<u>ВОЕННО-КОСМИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО</u>
Кафедра информационно-вычислительных систем и сетей

УТВЕРЖДАЮ
Начальник 24 кафедры
полковник
А. Басыров
«____» _____ 20 года

Автор: преподаватель 24 кафедры,
кандидат технических наук, доцент В. Тимофеев

Тема2. Аналитические методы расчёта показателей надёжности АС

Практическое занятие

Расчет надежности восстанавливаемых систем

по дисциплине

Надежность автоматизированных систем

Обсуждено и одобрено на заседании 24 кафедры
« ___» ____________ 20____ года протокол № ___

Санкт - Петербург
20__

Цель занятия: привитие обучаемым навыков расчета надежности восстанавливаемых технических систем по известным показателям надежности их элементов.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЯ И ВРЕМЯ

Введение 5 мин.

1. Решение задач по расчету надежности нерезервированной системы 30 мин.
2. Решение задач по расчету надежности резервированной системы 100 мин.
3. Проверочная работа

Заключение 5 мин.

1. Расчет надежности нерезервированной системы

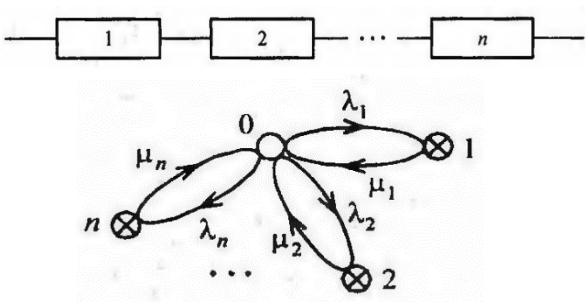


Рис. 1. Надежностная схема и граф состояний нерезервированной восстанавливаемой системы: состояние 0 – исправное состояние системы, состояния 1, 2, … n – состояния восстановления отказавших элементов.

Система дифференциальных уравнений, описывающая граф состояний нерезервированной системы с основным соединением элементов:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda_c p_0(t) + \sum_{i=1}^{n} \mu_i p_i(t) \\ \frac{dp_i(t)}{dt} = \lambda_i p_0(t) - \mu_i p_i(t) \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \tag{1}$$

где $\lambda_c = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$; $p_0(0) = 1$; $p_1(0) = p_2(0) = \ldots = p_n(0) = 0$.

Для условия длительной эксплуатации (стационарный режим), когда $t \to \infty$, $p_i(t) \to p_i$, $p_i' \to 0$, система дифференциальных уравнений примет вид системы алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -\lambda_c p_0 + \sum_{i=1}^{n} \mu_i p_i = 0 \\ \lambda_i p_0 - \mu_i p_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (2)$$

Решая систему алгебраических уравнений при условии, что $\sum_{i=0}^{n} p_i = 1$, получим выражение для p_0 и K_Γ:

$$K_\Gamma = p_0 = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{n} \gamma_i}, \quad (3)$$

где $\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$.

Среднее время восстановления $T_В$ определяется из выражений для T и K_Γ. Так как

$K_\Gamma = \frac{T}{T + T_В}$ и $K_П = 1 - K_\Gamma$, то $T_В = T\frac{K_П}{K_\Gamma}$. Поскольку $K_\Gamma = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{n} \gamma_i}$, то

$$T_В = T\sum_{i=1}^{n} \gamma_i. \quad (4)$$

Так как

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} = \frac{1}{\lambda_с}, \quad (5)$$

то

$$T_В = \frac{1}{\lambda_с}\sum_{i=1}^{n} \gamma_i. \quad (6)$$

Примеры задач для расчета нерезервированных систем

Задача 1

Аппаратура состоит из 20 одинаковых элементов, интенсивность отказа каждого элемента $\lambda = 0{,}33 \cdot 10^{-4}$ 1/час, а интенсивность восстановления $\mu = 0{,}33 \cdot 10^{-2}$ 1/час

Необходимо определить коэффициент готовности, среднее время между отказами и среднее время восстановления аппаратуры.

