Аналогичным образом по среднему времени восстановления элементов  $T_{oi}$  может быть определено среднее время восстановления системы:

$$T_b = \frac{q_1(t)T_{b1} + q_2(t)T_{b2} + \dots + q_N(t)T_{bN}}{q_1(t) + q_2(t) + \dots + q_N(t)}, \quad (1.3)$$

где  $q_i(t) = 1 - p_i(t)$  – вероятность отказа  $i$ -го элемента ИСБ.

Таким образом, оценка основных показателей структурной надежности связана с оценкой вероятности безотказной работы элементов всей ИСБ. В зависимости от имеющейся исходной информации эта вероятность может быть вычислена с различной точностью. В общем случае вычисления ведутся по формуле

$$p(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt. \quad (1.4)$$

Наработка до отказа для различных элементов системы подчиняется различным распределениям вероятностей. Вид функции  $f(t)$  зависит от типа элемента и условий применения. При оценке структурной надежности плотность распределения наработки до отказа берут либо из результатов обработки статистического материала по отказам приборов, аппаратуры и программного обеспечения, используемых при охране имущества собственников, аналогичных проектируемому, либо используют имеющиеся данные из паспортов аппаратуры ИСБ.

## 2.1 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

В качестве исходных данных для расчета надежности аппаратуры ИСБ по этому методу должны быть известны:

- интенсивности отказов элементов различных типов  $\lambda_i$ ;
- количество элементов каждого типа, входящих в систему  $N_i$ .

Данные о надежности элементов системы обычно усредняются по времени и по группам элементов и приводятся в паспортах приборов и аппаратуры. Учитывая большой разброс данных, при ориентировочном расчете надежности ИСБ выбирают средние значения интенсивностей отказов элементов системы, либо рассчитывают максимальные и минимальные значения критериев надежности систем, используя крайние значения интенсивностей отказов ее элементов [2].

Приближенно количество элементов ИСБ бывает известно уже на начальном этапе проектирования.

Сущность расчета надежности состоит в определении основных критериев, характеризующих безотказность системы: наработки на отказ  $T_0$  и вероятности безотказной работы  $P(t)$ .

Определим следующий порядок расчета:

1) все элементы проектируемой ИСБ разбиваются на несколько групп с примерно одинаковыми интенсивностями отказов внутри группы. Подсчитывается ориентировочное количество элементов в каждой группе  $N_i$ ;

2) по паспортам приборов находятся значения интенсивностей отказов элементов каждой группы  $\lambda_i$  (средние либо крайние, если интересуются максимальными и минимальными значениями критериев надежности системы);

3) вычисляются произведения  $N_i \lambda_i$ , характеризующие долю отказов, вносимых элементами данной группы в общую интенсивность отказов ИСБ;

4) рассчитывается общая интенсивность отказов ИСБ путем суммирования произведений  $N_i \lambda_i$  по всем  $k$  группам по формуле

$$\Lambda = \sum_{i=1}^k N_i \lambda_i \quad (1.5)$$

5) определяется наработка на отказ из соотношения

$$T_0 = \frac{1}{\Lambda} \quad (1.6)$$

6) рассчитывается вероятность безотказной работы системы по формуле

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad (1.7)$$

Следует заметить, что результат расчета надежности аппаратуры по среднегрупповым интенсивностям отказов элементов системы часто получается несколько заниженным по сравнению с данными, взятыми из опытной эксплуатации. Это обстоятельство отчасти объясняется влиянием профилактических (обслуживающих) мероприятий, в результате которых часть отказов, могущих возникнуть во время работы ИСБ, предупреждается за счет изъятия и замены дефектных блоков-приборов.

Если заданы крайние значения интенсивностей отказов и режимы работы элементов системы по-прежнему неизвестны, то иногда целесообразно рассчитать максимальные и минимальные значения показателей надежности ИСБ объекта.

Если при проектировании ИСБ известно не только общее количество элементов различных типов, но и распределение их по участкам (зонам наблюдения, зонам охраны, зонам доступа) системы, то целесообразно сначала рассчитать показатели надежности каждого участка с тем, чтобы выявить наименее надежные из них и принять меры по повышению эффективности и надежности. Общая интенсивность отказов системы определяется суммированием интенсивностей отказов всех участков.

## 2.2 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЯМ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Кроме экспоненциального распределения наработка комплектующих элементов ИСБ может иметь нормальное распределение, распределение Вейбулла и логарифмически нормальное. Вероятность безотказной работы элементов, необходимая для оценки структурной надежности в соответствии с выражением (1.2), будет вычисляться через указанные выше распределения.

