ОТКАЗОУСТОЙЧИВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

FAULT-TOLERANT INFORMATION SYSTEM FOR THE AUTOMATION OF THE RESIDENTIAL COMPLEX

УДК 004.5

Сенин С.С., студент, Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Системы обработки информации и управления»

Яковлев Д.С., студент, Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Системы обработки информации и управления»

Senin S.S., student, Russia, 105005, Moscow, MSTU N.E. Bauman, Department of Information Processing and Management Systems'

Yakovlev D.S., student, Russia, 105005, Moscow, MSTU N.E. Bauman, Department of Information Processing and Management Systems'

Аннотация

Когда встает вопрос о том, что необходимо разработать новую автоматизированную систему, то, разумеется, необходимо провести проектирование архитектуры, для этого в свою очередь требуется анализ возможных вариантов реализации системы с целью выбора оптимального.

Summary

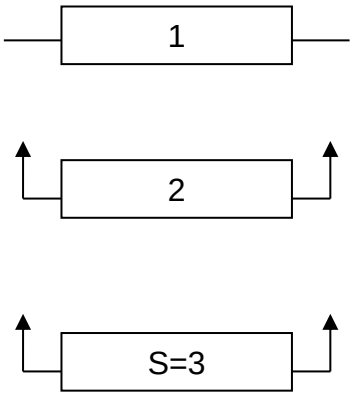
When the question arises that it is necessary to develop a new automated system, then, of course, it is necessary to design the architecture, which in turn requires an analysis of possible options for implementing the system in order to choose the optimal one.

Ключевые слова: машинное обучение, датасет, очистка данных, дерево решений.

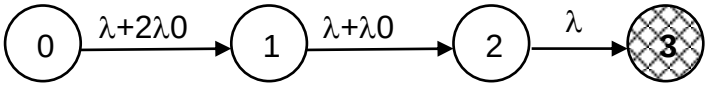
Key words: machine learning, dataset, data cleaning, decision tree.

1.1.С частично нагруженным резервом.

Расчетно-логическая схема системы:



За состояния системы примем количество неисправных элементов системы, тогда граф состояний системы примет следующий вид:



Состояния 0~2 – рабочие;

Состояние 3 – отказовое.

Для определения вероятности безотказной работы составим систему дифференциальных уравнений, соответствующих состояниям системы:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(4\lambda + 2\lambda_0)P_0(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = (4\lambda + 2\lambda_0)P_0(t) - (4\lambda + \lambda_0)P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = (4\lambda + \lambda_0)P_1(t) - 4\lambda P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = 4\lambda P_2(t) \end{cases}$$

Дополнительное условие:

=

-

В начальный момент времени все элементы системы находятся в работоспособном состоянии:

P0(0)=1

P1(0)=0

P2(0)=0

P3(0)=0

Для решения системы дифференциальных уравнений воспользуемся прямым и обратным преобразованиями Лапласа.

Результат применения прямого преобразования:

$$P0(t,\lambda,\lambda0) := \frac{1}{s + \lambda + 2\cdot\lambda0}$$

$$P1(t,\lambda,\lambda0) := \frac{(\lambda + 2\cdot\lambda0)}{(s + \lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot(s + \lambda + \lambda0)}$$

$$P2(t,\lambda,\lambda0) := \frac{(\lambda + \lambda0)\cdot(\lambda + 2\lambda0)}{(s + \lambda + 2\cdot\lambda0)(s + \lambda + \lambda0)(s + \lambda)}$$

$$P3(t,\lambda,\lambda0) := \frac{\lambda\cdot(\lambda + \lambda0)(\lambda + 2\cdot\lambda0)}{(s + \lambda + 2\cdot\lambda0)(s + \lambda + \lambda0)(s + \lambda)\cdot s}$$

Результат применения обратного преобразования:

$$P0(t,\lambda,\lambda0) := \exp\left[-(\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot t\right]$$

$$P1(t,\lambda,\lambda0) := (\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot\left[\frac{-1}{\lambda0}\cdot\exp\left[-(\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot t\right] + \frac{1}{\lambda0}\cdot\exp\left[-(\lambda + \lambda0)\cdot t\right]\right]$$

$$P2(t,\lambda,\lambda0) := (\lambda + \lambda0)\cdot(\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot\left[\frac{1}{(2\cdot\lambda0^2)}\cdot\exp\left[-(\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot t\right] - \frac{1}{\lambda0^2}\cdot\exp\left[-(\lambda + \lambda0)\cdot t\right] + \frac{1}{(2\cdot\lambda0^2)}\cdot\exp(-\lambda\cdot t)\right]$$

$$P3(t,\lambda,\lambda0) := (\lambda + \lambda0)\cdot\lambda\cdot(\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot\left[\frac{-1}{\left[2\cdot\lambda0^2\cdot(\lambda + 2\cdot\lambda0)\right]}\cdot\exp\left[-(\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot t\right] + \frac{1}{\left[\lambda0^2\cdot(\lambda + \lambda0)\right]}\cdot\exp\left[-(\lambda + \lambda0)\cdot t\right] - \frac{1}{(2\cdot\lambda\cdot\lambda0^2)}\cdot\exp(-\lambda\cdot t) + \frac{1}{\left[\lambda\cdot(\lambda + 2\cdot\lambda0)\cdot(\lambda + \lambda0)\right]}\right]$$

Вероятность безотказной работы системы.