<u>Ответ</u>

Так как интенсивности отказа и восстановления каждого элемента λ и μ – постоянны (не зависят от времени функционирования элемента), значит распределение вероятностей времен безотказной работы и восстановления элемента подчинены экспоненциальному закону.

$$\gamma_i = \gamma = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0{,}33*10^{-4}}{0{,}33*10^{-2}} = 10^{-2},$$

$$K_Г = P_0 = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{n}\gamma_i} = \frac{1}{1+20*10^{-2}} = 0{,}83,$$

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i} = \frac{1}{20*0{,}33*10^{-4}} = 1515 \text{ час},$$

$$T_B = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i} * \sum_{i=1}^{n}\gamma_i = 1515 * 20 * 10^{-2} = 303 \text{ час}.$$

Задача 2

Система состоит из 2-х элементов, интенсивность отказа и восстановления каждого элемента λ_1 = 0,33·10^{-4} 1/час, μ_1 = 0,33·10^{-2} 1/час; λ_2 = 0,44·10^{-4} 1/час, μ_2 = 0,44·10^{-2} 1/час.

Необходимо определить коэффициент готовности, среднее время между отказами и среднее время восстановления системы.

Ответ

Так как интенсивности отказа и восстановления каждого элемента λ_i и μ_i – постоянны (не зависят от времени функционирования элемента), значит распределение вероятностей времен безотказной работы и восстановления элемента подчинены экспоненциальному закону.

$$\gamma_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} = \frac{0{,}33*10^{-4}}{0{,}33*10^{-2}} = 10^{-2};\ \gamma_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} = \frac{0{,}44*10^{-4}}{0{,}44*10^{-2}} = 10^{-2}.$$

$$K_Г = P_0 = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{2}\gamma_i} = \frac{1}{1+2*10^{-2}} = 0{,}98.$$

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{2}\lambda_i} = \frac{1}{(0{,}33+0{,}44)*10^{-4}} = 12987 \text{ час}.$$

$$T_B = \frac{1}{\sum_{i=1}^{2}\lambda_i} * \sum_{i=1}^{2}\gamma_i = 12987 * 2 * 10^{-2} = 260 \text{ час}.$$

2. Расчет надежности резервированной системы

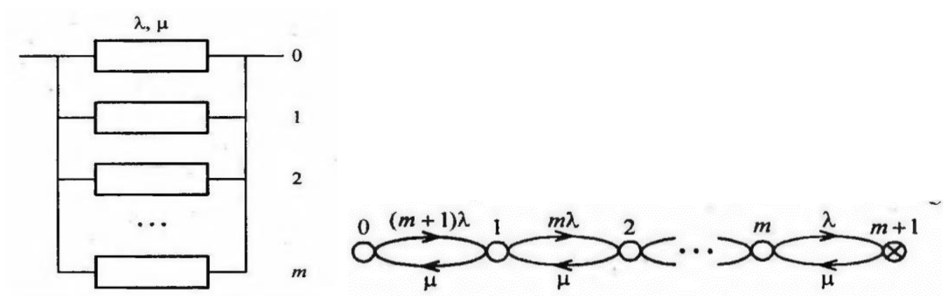


Рис.2. Надежностная схема и граф состояний системы с общим резервированием и постоянно включенным резервом: состояние 0,1,…,m – работоспособные состояния системы, m + 1 – неработоспособное состояние системы

Система алгебраических уравнений, соответствующая графу состояний, для стационарного режима будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \mu p_1 - (m+1)\lambda p_0 = 0 \\ \sum_{i=1}^{m}(\mu p_{i+1} + (m+2-i)\lambda p_{i-1} - ((m+1-i)\lambda + \mu)p_i) = 0 \\ \lambda p_m - \mu p_{m+1} = 0. \end{cases} \qquad (7)$$

Решая систему алгебраических уравнений при условии, что $\sum_{i=0}^{m+1} p_i = 1$, получим выражение для $K_\text{П}$ и $K_\text{Г}$:

Так как $p_{m+1} = K_\text{П}$ и $K_\text{Г} = 1 - K_\text{П}$, то

$$K_\text{П} = \frac{1}{1+\frac{\gamma^1}{1!}+\frac{\gamma^2}{2!}+\dots+\frac{\gamma^{m+1}}{(m+1)!}}; \quad K_\text{Г} = \frac{\sum_{i=1}^{m+1}\gamma^i/i!}{\sum_{i=0}^{m+1}\gamma^i/i!}; \qquad (8)$$

где $\gamma = \frac{\mu}{\lambda}$.

