

УДК 621

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Хачатрян С.А.

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва,
e-mail: samveljan.hachatryan@mail.ru

Вероятность осуществления какой-либо операции зависит от надежности применяемых при этом технических средств. В этой связи для достижения определенной вероятности ставится задача повышения надежности технических устройств до заданного значения. Учитывая, что повышение надежности обеспечивается несколькими способами, то важно выбрать такой способ, при котором получается максимальный экономический эффект. В статье решается задача нахождения оптимального (с точки зрения наименьших экономических затрат) способа повышения надежности невосстанавливаемых устройств и определения соответствующих ему соотношений между надежностью, стоимостью и количеством резервируемых устройств.

Ключевые слова: вероятность, надежность, технические устройства, невосстанавливаемые объекты, стоимость, изделия, время, резерв, безотказная работа, формула, коэффициент, интенсивность, математическая модель, функция стоимости

CHOICE OF AN OPTIMAL METHOD TO INCREASE RELIABILITY OF NON-RECOVERABLE ITEMS

Khachatryan S.A.

Moscow state Polytechnical University, Moscow, e-mail: samveljan.hachatryan@mail.ru

Probability of carrying out any operation depends on a reliability of the technical means utilized here. Thereupon a task for reliability growth of technical devices up to the targeted value is set up to achieve a definite probability. Considering that reliability improvement is achieved by several ways then it is important to choose such way which results to the maximum economic effect. The problem of finding out an optimal method of reliability improvement of non-recoverable devices (in the minimal economic cost perspective) and specifying a certain correlation between reliability, cost price and reserved devices is solving in this article.

Keywords: probability, reliability, technical devices, non-repairable items, cost, products, time, failure, trouble-free operation, formula, coefficient, intensity, mathematical model, cost function

Решение проблемы повышения надежности изделий является одной из важнейших задач, имеющих большое народнохозяйственное значение, которое в конечном итоге приводит к экономическому эффекту. Учитывая, что как для восстанавливаемых, так и для невосстанавливаемых, так и для невосстанавливаемых изделий, повышение надежности обеспечивается несколькими способами, то важно выбрать такой способ, при котором получается максимальный экономический эффект.

Как известно, в случае невосстанавливаемого устройства требуемая надежность может быть достигнута при повышении надежности его отдельных элементов конструкторско-производственными способами, или применением общего резервирования, или совместным применением обоих способов.

В данной статье решается задача нахождения оптимального с точки зрения наименьших затрат способа повышения надежности невосстанавливаемых устройств и определения соответствующих ему соотношений между надежностью, стоимостью и количеством резервируемых устройств.

Стоимость невосстанавливаемого устройства при повышении надежности можно определить, исследуя математи-

ческую модель стоимости в зависимости от параметра надежности по формуле [2].

$$C = C_0 \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_3} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где $C = C(P_0, P_3)$ – функция стоимости изделия при повышении его надежности от P_0 до P_3 ; C_0 – стоимость изделия с надежностью P_0 ; λ_0 и λ_3 – интенсивности отказов, соответствующие значениям надежности P_0 до P_3 ; $\alpha = (0.5 \div 1.5)$ – коэффициент, зависящий от уровня разработки и производства.

Стоимость M устройств (C_y), необходимых для достижения надежности P_3 , требуемой для выполнения определенной задачи, будет равна:

$$C_y = C M, \quad (2)$$

где M – количество устройств, необходимых для достижения требуемого значения надежности P_3 , определяется из формулы общего резервирования.

$$P_3 = 1 - (1 - P)^M, \quad (3)$$

$$M = \frac{\ln(1 - P_3)}{\ln(1 - P)},$$

где P_3 – требуемая надежность M устройств; P – надежность одного устройства.

Если интенсивность отказов λ распределена экспоненциально, то надежность (вероятность безотказной работы) выражается формулой:

$$P = e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

где t – время безотказной работы.

Из (1), (2), (3), (4) имеем:

$$C_o = C_0(t\lambda_0)^a \ln(1-P_3) \left[\frac{1}{\left(\ln \frac{1}{P}\right)^a \ln(1-P)} \right]. \quad (5)$$

Для нахождения выражения оптимального значения надежности $P_{\text{опт}}$ (соответствующего минимальным экономическим затратам), до которого следует повышать надежность одного устройства, продифференцируем уравнение (5) по P и приравняем производную к нулю:

$$\frac{K \left[-\frac{a}{P_{\text{опт}}} \left(\ln \frac{1}{P_{\text{опт}}} \right)^{a-1} \ln(1-P_{\text{опт}}) - \frac{1}{P_{\text{опт}}} \left(\ln \frac{1}{P_{\text{опт}}} \right)^a \right]}{\left(\ln \frac{1}{P_{\text{опт}}} \right)^{2a} [\ln(1-P_{\text{опт}})]^2} = 0, \quad (6)$$

где $K = C_0(\lambda_0 t)^a \ln(1-P_3)$.

После несложных преобразований (6) имеем:

$$a = \frac{(P_{\text{опт}}) \ln \frac{1}{P_{\text{опт}}}}{\left(\ln \frac{1}{1-P_{\text{опт}}} \right) (1-P_{\text{опт}})}. \quad (7)$$

На рисунке показана зависимость $P_{\text{опт}} = f(a)$.

Обозначим значения коэффициента a , соответствующие начальной надежности устройства P_o и надежности P_3 , a_o и a_3 соответственно.

Сравнивая значения коэффициента a со значениями a_o и a_3 , можно решить, какой способ повышения надежности данных невосстанавливаемых устройств до заданного значения P_3 будет экономически эффективным, то есть оптимальным с точки зрения получения минимальных затрат.