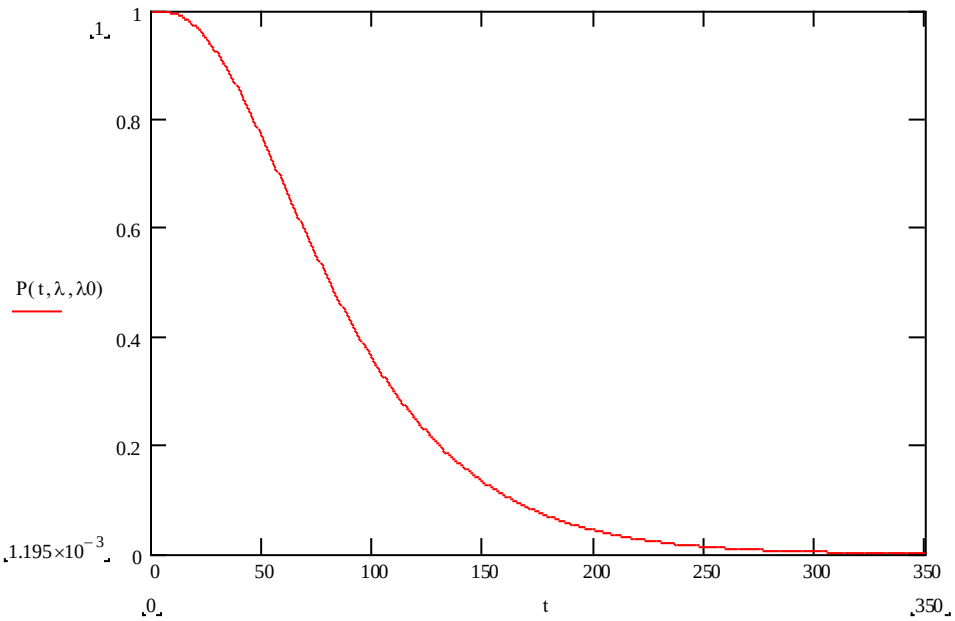
Функция вероятности нахождения системы в рабочем состоянии можно записать следующим образом:

$$P(t,\lambda,\lambda0) := P0(t,\lambda,\lambda0) + P1(t,\lambda,\lambda0) + P2(t,\lambda,\lambda0)$$

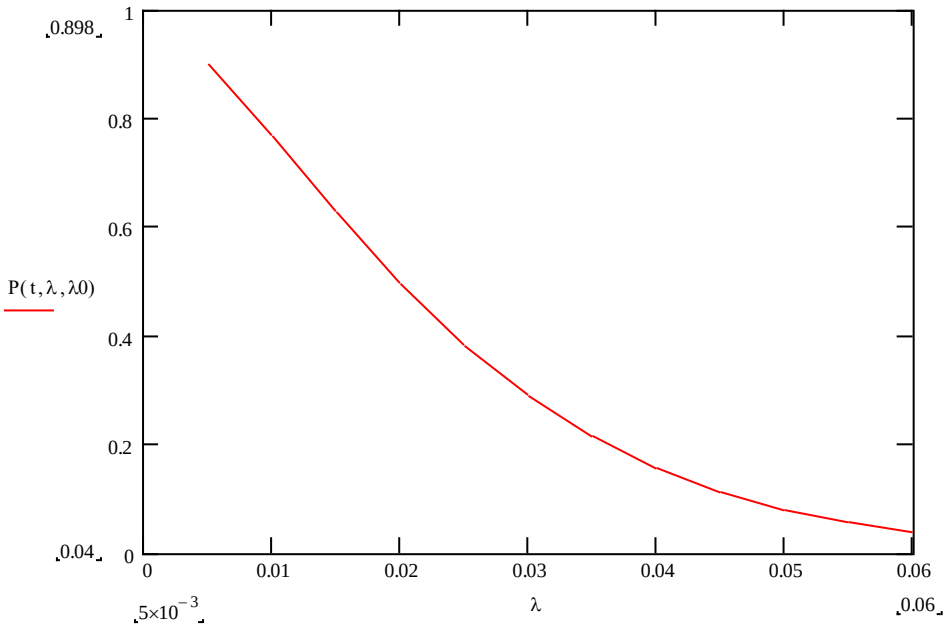
Для значений t=96 ч. λ=2.5*10-2 она принимает следующую величину:

$$P(t,\lambda,\lambda0) = 0.382$$

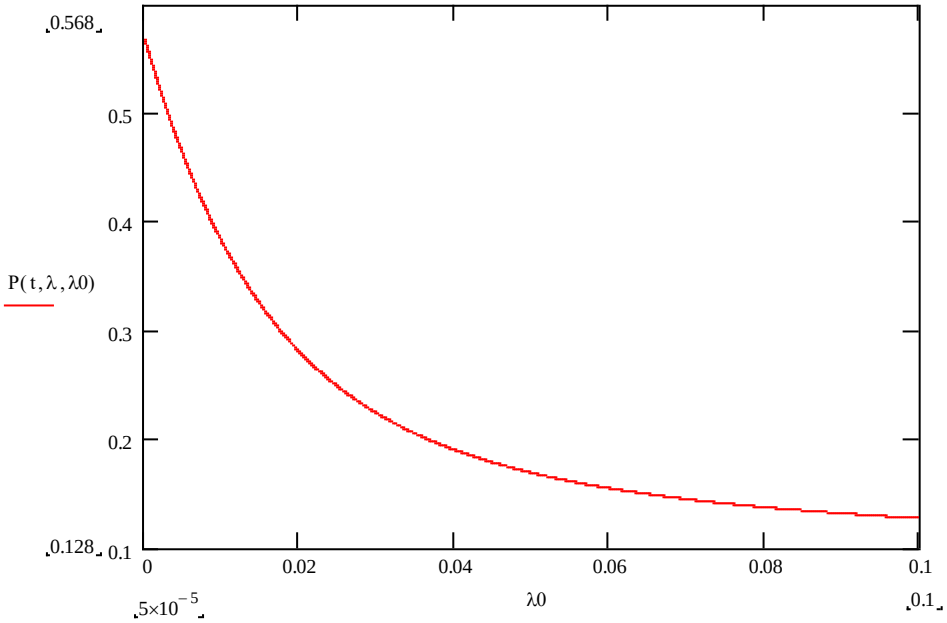
Зависимость вероятности безотказной работы от времени работы системы имеет следующий вид:



Зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности отказов основных элементов (λ) имеет следующий вид:



Зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности отказов частично нагруженных элементов (λ0) имеет следующий вид:

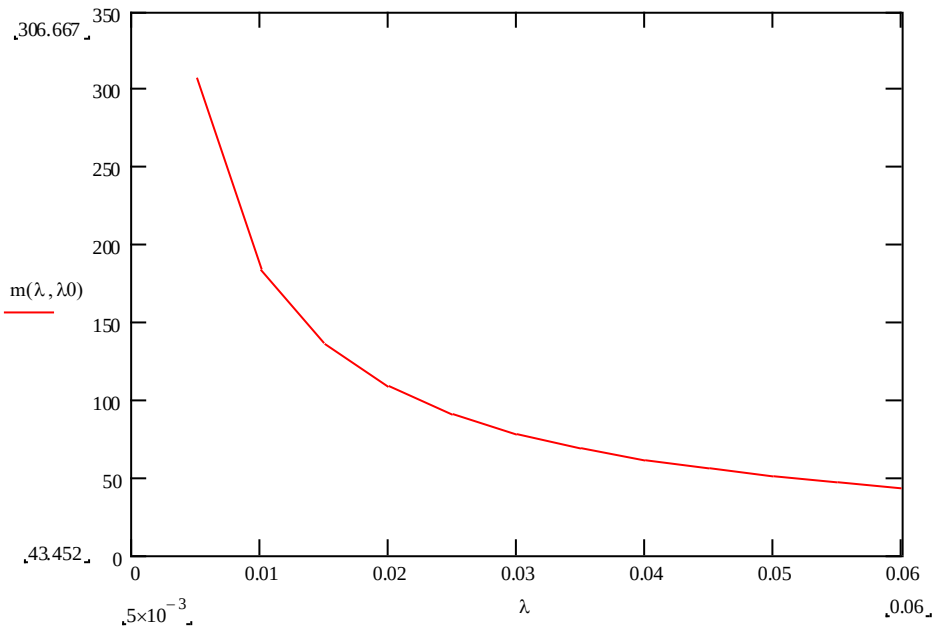


Среднее время безотказной работы системы.

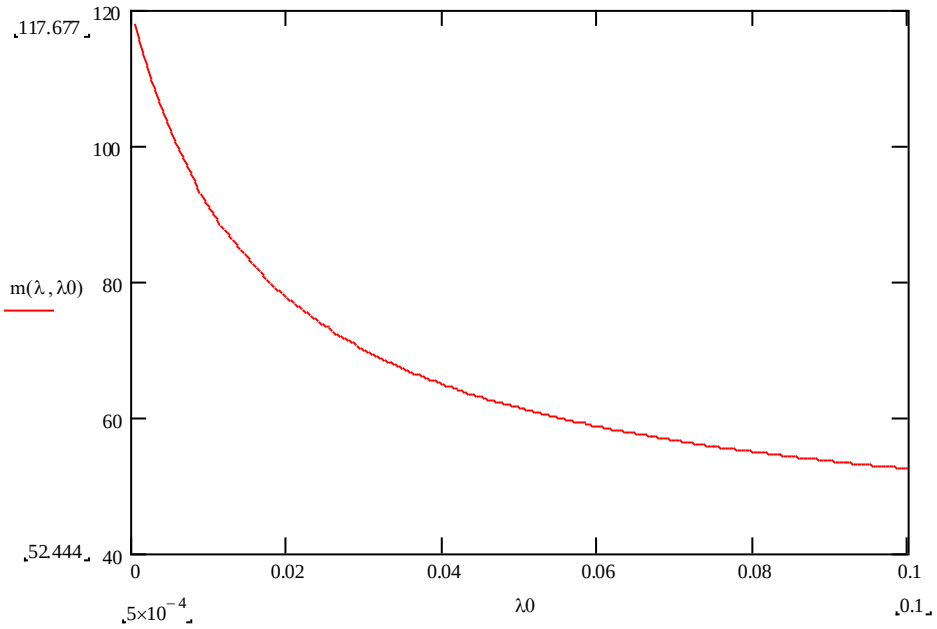
$$m(\lambda, \lambda 0) := \int_{0}^{100000} P(t, \lambda, \lambda 0)\, dt$$

Для значения λ=2.5 * 10-2 и λ0=0.01 имеет значение 90.794 часов:

Зависимость среднего времени безотказной работы от интенсивности отказов основных элементов (λ) имеет следующий вид:



Зависимость среднего времени безотказной работы от интенсивности отказов частично нагруженных элементов (λ0) имеет следующий вид:



Выводы.

Из полученных графиков следует, что с увеличением времени работы системы уменьшается вероятность ее безотказной работы. С увеличением интенсивности отказов основных и частично нагруженных элементов также уменьшается вероятность безотказной работы системы.

С увеличением интенсивности отказов основных и частично нагруженных элементов уменьшается также среднее время безотказной работы.

Для значений t=96 ч., λ = 2.5 * 10-2 и λ0=0.01 были получены следующие значения критериев надежности системы:

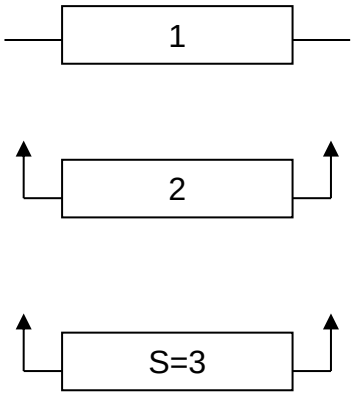
P(λ,λ0)=0.382

mt=90.794.

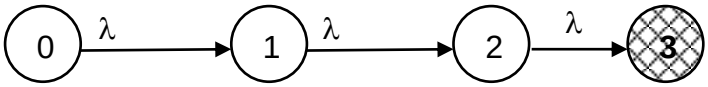
Среднее время безотказной работы получилось меньше заданного, что соответствует вероятности безотказной работы = 0.382 к заданному времени.

1.2.С ненагруженным резервом.

Расчетно-логическая схема системы:



За состояния системы примем количество неисправных элементов системы, тогда граф состояний системы примет следующий вид:



Состояния 0~2 – рабочие;

Состояние 3 – отказовое.

Для определения вероятности безотказной работы составим систему дифференциальных уравнений, соответствующих состояниям системы:

=

=

=

=

Дополнительное условие:

=

=

В начальный момент времени все элементы системы находятся в работоспособном состоянии:

P0(0)=1

$P1(0)=0$

$P2(0)=0$

$P3(0)=0$

Для решения системы дифференциальных уравнений воспользуемся прямым и обратным преобразованиями Лапласа.

Результат применения прямого преобразования:

$$P0(t,\lambda) := \frac{1}{s+\lambda}$$

$$P1(t,\lambda) := \frac{\lambda}{(s+\lambda)^2}$$

$$P2(t,\lambda) := \frac{\lambda^2}{(s+\lambda)^3}$$

$$P3(t,\lambda) := \frac{\lambda^3}{(s+\lambda)^3 \cdot s}$$

Результат применения обратного преобразования:

$$P0(t,\lambda) := \exp(-\lambda \cdot t)$$

$$P1(t,\lambda) := \lambda \cdot t \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$$

$$P2(t,\lambda) := \frac{1}{2} \cdot \lambda^2 \cdot t^2 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$$

$$P3(t,\lambda) := \lambda^3 \cdot \left[\frac{-1}{\lambda^3} \cdot \exp(-\lambda \cdot t) - \frac{1}{\lambda^2} \cdot t \cdot \exp(-\lambda \cdot t) - \frac{1}{(2 \cdot \lambda)} \cdot t^2 \cdot \exp(-\lambda \cdot t) + \frac{1}{\lambda^3}\right]$$

Вероятность безотказной работы системы.