Поскольку все элементы системы равно надежны, то в соответствии с графом состояний среднее время восстановления системы будет равно

$$T_\text{В} = \frac{1}{\mu}. \qquad (9)$$

В силу соотношения $T = T_\text{В}\,\frac{K_\text{Г}}{K_\text{П}}$ и формул для $K_\text{П}$, $K_\text{Г}$, и $T_\text{В}$ получим

$$T = \frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{m+1}\gamma^i/i!; \quad T = T_0\,\sum_{i=1}^{m+1}\gamma^{i-1}/i!; \qquad (10)$$

где $T_0 = \frac{1}{\lambda}$ – наработка на отказ нерезервированной системы.

Последнее выражение устанавливает зависимость наработки на отказ резервированной системы от кратности резервирования.

Примеры задач для расчета резервированных систем

Задача 4.3

Аппаратура состоит из одного основного элемента и одного резервного элементов, интенсивность отказа каждого элемента λ = 0,33·10^{-4} 1/час, а интенсивность восстановления μ = 0,33·10^{-3} 1/час

Необходимо определить коэффициент готовности, коэффициент простоя, среднее время между отказами и среднее время восстановления аппаратуры.

Ответ

Так как интенсивности отказа и восстановления каждого элемента λ и μ – постоянны (не зависят от времени функционирования элемента), значит распределение вероятностей времен безотказной работы и восстановления элемента подчинены экспоненциальному закону.

$$\gamma = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{0{,}33*10^{-3}}{0{,}33*10^{-4}} = 10.$$

$$K_{П} = \frac{1}{1+\frac{\gamma^1}{1!}+\frac{\gamma^2}{2!}+\dots+\frac{\gamma^{m+1}}{(m+1)!}}.\text{ Так как } m = 1, \text{ то } K_{П} = \frac{1}{1+10+50} = 0{,}016.$$

$$K_{Г} = 1 - K_{П} = 1 - 0{,}016 = 0{,}984.$$

$$T_в = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0{,}33*10^{-3}} = 3\ 030 \text{ час.}$$

$$T = \frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{m+1}\gamma^i/i! = \frac{1}{0{,}33*10^{-3}}\left(\frac{10}{1}+\frac{100}{2}\right) = 1{,}8*10^5 \text{час.}$$

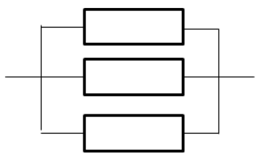
Задача 4

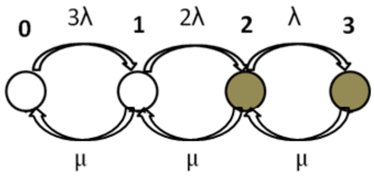
Аппаратура зарезервирована по мажоритарному принципу 2 из 3-х. Интенсивность отказа каждого элемента λ = 10^{-3} 1/час, а интенсивность восстановления μ = 10^{-2} 1/час.

Необходимо определить коэффициент готовности, коэффициент простоя, среднее время между отказами и среднее время восстановления аппаратуры.

Ответ

Так как интенсивности отказа и восстановления каждого элемента λ и μ – постоянны (не зависят от времени функционирования элемента), значит распределение вероятностей времен безотказной работы и восстановления элемента подчинены экспоненциальному закону.





