

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИИ

Е. С. Глазенкова

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов, д-р техн. наук, профессор

В сложных технических устройствах без резервирования никогда не удастся достичь высокой надежности, даже используя элементы с высокими показателями безотказности [1]–[3].

Рассмотрим структурное резервирование, осуществляемое введением в систему резервных составляющих, избыточных по отношению к минимально необходимой структуре объекта и выполняющих те же функции, что и основные. Система со структурным резервированием – это система с избыточностью элементов, выполняющими те же функции, что и основные элементы. В системах с резервированием работоспособность обеспечивается до тех пор, пока для замены отказавших основных элементов имеются в наличии резервные.

По способу включения резервных элементов резервирование подразделяется:

– пассивное (ненагруженное) – резервные элементы вводятся в работу только после отказа основных элементов;

– активное (нагруженное) – резервные элементы функционируют наравне с основными (постоянно включены в работу). Этот вид резервирования достаточно широко распространен, так как обеспечивает самый высокий коэффициент оперативной готовности.

Любая технологическая система, состоящая из последовательно расположенных элементов, характеризуется интенсивностью восстановления при известной интенсивности отказа системы и ее элементов

$$\mu_{\text{сист.}} = \frac{\lambda_{\text{сист.}}}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_1}}; \quad \lambda_{\text{сист.}} = \sum \lambda_i,$$

где $\lambda_{\text{сист.}}$, λ_i – соответственно интенсивности отказа системы и ее элементов; $\mu_{\text{сист.}}$, μ_1 – соответственно интенсивность восстановления системы и ее элементов.

Вероятность безотказности системы в момент времени:

$$P_0(t) = \frac{z_1 - B_{\text{п}}}{z_1 - z_2} e^{z_1 t} + \frac{z_1 + B_{\text{п}}}{z_1 - z_2} e^{z_2 t},$$

где $B_{\text{п}} = \mu + 3\lambda$; $z_n = \frac{-B_{\text{п}} \pm \sqrt{B_{\text{п}}^2 - 8\lambda^2}}{2}$.

Функция готовности $K_r(t)$:

$$K_r(t) = \frac{\mu_{\text{сист.}}}{\lambda_{\text{сист.}} + \mu_{\text{сист.}}} + \frac{\lambda_{\text{сист.}}}{\lambda_{\text{сист.}} + \mu_{\text{сист.}}} e^{-(\lambda_{\text{сист.}} + \mu_{\text{сист.}})t}.$$

Например, для системы из четырех элементов с интенсивностью отказа:

$$\lambda_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{3500} = 0,00028; \quad \lambda_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{35} = 0,02857;$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{7000} = 0,00014; \quad \lambda_4 = \frac{1}{T_4} = \frac{1}{1750} = 0,00057;$$

– при риске отказа:

$$\lambda_1 = 150 \text{ у. е.}; \quad x_3 = 15 \text{ у. е.};$$

$$\lambda_2 = 15 \text{ у. е.}; \quad x_4 = 30 \text{ у. е.};$$

– интенсивности восстановления:

$$\mu_1 = 3,429 \cdot 10^{-4}; \quad \mu_2 = 1,0714 \cdot 10^{-4}; \quad \mu_3 = 0,034; \quad \mu_4 = 6,857 \cdot 10^{-4}.$$

Вероятность безотказности системы без резервирования определится по формуле

$$P_c(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t)P_4(t).$$

Графики функций вероятности безотказности и риска системы без резервирования даны на рис. 1.

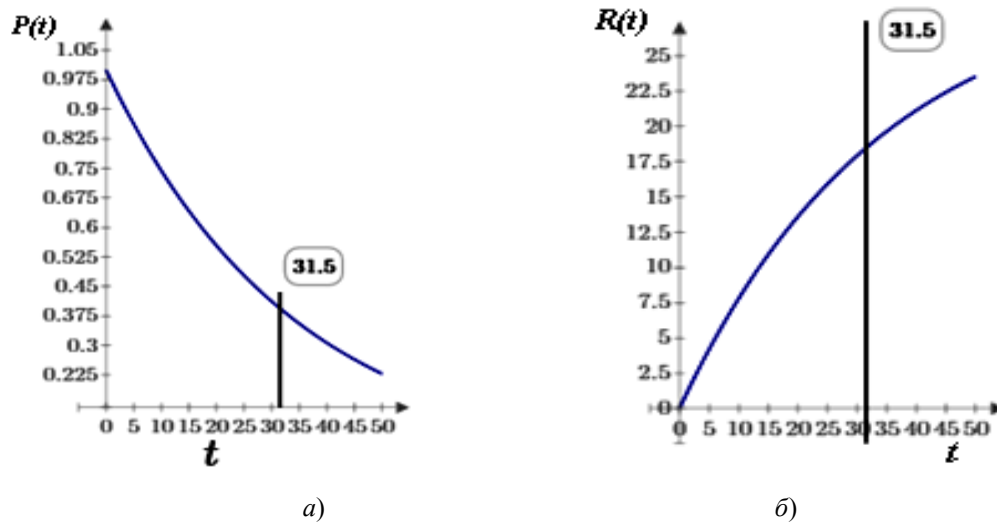


Рис. 1. Графики функций вероятности безотказности (а) и риска (б) системы без резервирования

Для системы с резервированием каждого элемента без восстановления на рис. 2 дана структурная схема при постоянном резервировании.