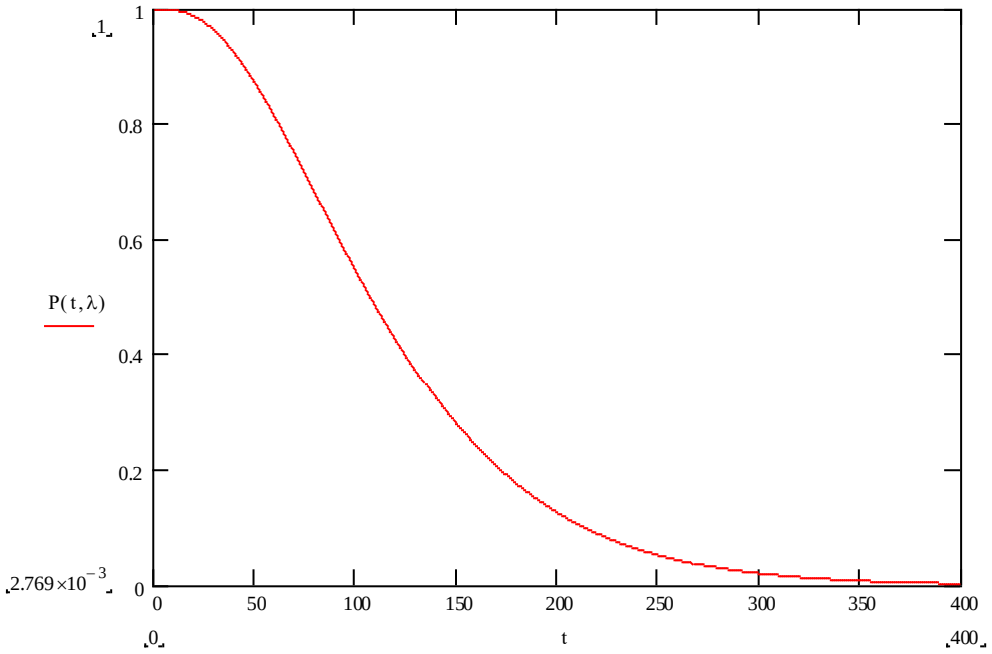
Функция вероятности нахождения системы в рабочем состоянии можно записать следующим образом:

$$P(t,\lambda) := P0(t,\lambda) + P1(t,\lambda) + P2(t,\lambda)$$

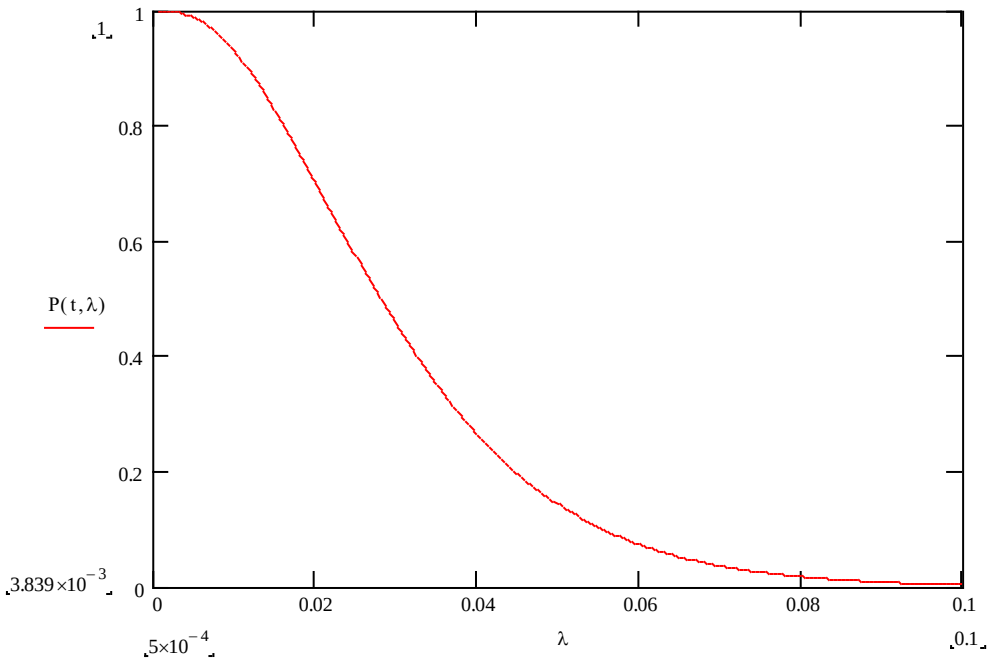
Для значений t=96 ч. λ=2.5*10-2 она принимает следующую величину:

$P(t,\lambda) = 0.57$

Зависимость вероятности безотказной работы от времени работы системы имеет следующий вид:



Зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности отказов основных элементов (λ) имеет следующий вид:

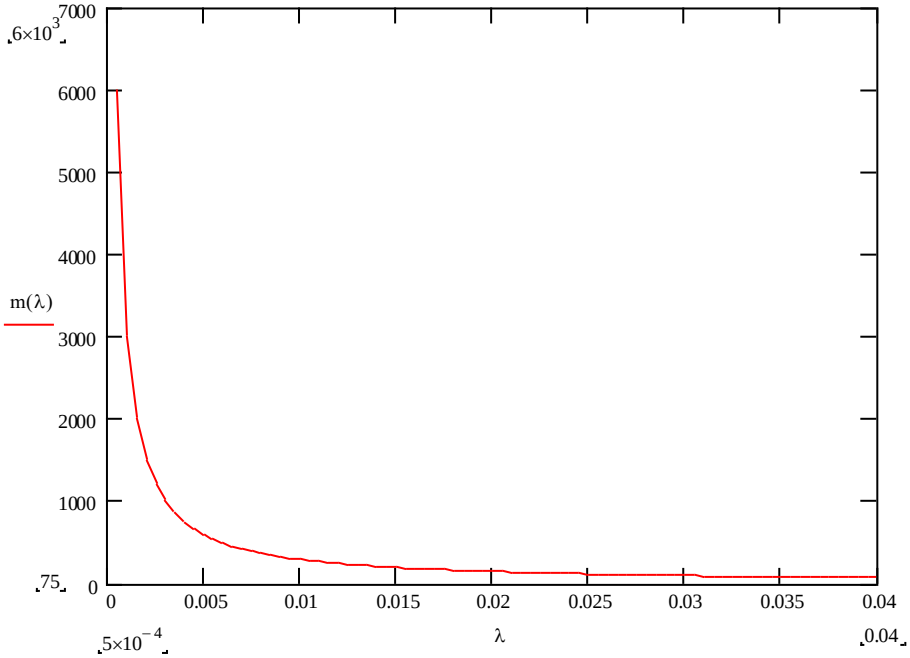


Среднее время безотказной работы системы.