$$\begin{cases} \mu P_1 - 3\lambda P_0 = 0 \\ 3\lambda P_0 + \mu P_2 - (2\lambda + \mu)P_1 = 0 \\ 2\lambda P_1 + \mu P_3 - (\lambda + \mu)P_2 = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{cases}$$

$$P_0 = \frac{\mu P_1}{3\lambda};$$

$$\begin{cases} \mu P_2 - 2\lambda P_1 = 0 \\ 2\lambda P_1 + \mu P_3 - (\lambda + \mu)P_2 = 0 \\ (\mu + 3\lambda)P_1 + 3\lambda P_2 + 3\lambda P_3 = 3\lambda \end{cases}$$

$$P_1 = \frac{\mu P_2}{2\lambda};$$

$$\begin{cases} \mu P_3 - \lambda P_2 = 0 \\ (\mu^2 + 3\lambda\mu + 6\lambda^2)\, P_2 + 6\lambda^2 P_3 = 6\lambda^2 \end{cases}$$

$$P_2 = \frac{\mu P_3}{\lambda};$$

$$P_3(\mu^3 + 3\lambda\mu^2 + 6\lambda^2\mu + 6\lambda^3) = 6\lambda^3;\ P_3 = \frac{6\lambda^3}{\mu^3 + 3\lambda\mu^2 + 6\lambda^2\mu + 6\lambda^3} = 0{,}0044;$$

$$P_2 = \frac{\mu P_3}{\lambda} = \frac{10^{-2} * 0{,}0044}{10^{-3}} = 0{,}044; \quad P_1 = \frac{\mu P_2}{2\lambda} = \frac{10^{-2} * 0{,}044}{2 * 10^{-3}} = 0{,}22;$$

$$P_0 = \frac{\mu P_1}{3\lambda} = \frac{10^{-2} * 0{,}22}{2 * 10^{-3}} = 0{,}732.$$

$$K_{Г} = P_0 + P_1 = 0{,}732 + 0{,}22 = 0{,}952. \quad K_{П} = 1 - K_{Г} = 0{,}048.$$

$$T_{в} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{10^{-2}} = 100 \text{ час. } T = T_{В} \frac{K_{Г}}{K_{П}} = \frac{0{,}952}{0{,}048} * 100 = 1983 \text{ час.}$$

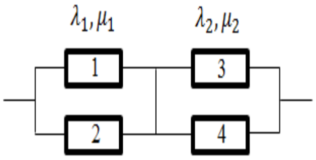
Задача 5

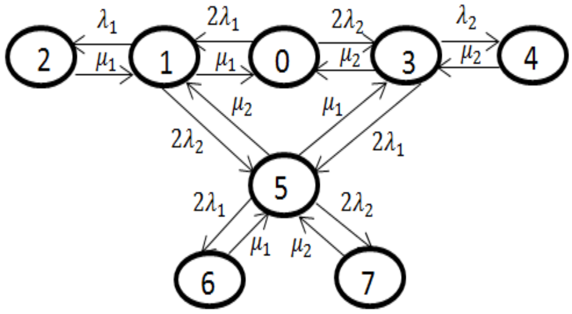
Аппаратура состоит из двух основных элементов. Интенсивность отказа каждого элемента λ_1 и λ_2, а интенсивность восстановления μ_1 и μ_2. Каждый основной элемент зарезервирован постоянно включенным аналогичным элементом.

Составить граф состояний аппаратуры, систему алгебраических уравнений и выражения для определения $K_{П}$, T и T_B.

<u>Ответ</u>

Так как интенсивности отказа и восстановления каждого элемента λ и μ – постоянны (не зависят от времени функционирования элемента), значит распределение вероятностей времен безотказной работы и восстановления элемента подчинены экспоненциальному закону.





Состояние $\boldsymbol{S_0}$(работоспособное) – все элементы исправны (событие – $a_1a_2a_3a_4$).

Состояние $\boldsymbol{S_1}$(работоспособное) – один элемент неисправен (события – $\bar{a}_1a_2a_3a_4$ и $a_1\bar{a}_2a_3a_4$).

Состояние $\boldsymbol{S_2}$(неработоспособное) – два элемента неисправны (событие – $\bar{a}_1\bar{a}_2a_3a_4$).

Состояние $\boldsymbol{S_3}$(работоспособное) – один элемент неисправен (события – $a_1a_2\bar{a}_3a_4$ и $a_1a_2a_3\bar{a}_4$).

Состояние $\boldsymbol{S_4}$(неработоспособное) – два элемента неисправны (событие – $a_1a_2\bar{a}_3\bar{a}_4$).