Наработка до отказа у некоторых типов элементов системы приближенно распределена по нормальному закону. В этом случае плотность распределения наработки до отказа

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.8)$$

где  $a$  – математическое ожидание;  $\sigma^2$  – дисперсия.

Вероятность безотказной работы

$$p(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (1.9)$$

В выражениях (1.8) и (1.9) математическое ожидание  $a$  равняется средней наработке до отказа  $t_{cp}$ ; соответственно дисперсия является дисперсией наработки до отказа. Табулируются нормированное ( $\sigma = 1$ ) и центрированное ( $a = 0$ ) распределение, плотность которого

$$\phi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (1.10)$$

и функция распределения

$$F_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.11)$$

связаны с (1.8) и (1.9) соотношениями

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \phi_0\left(\frac{t-a}{\sigma}\right) \quad (1.12)$$

$$F(t) = F_0\left(\frac{t-a}{\sigma}\right). \quad (1.13)$$

С учетом формулы (1.13) вероятность безотказной работы может быть найдена по известным  $t_{cp}$  и  $a$ :

$$p(t) = F_0\left(\frac{t_{cp}-t}{\sigma}\right) \quad (1.14)$$

Интенсивность отказов как функция времени определяется из отношения

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{1}{\sigma} \frac{\phi_0\left(\frac{t-t_{cp}}{\sigma}\right)}{F_0\left(\frac{t_{cp}-t}{\sigma}\right)} = \\ &= \frac{1}{\sigma} f_1\left(\frac{t_{cp}-t}{\sigma}\right), \end{aligned} \quad (1.15)$$

где  $f_1(t, t_{cp}, \sigma)$  – табулированная функция [16].

Так же наработку на отказ можно представить в виде распределения Вейбулла (так как аппаратура ИСБ, в основном, состоят из полупроводниковых приборов) [2].

При плотности вероятности

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right] \quad (1.16)$$

вероятность безотказной работы элемента определяется выражением

$$p(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (1.17)$$

где  $a$  и  $b$  – параметры распределения.

При  $b = 1$  распределение Вейбулла сводится к экспоненциальному и

$$f(t) = \frac{1}{a} e^{-\frac{t}{a}} \quad (1.18)$$

При  $b = 2$  получается распределение Релея:

$$f(t) = \frac{2t}{a^2} e^{-\frac{t^2}{a^2}}. \quad (1.19)$$

Для некоторых элементов наработка до отказа подчиняется логарифмически нормальному распределению. Распределение случайной величины называется логарифмически нормальным, если логарифм этой величины распределяется по нормальному закону. Может быть два варианта:

при  $x_1 = \ln t$

$$f_1(t) = \frac{1}{t\sigma_1\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \ln t_{01})^2}{2\sigma_1^2}\right] \quad (1.20)$$

при  $x_2 = \lg t$

$$f_2(t) = \frac{M}{t\sigma_2\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\lg t - \lg t_{02})^2}{2\sigma_2^2}\right]. \quad (1.21)$$

Приведенные плотности распределения вероятностей могут быть выражены через табулированную функцию (см. выражение 1.10):

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{\sigma_1 t} \phi_0\left(\frac{\ln t - \ln t_{01}}{\sigma_1}\right) = \\ &= \frac{M}{\sigma_2 t} \phi_0\left(\frac{\lg t - \lg t_{02}}{\sigma_2}\right), \end{aligned} \quad (1.22)$$

где  $M = 0,4343$  – коэффициент перехода от натуральных логарифмов к десятичным. Очевидно, что  $\sigma_2 = M\sigma_1$ .

Вероятность безотказной работы за время  $t$  определяется уравнениями:

$$p(t) = 1 - F_0\left(\frac{\ln t - \ln t_{01}}{\sigma_1}\right), \quad (1.23)$$

$$p(t) = 1 - F_0\left(\frac{\lg t - \lg t_{01}}{\sigma_2}\right). \quad (1.24)$$

### 2.3 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Для того чтобы производить полный более точный расчет надежности ИСБ, необходимо знать условия применения приборов-элементов, входящих в данную систему и режимы работы всех данных элементов, а так же располагать зависимостями интенсивностей отказов ее элементов [2].

Условия применения и режимы работы аппаратуры ИСБ могут быть определены на основе тактико-технических данных с учетом воздействия внешних эксплуатационных факторов.