$$m(\lambda) := \int_{0}^{100000} P(t,\lambda)\,dt$$

Для значения λ=2.5 * 10-2 имеет значение 120 часов:

Зависимость среднего времени безотказной работы от интенсивности отказов имеет следующий вид:



Выводы.

Из полученных графиков следует, что с увеличением времени работы системы уменьшается вероятность ее безотказной работы. С увеличением интенсивности отказов элементов также уменьшается вероятность безотказной работы системы.

С увеличением интенсивности отказов уменьшается также среднее время безотказной работы.

Для значений t=96 ч. и λ = 2.5 * 10-2 были получены следующие значения критериев надежности системы:

P(λ)=0.57

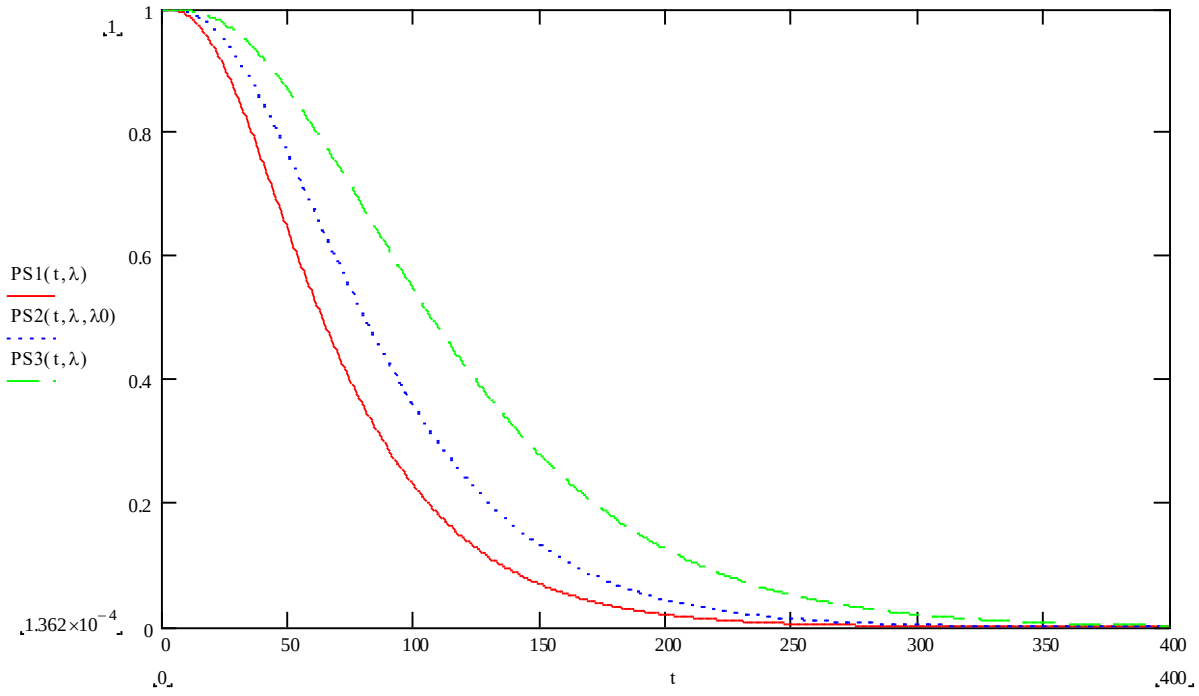
mt=120 часов.

Среднее время безотказной работы получилось больше заданного, что соответствует вероятности безотказной работы = 0.57 к заданному времени.

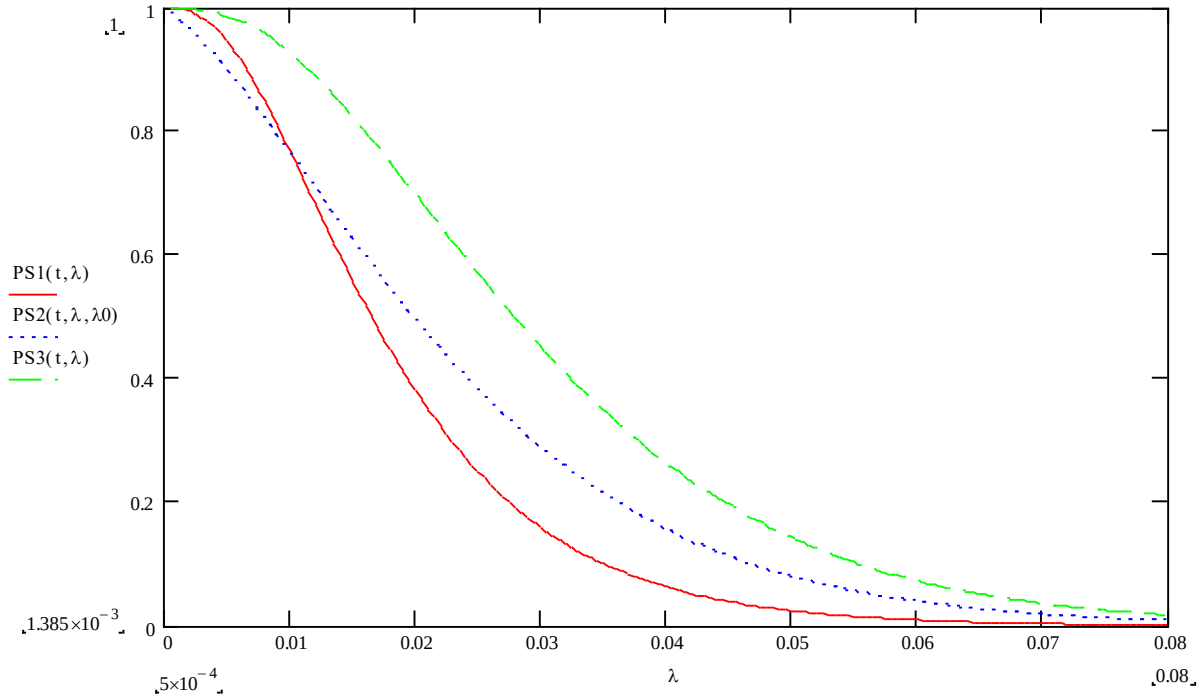
1.3.Сравнение характеристик систем, рассмотренных в пунктах 2.1, 2.2, 2.3.