Состояние $\boldsymbol{S_5}$(работоспособное) – два элемента неисправны (события – $\bar{a}_1a_2\bar{a}_3a_4$, $\bar{a}_1a_2a_3\bar{a}_4$, $a_1\bar{a}_2\bar{a}_3a_4$ и $a_1\bar{a}_2a_3\bar{a}_4$).

Состояние $\boldsymbol{S_6}$(неработоспособное) – три элемента неисправны (события – $\bar{a}_1\bar{a}_2\bar{a}_3a_4$ и $\bar{a}_1\bar{a}_2a_3\bar{a}_4$).

Состояние $\boldsymbol{S_7}$(неработоспособное) – три элемента неисправны (события – $a_1\bar{a}_2\bar{a}_3\bar{a}_4$ и $\bar{a}_1a_2\bar{a}_3\bar{a}_4$).

Всего событий – $2^4 = 16$. Последнее событие $\bar{a}_1\bar{a}_2\bar{a}_3\bar{a}_4$ не указано в графе состояний, так как оно следует из неработоспособных состояний $\boldsymbol{S_6}$ и $\boldsymbol{S_7}$. Предполагается, что в неработоспособном состоянии аппаратуры исправные элементы находятся в выключенном состоянии и потому отказать не могут.

$$
\begin{cases}
\mu_1P_1 + \mu_2P_3 - 2(\lambda_1 + \lambda_2)P_0 = 0 \\
2\lambda_1P_0 + \mu_1P_2 + \mu_2P_5 - (\lambda_1 + 2\lambda_2 + \mu_1)P_1 = 0 \\
\lambda_1P_1 - \mu_1P_2 = 0 \\
2\lambda_2P_0 + \mu_2P_4 + \mu_1P_5 - (\lambda_2 + 2\lambda_1 + \mu_2)\, P_3 = 0 \\
\lambda_2P_3 - \mu_2P_4 = 0 \\
2\lambda_2P_1 + 2\lambda_1P_3 + \mu_1P_6 + \mu_2P_7 - (2\lambda_1 + 2\lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) = 0 \\
2\lambda_1P_5 - \mu_1P_6 = 0 \\
2\lambda_2P_5 - \mu_2P_7 = 0
\end{cases}
$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = 1.$$

$K_Г = P_0 + P_1 + P_3 + P_5$. $K_п = 1 – K_Г$.

При $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ $T_B = \frac{1}{\mu}$. $T = \frac{K_Г}{K_п} T_B$.

3. Проверочная работа

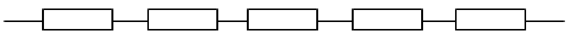
Вариант 1

Задача 1

Аппаратура состоит из 5 одинаковых элементов, средняя интенсивность отказа каждого элемента $\lambda = 0{,}55 \cdot 10^{-4}$ 1/час, а интенсивность восстановления $\mu = 0{,}55 \cdot 10^{-2}$ 1/час

Необходимо определить коэффициент готовности, среднее время между отказами и среднее время восстановления аппаратуры.

<u>Ответ</u>



$$\gamma_i = \gamma = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0{,}55*10^{-4}}{0{,}55*10^{-2}} = 10^{-2}.$$

$$K_Г = P_0 = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{5}\gamma_i} = \frac{1}{1+5*10^{-2}} = 0{,}95. \quad K_п = 1 – K_Г = 0{,}05.$$

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{5}\lambda_i} = \frac{1}{5*0{,}55*10^{-4}} = 3\ 636 \text{ час.}$$

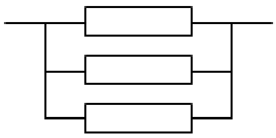
$$T_B = \frac{1}{\sum_{i=1}^{5}\lambda_i} * \sum_{i=1}^{5}\gamma_i = 3\ 636 * 5 * 10^{-2} = 182 \text{ час.}$$

Задача 2

Аппаратура состоит из одного основного элемента и двух резервных элементов, включенных постоянно, средняя интенсивность отказа каждого элемента $\lambda = 0{,}66 \cdot 10^{-5}$ 1/час, а интенсивность восстановления $\mu = 0{,}66 \cdot 10^{-4}$ 1/час

Необходимо определить коэффициент готовности, коэффициент простоя, среднее время между отказами и среднее время восстановления аппаратуры.