Пользуясь зависимостями вида:

$$\lambda_i = f(v),$$

где  $v$  – режимы и условия применения элементов, можно производить расчет надежности системы, с учетом режимов применения ее элементов.

Облегчение режимов работы элементов является мощным фактором повышения надежности аппаратуры. Сущность метода расчета надежности с учетом режимов работы элементов состоит в том, что в расчетных формулах для определения общей интенсивности отказов системы (или отдельного участка системы) вместо табличных интенсивностей отказов  $\lambda_i$  подставляются значения интенсивностей отказов  $\lambda_i(v)$ , зависящие от режимов работы  $v$ .

Принимаются следующие предпосылки и допущения:

- справедлив экспоненциальный закон надежности;

- отказы элементов взаимно независимы.

Для расчета надо знать следующие исходные данные:

- режимы работы каждого элемента системы охраны;

- количество элементов каждого типа с одинаковыми режимами  $N_i$ ;

- интенсивности отказов элементов различных типов при соответствующих режимах работы  $\lambda_i(v)$ .

Расчет общей интенсивности отказов ИСБ производится по обычной формуле:

$$\Lambda(v) = \sum_{i=1}^k N_i \lambda_i(v), \quad (1.25)$$

где  $k$  – количество групп однотипных элементов с одинаковыми режимами.

При проектировании несложных ИСБ, содержащих небольшое количество приборов, суммирование интенсивностей отказов проводится поэлементно:

$$\Lambda(v) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(v), \quad (1.26)$$

где  $N$  – общее число элементов в системе.

Затем, определяется наработка на отказ:

$$T_0(v) = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i(v)} \quad (1.27)$$

и вероятность безотказной работы

$$P(t) = \exp \left[ -t \sum_{i=1}^N \lambda_i(v) \right] = e^{-\frac{t}{T_0(v)}}. \quad (1.28)$$

Определим порядок полного расчета надежности системы.

1) Уясняются и четко формулируются функции, которые должна выполнять проектируемая ИСБ объекта, с указанием предельных значений параметров, определяющих выполнение этих функций. Уточняются условия эксплуатации данной системы.

2) Проводится разделение системы на участки. Для каждого из них однозначно определяются выходные параметры. При наличии однотипных участков дальнейшему анализу и расчету подвергается один типовой участок с целью сокращения объема расчетов.

3) В каждом участке проводится детальный анализ режимов элементов с определением коэффициентов нагрузок и внешних воздействий. Однотипные элементы (извещатели, видеокамеры, считыватели, адресные блоки и т.д.) с одинаковыми режимами работы группируются, и подсчитывается количество элементов в каждой группе.

4) Для каждой группы однотипных элементов определяются интенсивности отказов  $\lambda_i$  при соответствующих режимах.

5) Рассчитывается интенсивность отказов участка по формуле (1.25). Данные расчета сводятся в таблицу, по которой удобно определять ненадежные элементы, имеющие сравнительно большие значения интенсивностей отказов. При наличии слабых мест принимаются меры по облегчению режимов работы; производится пересчет интенсивности отказов участка для новых режимов.

6) Определяется общая интенсивность отказов всей системы суммированием интенсивностей отказов входящих в нее участков. Далее рассчитываются значения  $T_0$  и  $P(t)$  для всей системы.

7) Определяется вероятность нормального функционирования системы.

8) На каждом этапе результаты расчета сопоставляются с требуемыми по техническим условиям значениями показателей надежности (если они заданы) и намечаются пути повышения эффективности и надежности участков и общей надежности ИСБ с учетом различных факторов.

### 3. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОХРАНЯЕМОГО ОБЪЕКТА

Под оценкой параметрической надежности ИСБ объекта понимают определение количественных показателей сохранения рабочих функций системы при возможных постепенных изменениях параметров комплектующих элементов в условиях эксплуатации. Оценка может производиться, когда известна схема построения ИСБ, параметры комплектующих данную систему элементов. Исходными данными для расчета являются функции старения комплектующих элементов, диапазоны изменения параметров внешней среды и питающих напряжений [2].

Нормальная работа приборов и аппаратуры ИСБ и выполнение ею своих функций выполняются при соблюдении определенных условий, вероятность выполнения которых зависит от значений параметров данных приборов и аппаратуры. Если допустить, что условия функционирования независимы, то вероятность функционирования

$$P_n(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t), \quad (1.33)$$

где  $n$  – число независимых условий.