Сопоставление систем удобно провести с помощью сравнительных графиков:

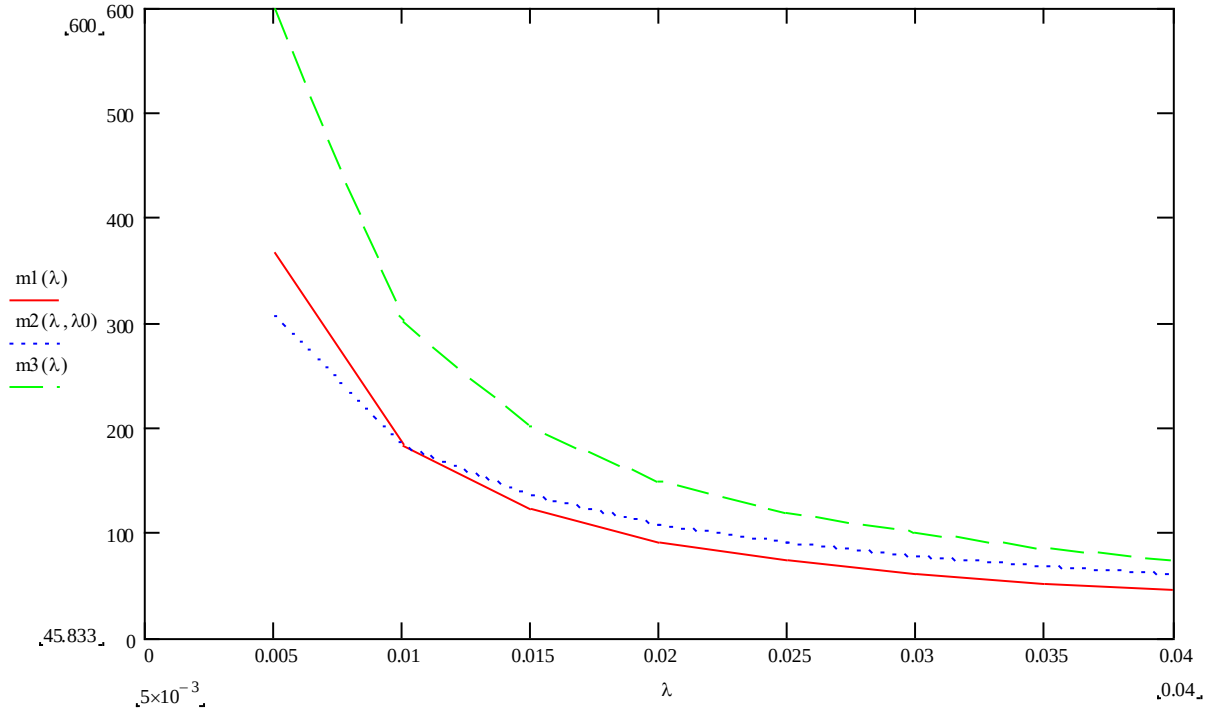
Зависимость вероятности безотказной работы от времени работы системы:



Зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности отказов основных элементов (λ) имеет следующий вид:



Зависимость среднего времени безотказной работы от интенсивности отказов основных элементов имеет следующий вид:



Как видно из графиков лучшими показателями надежности из всех рассмотренных выше систем обладает система к холодным резервом. Система с горячим резервом обладает наихудшими показателями при значениях t=96

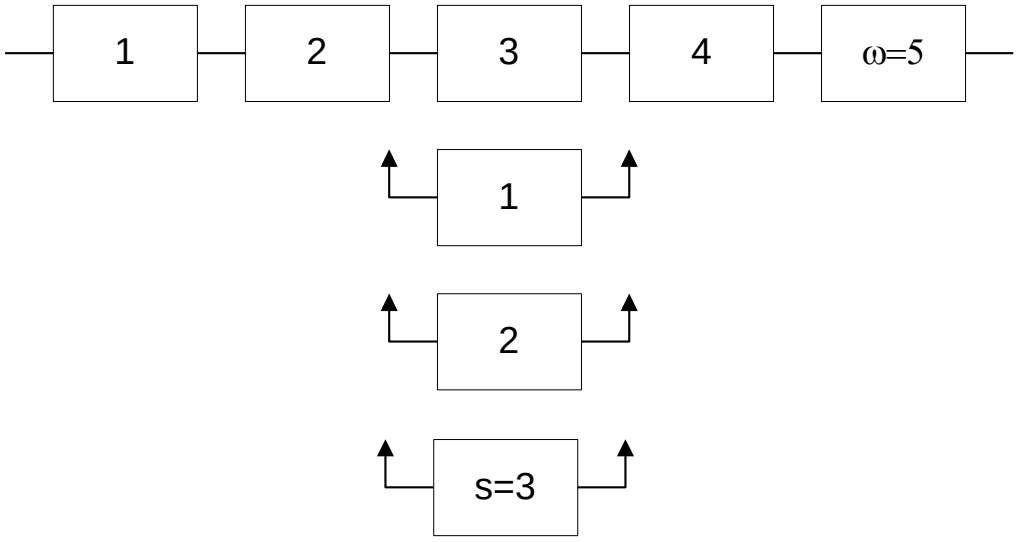
ч., λ = 2.5 * 10-2 и λ0=0.01, что также подтверждается точными значениями показателей надежности помещенными в следующую таблицу.

	Система с горячим резервом	Система с теплым резервом	Система с холодным резервом
Вероятность безотказной работы	0.218	0.382	0.57
Среднее время безотказной работы системы (ч)	73.33333	90.794	120

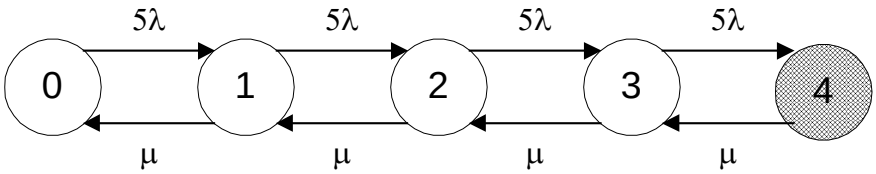
2. Восстанавливаемая резервированная система с дробной кратностью.