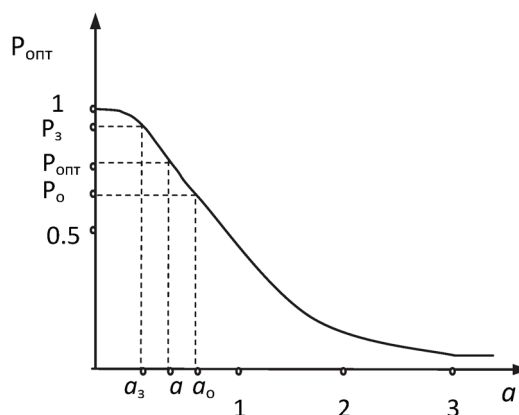
В случае $a \geq a_o$, что соответствует $P_{\text{опт}} \leq P_o$, необходимое значение надежности P_3 можно получить только применением резервных устройств с надежностью P_o , число которых M_o определяется по формуле (3).

Если $a \leq a_3$, что соответствует $P_{\text{опт}} \geq P_3$, следует повышать надежность устройства до P_3 без применения резервирования ($M_3 = 1$).

Если $a_3 < a < a_o$, ($P_3 > P_{\text{опт}} > P_o$), следует повышать надежность одного устройства до $P_{\text{опт}}$ и применять M резервных устройств с надежностью $P_{\text{опт}}$.

Определив $P_{\text{опт}}$ по формуле (7), вычисляют число резервных устройств M :

$$M = \frac{\ln(1-P_3)}{\ln(1-P_{\text{опт}})}.$$



Зависимость оптимальной надежности $P_{\text{опт}}$ одного устройства от коэффициента a

Пример. Для сбора измерительной информации о работе проветривания шахты прибор, необходимый для выполнения измерительных операций над получаемыми от датчиков величинами, должен обладать надежностью $P_3 = 0,95$ в течение $t = 10$ ч. Предположим, что наиболее подходящий (из имеющихся) прибор обладает всеми необходимыми техническими характеристиками, кроме надежности ($P_o = 0,7$), и имеет стоимость $C_o = 10000$ руб.

Требуется определить стоимость C_{y1} , получающуюся при оптимальном способе повышения надежности P_{opt} , и число резервных приборов M , если $a = 0,55$.

По формуле (7) определяем: $a_3 = 0,336$, $a_o = 0,692$, $P_{opt} = 0,8$.

Так как $a_3 < a < a_o$, то надежность P_3 следует обеспечить повышением надежности одного устройства конструкторско-производственными способами до $P_{opt} = 0,8$ и резервированием кратностью M . Находим M по формуле (3):

$$M = \frac{\ln(1 - P_3)}{\ln(1 - P_{opt})} = \frac{\ln(1 - 0,95)}{\ln(1 - 0,8)} = 1,9.$$

Выбираем $M = 2$, из формулы (3) определяем значение надежности P_{opt} :

$$\ln \frac{1}{(1 - P_{opt})} = \frac{1}{M} \ln \frac{1}{(1 - P_3)} = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1 - 0,95},$$

$$P_{opt} = 0,78.$$

Далее вычисляем по формуле (4) интенсивности отказов:

$$\lambda_o = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{P_o} = \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0,7} = 0,0155 \text{ ч}^{-1},$$

$$\lambda_{opt} = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{P_{opt}} = \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0,78} = 0,0108 \text{ ч}^{-1},$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{P_3} = \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0,95} = 0,0023 \text{ ч}^{-1}.$$

Из выражения (1) и (2) определяем C_{y1} :

$$C_{y1} = C_o \left(\frac{\lambda_o}{\lambda_{opt}} \right)^a M = 10^4 \left(\frac{0,0155}{0,0108} \right)^{0,55} 2 = 24400 \text{ руб.}$$

Если применить только одно устройство ($M_o = 1$) с $P_3 = 0,95$, то его стоимость будет:

$$C_{yo} = C_o \left(\frac{\lambda_o}{\lambda_3} \right)^a M_o = 10^4 \left(\frac{0,0155}{0,0023} \right)^{0,55} = 28600 \text{ руб.}$$

Так как $C_{y1} < C_{yo}$, то обеспечить оптимальную надежность $P = 0,95$ можно путем повышения надежности устройства конструкторско-производственными способами от $P_o = 0,7$ до $P_{opt} = 0,78$ и применением двух устройств ($M = 2$).

Таким образом, в данной статье рассмотрен метод определения оптимального способа повышения надежности невосстанавливаемых устройств до заданного значения и соответствующих этому способу соотношений между надежностью, стоимостью и количеством резервных устройств.

Список литературы

1. Шишонов Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – М.: Советское радио, 1964. – 246 с.
2. Ллойд Д.К., Липов М. Надежность. – М.: Советское радио, 1969. – 328 с.
3. Хачатрян С.А. Надежность горнотранспортных машин и оборудования. – Пенза, 2015. – 124 с.
4. Кулешов А.А., Дакукин В.П. Надежность горных машин и оборудования. – СПб., 2004. – 103 с.
5. Калявин В.П. Основы теории надежности и диагностика. – СПб., 1998. – 168 с.
6. Хачатрян С.А. Проблемы надежности конвейерного транспорта угольных шахт. СПб., 2004. – 177 с.
7. Хачатрян С.А. Применение теории Марковских процессов к исследованию надежности конвейерных систем. Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в новом тысячелетии. – Новосибирск, 2015. – С.18–20.
8. Хачатрян С.А., Киборт А.Н. Экономическая эффективность применения многоприводных ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень: научно-технический журнал. – 2013. – №3. – 385–388 с.