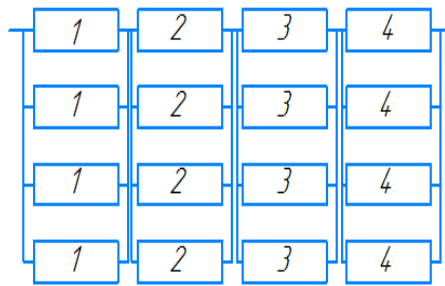


Рис. 2. Структурная схема при постоянном резервировании

Вероятность безотказности каждого элемента и всей системы будет иметь следующий вид:

$$P_1(t) = 1 - (1 - (P_1(t)))^4; \quad P_2(t) = 1 - (1 - (P_2(t)))^4;$$

$$P_3(t) = 1 - (1 - (P_3(t)))^4; \quad P_4(t) = 1 - (1 - (P_4(t)))^4;$$

$$P_c(t) := ((P_1(t)P_2(t))P_3(t))P_4(t).$$

Вероятность отказа каждого элемента определялась по зависимостям:

$$F_1(t) = (1 - P_1(t)); \quad F_2(t) = (1 - P_2(t)); \quad F_3(t) = (1 - P_3(t)); \quad F_4(t) = (1 - P_4(t)).$$

Функция риска системы имела вид

$$R_c(t) = r_{1н} \int_0^t (F_1'(t)P_2(t)P_3(t)P_4(t))dt + r_2 \int_0^t (F_2'(t)P_1(t)P_3(t)P_4(t))dt +$$

$$+ r_3 \int_0^t (F_3'(t)P_2(t)P_1(t)P_4(t))dt + r_4 \int_0^t (F_4'(t)P_2(t)P_3(t)P_1(t))dt.$$

Подставив исходные данные в полученные выражения, были построены графики функций (рис. 3)

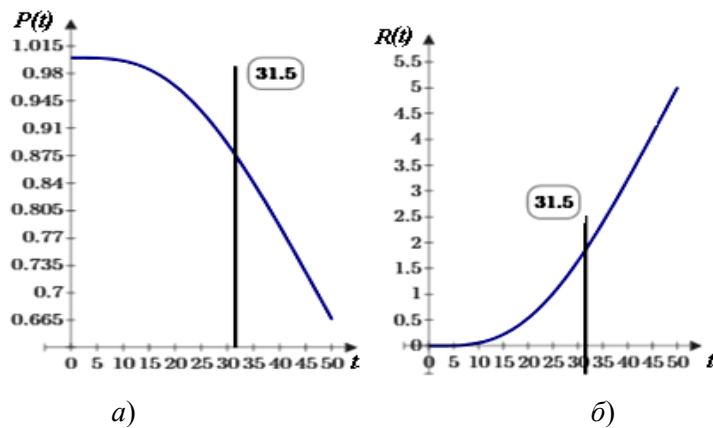


Рис. 3. Графики функций вероятности безотказности (а) и риска (б) системы при резервировании

Для системы с резервированием с восстановлением (рис. 4) расчеты велись этапами.

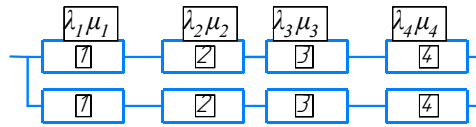


Рис. 4. Структурная схема при постоянном общем резервировании с восстановлением

На первом этапе определялся риск подсистемы:

$$R_1(t) = r_1 \int_0^t (F_1'(t)P_2(t)P_3(t)P_4(t))dt + r_2 \int_0^t (F_2'(t)P_1(t)P_3(t)P_4(t))dt + \\ + r_3 \int_0^t (F_3'(t)P_2(t)P_1(t)P_4(t))dt + r_4 \int_0^t (F_4'(t)P_2(t)P_3(t)P_1(t))dt.$$

На втором этапе определялись вероятность безотказности и риск системы (рис. 5).

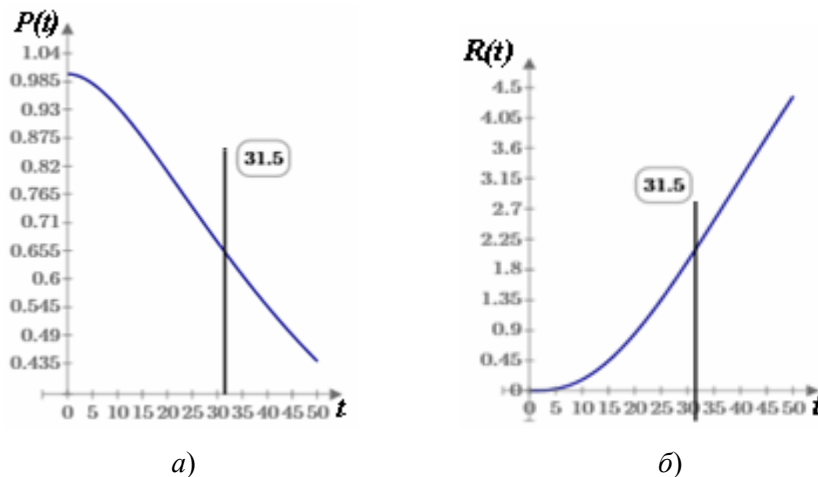


Рис. 5. Графики функций вероятности безотказности (а) и риска (б) системы при резервировании с восстановлением

Таким образом, можно сделать следующие выводы: более надежной является технологическая система с постоянным общим резервированием так как вероятность безотказности выше, а риск отказа ниже.

Литература

1. Альгин, В. Б. Надежность технически сложных изделий в свете «Индустрии 4.0» / В. Б. Альгин, Н. Н. Ишин // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объед. ин-т машиностроения НАН Беларуси ; редкол.: С. Н. Поддубко [и др.]. – 2017. – Вып. 6. – С. 43–54.
2. Арсаланов, А. М. Расчет элементов конструкций заданной надежности при случайных воздействиях / А. М. Арсаланов. – М. : Машиностроение, 1987. – 167 с.
3. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин. – М. : Машиностроение, 1984. – 312 с.