2.1.С ненагруженным резервом.

Расчетно-логическая схема системы:



За состояния системы примем количество неисправных элементов системы, будем считать, что в системе одно восстанавливающее устройство, тогда граф состояний системы примет следующий вид



Состояния 0~3 – рабочие;

Состояние 4 – отказовое.

Для определения вероятности безотказной работы составим систему дифференциальных уравнений, соответствующих состояниям системы, исключив переход из отказового состояния в предотказовое:

$$\frac{d}{dt}P0(t,\lambda,\mu) := -5\cdot\lambda\cdot P0(t,\lambda,\mu) + \mu\cdot P1(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P1(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P0(t,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P1(t,\lambda,\mu) - \mu\cdot P1(t,\lambda,\mu) + \mu\cdot P2(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P2(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P1(t,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P2(t,\lambda,\mu) - \mu\cdot P2(t,\lambda,\mu) + \mu\cdot P3(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P3(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P2(t,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P3(t,\lambda,\mu) - \mu\cdot P3(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P4(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P3(t,\lambda,\mu)$$

Дополнительное условие:

$$P0(t,\lambda,\mu) + P1(t,\lambda,\mu) + P2(t,\lambda,\mu) + P3(t,\lambda,\mu) + P4(t,\lambda,\mu) := 1_*$$

В начальный момент времени все элементы системы находятся в работоспособном состоянии:

$$P0(0,\lambda,\mu) := 1$$
$$P1(0,\lambda,\mu) := 0$$
$$P2(0,\lambda,\mu) := 0$$
$$P3(0,\lambda,\mu) := 0$$
$$P4(0,\lambda,\mu) := 0$$

При расчете методом дифференциальных уравнений, после применения прямого преобразования Лапласа при начальных условиях система принимает вид:

$$P0(s,\lambda,\mu)\cdot s := 5\cdot\lambda\cdot P0(s,\lambda,\mu) + \mu\cdot P1(s,\lambda,\mu) + 1$$

$$P1(s,\lambda,\mu)\cdot s := 5\cdot\lambda\cdot P0(s,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P1(s,\lambda,\mu) - \mu\cdot P1(s,\lambda,\mu) + \mu\cdot P2(s,\lambda,\mu)$$

$$P2(t,\lambda,\mu)\cdot s := 5\cdot\lambda\cdot P1(s,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P2(s,\lambda,\mu) - \mu\cdot P2(s,\lambda,\mu) + \mu\cdot P3(s,\lambda,\mu)$$

$$P3(t,\lambda,\mu)\cdot s := 5\cdot\lambda\cdot P2(s,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P3(s,\lambda,\mu) - \mu\cdot P3(s,\lambda,\mu)$$

$$P4(s,\lambda,\mu)\cdot s := 5\cdot\lambda\cdot P3(s,\lambda,\mu)$$

Или, что то же самое:

$$\begin{pmatrix} P0(s,\lambda,\mu)\\ P1(s,\lambda,\mu)\\ P2(s,\lambda,\mu)\\ P3(s,\lambda,\mu)\\ P4(s,\lambda,\mu)\end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 5\cdot\lambda+s & -\mu & 0 & 0 & 0\\ -5\cdot\lambda & 5\cdot\lambda+\mu+s & -\mu & 0 & 0\\ 0 & -5\cdot\lambda & 5\cdot\lambda+\mu+s & -\mu & 0\\ 0 & 0 & -5\cdot\lambda & 5\cdot\lambda+\mu+s & 0\\ 0 & 0 & 0 & -5\cdot\lambda & s\end{pmatrix}^{-1}\cdot\begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix}$$

Отсюда:

$$P0(s,\lambda,\mu) := M_{0,0}\rightarrow \frac{\left(125\cdot\lambda^3+25\cdot\lambda^2\cdot\mu+75\cdot\lambda^2\cdot s+5\cdot\lambda\cdot\mu^2+20\cdot\mu\cdot\lambda\cdot s+15\cdot\lambda\cdot s^2+s^3+\mu^3+3\cdot s\cdot\mu^2+3\cdot s^2\cdot\mu\right)}{\left(625\cdot\lambda^4+500\cdot\lambda^3\cdot s+75\cdot\lambda^2\cdot s\cdot\mu+150\cdot\lambda^2\cdot s^2+10\cdot s\cdot\mu^2\cdot\lambda+30\cdot s^2\cdot\mu\cdot\lambda+20\cdot s^3\cdot\lambda+3\cdot s^2\cdot\mu^2+3\cdot s^3\cdot\mu+s^4+s\cdot\mu^3\right)}$$

$$P1(s,\lambda,\mu) := M_{1,0}\rightarrow 5\cdot\lambda\cdot\frac{\left(25\cdot\lambda^2+10\cdot\lambda\cdot s+5\cdot\lambda\cdot\mu+2\cdot s\cdot\mu+s^2+\mu^2\right)}{\left(625\cdot\lambda^4+500\cdot\lambda^3\cdot s+75\cdot\lambda^2\cdot s\cdot\mu+150\cdot\lambda^2\cdot s^2+10\cdot s\cdot\mu^2\cdot\lambda+30\cdot s^2\cdot\mu\cdot\lambda+20\cdot s^3\cdot\lambda+3\cdot s^2\cdot\mu^2+3\cdot s^3\cdot\mu+s^4+s\cdot\mu^3\right)}$$

$$P2(s,\lambda,\mu) := M_{2,0}\rightarrow 25\cdot\lambda^2\cdot\frac{(5\cdot\lambda+\mu+s)}{\left(625\cdot\lambda^4+500\cdot\lambda^3\cdot s+75\cdot\lambda^2\cdot s\cdot\mu+150\cdot\lambda^2\cdot s^2+10\cdot s\cdot\mu^2\cdot\lambda+30\cdot s^2\cdot\mu\cdot\lambda+20\cdot s^3\cdot\lambda+3\cdot s^2\cdot\mu^2+3\cdot s^3\cdot\mu+s^4+s\cdot\mu^3\right)}$$