Определение условий функционирования не представляет труда, если функции системы или отдельных ее частей известны.

Введем ограничения в виде допуска, тогда:

$$p_i(t) = p_i(y_{i0} - \Delta_1 \leq y_i(t) \leq y_{i0} + \Delta_2), \quad (1.34)$$

$y_i(t)$  – функциональный параметр;  $y_{i0}$  – номинальное значение параметра;  $\Delta_1, \Delta_2$  – допуски на отклонение параметра.

Если плотность распределения  $y_i(t)$  задана, то вероятность выполнения условия может быть найдена

$$p_i(t) = \int_{y_{i0} - \Delta_1}^{y_{i0} + \Delta_2} f_i[y_i(t)] dy. \quad (1.35)$$

В выражении (1.35) плотность распределения рассматривается как функция времени. В общем случае со временем вид распределения не меняется; а меняются только его параметры. Поэтому выражение (1.35) для центрированного распределения может быть записано в более удобном виде

$$p_i(t) = \int_{\Delta_1}^{+\Delta_2} f[y_i, a_{y_i}(t), \sigma_{y_i}^2(t)] dy, \quad (1.36)$$

где  $a_{y_i}(t)$  и  $\sigma_{y_i}^2(t)$  – математическое ожидание и дисперсия функциональной переменной соответственно.

Таким образом, задача оценки параметрической надежности ИСБ сводится к отысканию плотности распределения изменений функционального параметра, или при известном законе распределения к оценке его параметров.

Рассмотренный случай является простейшим, так как выполнение условия функционирования сводится, к поддержанию в пределах допуска только одного параметра. При двух и более параметрах необходимо рассматривать многомерные законы распределения, и расчеты усложняются. Поэтому при параметрической надежности желательно каждое условие выразить через допустимые изменения одного доминирующего (наихудшего) параметра, либо рассматривать вероятность выхода любого параметра за допуск как необходимое и независимое условие функционирования.

#### 3.1. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРИ СТАРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОХРАНЯЕМОГО ОБЪЕКТА

Кроме внезапных отказов, функция распределения которых описывается экспоненциальным законом, в аппаратуре ИСБ происходят отказы вследствие постепенного изменения параметров элементов, связанного, с процессами изнашивания и старения. Наличие таких отказов особенно характерно для периода старения аппаратуры. В этот период интенсивность отказов аппаратуры ИСБ длительного использования повышается, так как выходят из строя

элементы массового применения (сопротивления, конденсаторы, изоляция монтажных проводов, шлейфов сигнализации и др.). Установлено, что процессы старения элементов, как правило, сопровождаются медленным изменением их параметров. Состояние отказа наступает при выходе параметра за установленные пределы. С физической точки зрения, процесс старения наиболее естественно характеризуется возрастанием функции интенсивности отказов  $\lambda(t)$  [4].

Для того чтобы при расчете надежности ИСБ объекта учесть не только внезапные, но и постепенные отказы, оценить ожидаемую надежность на периоде старения и определить начало наступления этого периода, нужно, прежде всего знать закон распределения вероятностей времени исправной работы элементов системы в период старения. Кроме того, необходимо четко разграничить между собой внезапные и постепенные отказы, с тем, чтобы при испытаниях аппаратуры и обработке статистических данных правильно определять количественные характеристики надежности. Практически такое разграничение удобно сделать по гистограмме частоты отказов, выделив начало возрастания числа отказов. Отказы, возникшие до этого момента времени, в первом приближении можно считать внезапными. Учет старения при расчете надежности особенно важен в случаях, когда аппаратура предназначена для длительного хранения или находится в резерве долгое время в ненагруженном режиме, в результате которого в ее элементах под действием многочисленных факторов происходят необратимые физико-химические изменения.

Опыт показывает, что время безотказной работы распределяется примерно по нормальному закону (рис. 1)

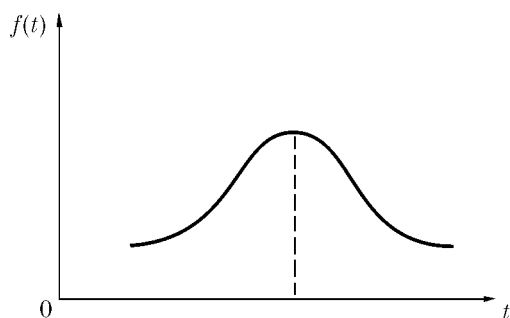


Рис.1. Нормальный закон распределения времени безотказной работы

В пользу такого утверждения свидетельствует также то обстоятельство, что число факторов, влияющих на эти процессы, чрезвычайно велико и все они носят характер массовых явлений.

