

Выбор оптимального способа повышения надежности невосстанавливаемых объектов Хачатрян С. А.¹, Киборт А. Н.²

¹Хачатрян Самвел Амазаспович / Khachtryan Samvel Amasapovich – доктор технических наук, профессор,
кафедра горного и нефтегазового оборудования,

Московский государственный машиностроительный университет (ММПИ);

²Киборт Анжела Николаевна / Kibort Anzhela Nikolaevna – старший преподаватель,
Ухтинский государственный университет, Воркутинский филиал, г. Воркута

Аннотация: 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. 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.

Abstract: 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. 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.

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

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 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 или повышением 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 математическую модель стоимости в зависимости от параметра надежности по формуле [2].

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

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 и P_3 ;

$a = (0.5 \div 1.5)$ – 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:

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

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:

$$C_y = C_o (\lambda t_o)^a \ln(1 - P_3) \left[\frac{1}{\left(\ln \frac{1}{P} \right)^a \ln(1 - P)} \right]. \quad (5)$$

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:

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

где $K = C_o (\lambda t_o)^a \ln(1 - P_3)$.

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 рис. 1 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.

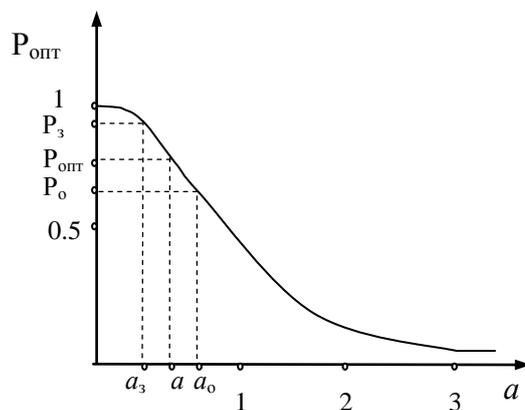


Рис. 1. Зависимость оптимальной надежности $P_{\text{опт}}$ одного устройства от коэффициента a

1. 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).

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

3. 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 :

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

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 $t = 10$ час. 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 $P_{\text{опт}}$, и число резервных приборов M , если $a = 0.55$.

По формуле (7) определяем: $a_3 = 0.336$, $a_o = 0.692$, $P_{\text{опт}} = 0.8$.

Так как $a_3 < a < a_o$, то надежность P_3 следует обеспечить повышением надежности одного устройства конструкторско-производственными способами до $P_{\text{опт}} = 0.8$ и резервированием кратностью M . Находим M по формуле (3):

$$M = \frac{\ln(1 - P_3)}{\ln(1 - P_{\text{опт}})} = \frac{\ln(1 - 0.95)}{\ln(1 - 0.8)} = 1.9.$$

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

$$\ln \frac{1}{(1 - P_{\text{опт}})^M} = \frac{1}{M} \ln \frac{1}{(1 - P_3)} = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1 - 0.95},$$

$$P_{\text{опт}} = 0.78.$$

Далее вычисляем по формуле (4) интенсивности отказов:

$$\lambda_o = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{P_o} = \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0.7} = 0.0155 \text{ ч}^{-1},$$

$$\lambda_{\text{опт}} = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{P_{\text{опт}}} = \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0.78} = 0.0108 \text{ ч}^{-1},$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{t} \ln \frac{1}{P_3} = \frac{1}{10} \ln \frac{1}{0.95} = 0.0023 \text{ ч}^{-1}.$$

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

$$C_{y1} = C_o \left(\frac{\lambda_o}{\lambda_{\text{опт}}} \right)^a M = 10^4 \left(\frac{0.0155}{0.0108} \right)^{0.55} \cdot 2 = 24400 \text{ руб.}$$

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 $P_{\text{опт}} = 0.78$ 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.

Литература

1. Шишинок 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 г., 124 с.
4. Хачатрян С. А., Киборт А. Н. Экономическая эффективность применения многоприводных ленточных конвейеров. М.: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013 № 3. 385-388 с.