<u>Ответ</u>



$$\gamma = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{0{,}66*10^{-4}}{0{,}66*10^{-5}} = 10.$$

$K_\Pi = \frac{1}{1+\frac{\gamma^1}{1!}+\frac{\gamma^2}{2!}+\cdots+\frac{\gamma^{m+1}}{(m+1)!}}$. Так как $m = 2$, то $K_\Pi = \frac{1}{1+10+50+167} = 0{,}004$.

$K_\Gamma = 1 - K_\Pi = 0{,}996$. $T_B = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0{,}66*10^{-4}} = 15\,152$ час.

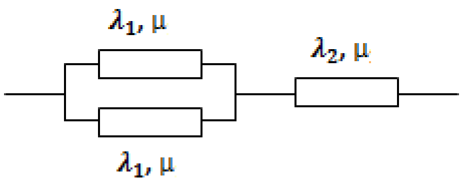
$T = \frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{m+1} \gamma^i / i!$. Для $m = 2$, $T = 15\,152\,(\frac{10}{1} + \frac{100}{2} + \frac{1000}{6}) = 3\,434\,453$ час.

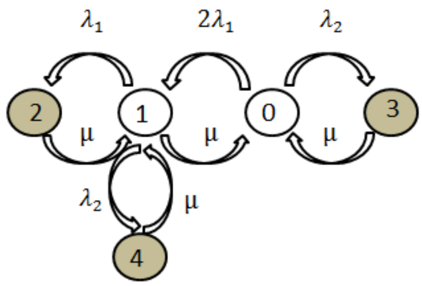
Задача 3

Аппаратура состоит из двух основных элементов. Средняя интенсивность отказа каждого элемента λ_1 и λ_2, а интенсивность восстановления μ. Первый основной элемент зарезервирован постоянно включенным аналогичным элементом.

Составить граф состояний аппаратуры, систему алгебраических уравнений и выражения для определения K_Γ, K_Π, T и T_B. Считать, что в неработоспособном состоянии аппаратуры исправные элементы находятся в выключенном состоянии и потому отказать не могут.

<u>Ответ</u>





$$\begin{cases} \mu(P_1 + P_3) - (2\lambda_1 + \lambda_2)P_0 = 0 \\ 2\lambda_1 P_0 + \mu(P_2 + P_4) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)P_1 = 0 \\ \lambda_1 P_1 - \mu P_2 = 0 \\ \lambda_2 P_0 - \mu P_3 = 0 \\ \lambda_2 P_1 - \mu P_4 = 0 \end{cases}$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.$$

$K_\Gamma = P_0 + P_1$; $K_п = 1 - K_\Gamma$; $T_B = \frac{1}{\mu}$; $T = \frac{K_\Gamma}{K_п} T_B$.

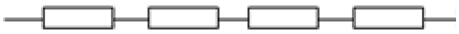
Вариант 2

Задача 1

Аппаратура состоит из 4 одинаковых элементов, средняя интенсивность отказа каждого элемента $\lambda = 0{,}44 \cdot 10^{-4}$ 1/час, а интенсивность восстановления $\mu = 0{,}44 \cdot 10^{-2}$ 1/час

Необходимо определить коэффициент готовности, среднее время между отказами и среднее время восстановления аппаратуры.