Вероятность отказа за некоторое время  $t$  как интегральная функция распределения определяется следующим выражением [16]:

$$q(t) = 0,5 + \Phi(z) \quad (1.37)$$

Здесь:

$$z = \frac{t - T_{cp}}{\sigma}, \quad (1.38)$$

$T_{cp}$  – среднее время безотказной работы элемента ИСБ;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение времени безотказной работы элемента системы от его среднего значения.

Функция

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (1.39)$$

представляет собой интеграл вероятности.

Вероятность безотказной работы элемента ИСБ при нормальном законе распределения рассчитывается по формуле

$$p(t) = 1 - q(t) = 0,5 - \Phi(z). \quad (1.40)$$

Найдем вероятность безотказной работы системы, состоящей из  $N$  элементов, учитывая только постепенные отказы. Считая эти отказы взаимно-независимыми, и применяя теорему умножения вероятностей, получаем

$$P_n(t) = \prod_{j=1}^N [0,5 - \Phi(z)] \quad (1.41)$$

Если сгруппировать однородные по надежности элементы системы в несколько групп, то формула для вероятности безотказной работы примет следующий вид:

$$P_n(t) = \prod [0,5 - \Phi(z)]^{N_i} \quad (1.42)$$

где  $N_i$  – количество однотипных равнонадежных элементов в  $i$ -й группе;

$k$  – количество групп элементов.

В частном случае, когда все элементы в системе равнонадежны,

$$P_n(t) = [0,5 - \Phi(z)]^N. \quad (1.43)$$

Приведенные формулы позволяют по известным значениям  $T_{cp}$ ,  $\sigma$  и  $N$  рассчитать вероятность безотказной работы системы, учитывая процессы старения.

В общем случае эффективность и надежность ИСБ зависит как от постепенных, так и от внезапных отказов. Считая эти отказы взаимно независимыми, можно записать следующую

щую формулу для расчета общей вероятности безотказной работы с учетом внезапных и постепенных отказов:

$$P(t) = P_n(t)P_n(t) = e^{-t \sum_{i=1}^k N_i \lambda_i} \prod_{i=1}^k [0,5 - \Phi(z)]^{N_i}. \quad (1.44)$$

Таким образом, формула (1.44) позволяет рассчитать надежность как на периоде нормальной работы системы, где преобладают внезапные отказы и справедлив экспоненциальный закон надежности, так и на периоде ее старения.

**Дурденко Владимир Андреевич** – д.т.н., профессор кафедры менеджмента, Воронежский институт инновационных систем. Тел. (473) 2-354-898. E-mail: dva\_viis@mail.ru

**Рогожин Александр Александрович** – преподаватель кафедры технических систем безопасности Воронежского института МВД России. Тел. (473) 2-312-412. E-mail: raa\_tsbs@list.ru.

**Яковлев Андрей Васильевич** – к.т.н., доцент кафедры управления производством, Воронежская государственная лесотехническая академия. Тел. (473) 2-537-807. E-mail: yk\_an@mail.ru

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рогожин А. А.* Целесообразность использования интегрированных систем безопасности при повышении антитеррористической устойчивости особо важных объектов, уязвимых в диверсионном отношении / А. А. Рогожин, С. А. Дримба, Ю. А. Герба // Вестник Воронежского института МВД России. – Воронеж: 2008. – №3. – С. 127–135.
2. *Широков А. М.* Надежность радиоэлектронных устройств / А. М. Широков. – М.: Высшая школа. 1972. – 272 с.
3. *Шишонок Н. А.* Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники / Н. А. Шишонок, В. Ф. Репкин, Л. Л. Барвинский. – М.: Советское радио, 1964. – 550 с.
4. *Ушаков И. А.* Курс теории надежности систем: учеб. Пособие для вузов / И. А. Ушаков. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

**Durdenko Vladimir A.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Management, Voronezh Institute of Innovation Systems. Tel. (473) 2-354-898. E-mail: dva\_viis@mail.ru

**Rogozhin Alexander A.** – Lecturer, Department of Technical Security Systems, Voronezh Institute of the Russia Ministers Interior. Tel. (473) 2-312-412. E-mail: raa\_tsbs@list.ru.

**Iykovlev Andrey V.** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh State Forestry Academy. Тел. (473) 2-537-807. E-mail: yk\_an@mail.ru