<u>Ответ</u>



$$\gamma_i = \gamma = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0{,}44*10^{-4}}{0{,}44*10^{-2}} = 10^{-2}.$$

$$K_\Gamma = P_0 = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{4}\gamma_i} = \frac{1}{1+4*10^{-2}} = 0{,}96. \quad K_\text{п} = 1 - K_\Gamma = 0{,}04.$$

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^{4}\lambda_i} = \frac{1}{4*0{,}44*10^{-4}} = 5\,682 \text{ час},$$

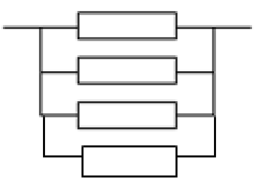
$$T_B = \frac{1}{\sum_{i=1}^{4}\lambda_i} * \sum_{i=1}^{4}\gamma_i = 5\,682 * 4 * 10^{-2} = 227 \text{ час}.$$

Задача 2

Аппаратура состоит из одного основного элемента и трех резервных элементов, включенных постоянно, средняя интенсивность отказа каждого элемента $\lambda = 0{,}7 \cdot 10^{-5}$ 1/час, а интенсивность восстановления $\mu = 0{,}7 \cdot 10^{-4}$ 1/час

Необходимо определить коэффициент готовности, коэффициент простоя, среднее время между отказами и среднее время восстановления аппаратуры.

<u>Ответ</u>



$$\gamma = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{0{,}7*10^{-4}}{0{,}7*10^{-5}} = 10.$$

$$K_\Pi = \frac{1}{1+\frac{\gamma^1}{1!}+\frac{\gamma^2}{2!}+\dots+\frac{\gamma^{m+1}}{(m+1)!}}. \text{ Так как } m = 3,\ K_\Pi = \frac{1}{1+10+50+167+417} = 0{,}002.$$

$$K_\Gamma = 1 - K_\Pi = 0{,}998.\ T_B = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0{,}7*10^{-4}} = 14\,286 \text{ час};$$

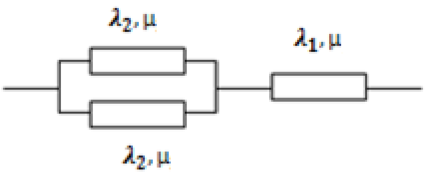
$$T = \frac{1}{\mu}\sum_{i=1}^{m+1}\gamma^i/i!. \text{ Для } m = 3,\ T = 14\,286\left(\frac{10}{1}+\frac{100}{2}+\frac{1000}{6}+\frac{1000}{24}\right) = 9\,195\,422 \text{ час}.$$

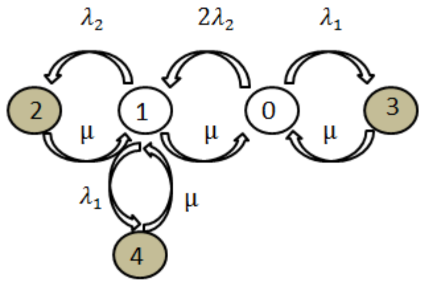
Задача 3

Аппаратура состоит из двух основных элементов. Средняя интенсивность отказа каждого элемента λ_1 и λ_2, а интенсивность восстановления μ. Второй основной элемент зарезервирован постоянно включенным аналогичным элементом.

Составить граф состояний аппаратуры, систему алгебраических уравнений и выражения для определения K_Γ, K_Π, T и T_B. Считать, что в неработоспособном состоянии аппаратуры исправные элементы находятся в выключенном состоянии и потому отказать не могут.

<u>Ответ</u>





$$\begin{cases} \mu(P_1 + P_3) - (2\lambda_2 + \lambda_1)P_0 = 0 \\ 2\lambda_2 P_0 + \mu(P_2 + P_4) - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu)P_1 = 0 \\ \lambda_2 P_1 - \mu P_2 = 0 \\ \lambda_1 P_0 - \mu P_3 = 0 \\ \lambda_1 P_1 - \mu P_4 = 0 \end{cases}$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.$$

$K_\Gamma = P_0 + P_1$; $K_п = 1 - K_\Gamma$; $T_B = \frac{1}{\mu}$; $T = \frac{K_\Gamma}{K_п} T_B$.

Критерии для оценивания проверочной работы

«Отлично», если обучающийся правильно решил все задачи своего варианта.

«Хорошо», если обучающийся правильно решил две задачи своего варианта.

«Удовлетворительно», если обучающийся правильно решил одну задачу своего варианта.

«Неудовлетворительно», если обучающийся не решил ни одной задачи.

______________ В. Тимофеев_______
(воинское звание, подпись, инициал имени, фамилия автора)

«____» ____________ 20___ г.