$$P3(s,\lambda,\mu) := M_{3,0}\rightarrow 125\cdot\frac{\lambda^3}{\left(625\cdot\lambda^4+500\cdot\lambda^3\cdot s+75\cdot\lambda^2\cdot s\cdot\mu+150\cdot\lambda^2\cdot s^2+10\cdot s\cdot\mu^2\cdot\lambda+30\cdot s^2\cdot\mu\cdot\lambda+20\cdot s^3\cdot\lambda+3\cdot s^2\cdot\mu^2+3\cdot s^3\cdot\mu+s^4+s\cdot\mu^3\right)}$$

$$P4(s,\lambda,\mu) := M_{4,0}\rightarrow 625\cdot\frac{\lambda^4}{\left[s\cdot\left(625\cdot\lambda^4+500\cdot\lambda^3\cdot s+75\cdot\lambda^2\cdot s\cdot\mu+150\cdot\lambda^2\cdot s^2+10\cdot s\cdot\mu^2\cdot\lambda+30\cdot s^2\cdot\mu\cdot\lambda+20\cdot s^3\cdot\lambda+3\cdot s^2\cdot\mu^2+3\cdot s^3\cdot\mu+s^4+s\cdot\mu^3\right)\right]}$$

После применения обратного преобразования Лапласа и подстановки значений: λ=0.025 μ=1 можно получить выражения для P0(t), P1(t), P2(t), P3(t) и P(4)

$$P0(t) := 1.624631459261023153\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-1.647766093319548048259\cdot 84\cdot t) + 5.080783064174074263\cdot 9\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-1.183247383697936947962\cdot 92\cdot t) + 5.673987721335044605\cdot 5\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-.668799293976691506038610\cdot t) + .876205977552985797\cdot 7\cdot\exp\left[-\left(1.872290058234977386329\cdot 24\cdot 10^{-4}\right)\cdot t\right]$$

$$P1(t) := -\left(2.473933700302944706\cdot 5\cdot 10^{-2}\right)\cdot\exp(-1.647766093319548048259\cdot 84\cdot t) - 5.376725384799001371\cdot 3\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-1.183247383697936947962\cdot 92\cdot t) - 3.085510516894413885\cdot 4\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-.668799293976691506038610\cdot t) + .109361696019963599\cdot 63\cdot\exp\left[-\left(1.872290058234977386329\cdot 24\cdot 10^{-4}\right)\cdot t\right]$$

$$P2(t) := 1.090209723231316111\cdot 9\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-1.647766093319548048259\cdot 84\cdot t) - 3.219176964949341669\cdot 9\cdot 10^{-3}\cdot\exp(-1.183247383697936947962\cdot 92\cdot t) - 2.116860541416455720\cdot 9\cdot 10^{-2}\cdot\exp(-.668799293976691506038610\cdot t) + 1.348568514680073776\cdot 0\cdot 10^{-2}\cdot\exp\left[-\left(1.872290058234977386329\cdot 24\cdot 10^{-4}\right)\cdot t\right]$$

$$P3(t) := -\left(2.606829653747527600\cdot 0\cdot 10^{-3}\right)\cdot\exp(-1.647766093319548048259\cdot 84\cdot t) + 6.908415366867716139\cdot 8\cdot 10^{-3}\cdot\exp(-1.183247383697936947962\cdot 92\cdot t) - 5.800244589352684353\cdot 7\cdot 10^{-3}\cdot\exp(-.668799293976691506038610\cdot t) + 1.498658876232495813\cdot 8\cdot 10^{-3}\cdot\exp\left[-\left(1.872290058234977386329\cdot 24\cdot 10^{-4}\right)\cdot t\right]$$

$$P4(t) := 1. + 1.977548318535820116\cdot 7\cdot 10^{-4}\cdot\exp(-1.647766093319548048259\cdot 84\cdot t) - 7.298151956691033959\cdot 7\cdot 10^{-4}\cdot\exp(-1.183247383697936947962\cdot 92\cdot t) + 1.084077959110933961\cdot 7\cdot 10^{-3}\cdot\exp(-.668799293976691506038610\cdot t) - 1.000552017595295413\cdot 0\cdot\exp\left[-\left(1.872290058234977386329\cdot 24\cdot 10^{-4}\right)\cdot t\right]$$

Вероятность безотказной работы.

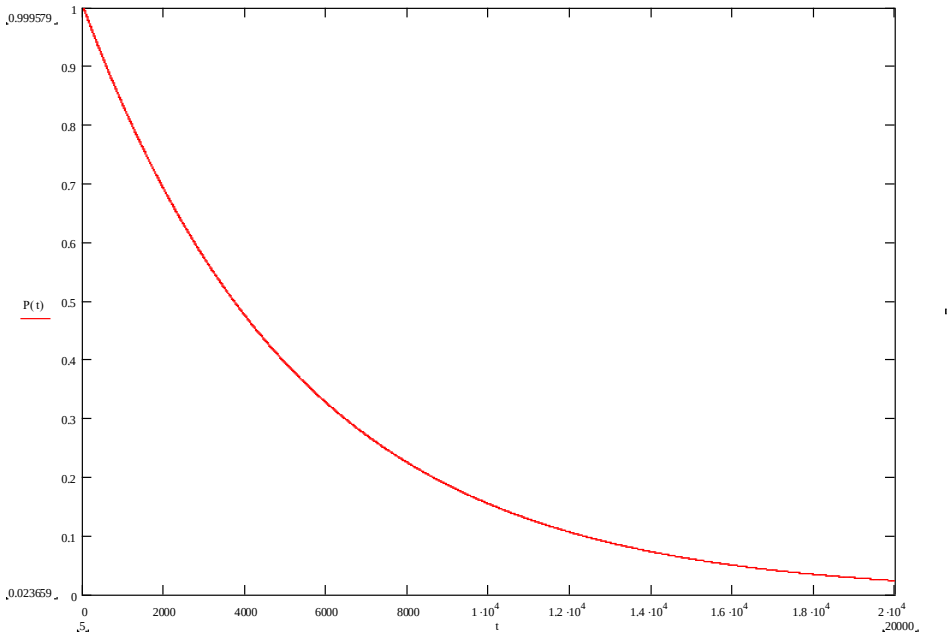
Функцию вероятности безотказной работы системы, в силу наличия одного состояния отказа и нормировочного условия, можно записать следующим образом

$$P(t) := P0(t) + P1(t) + P2(t) + P3(t)$$

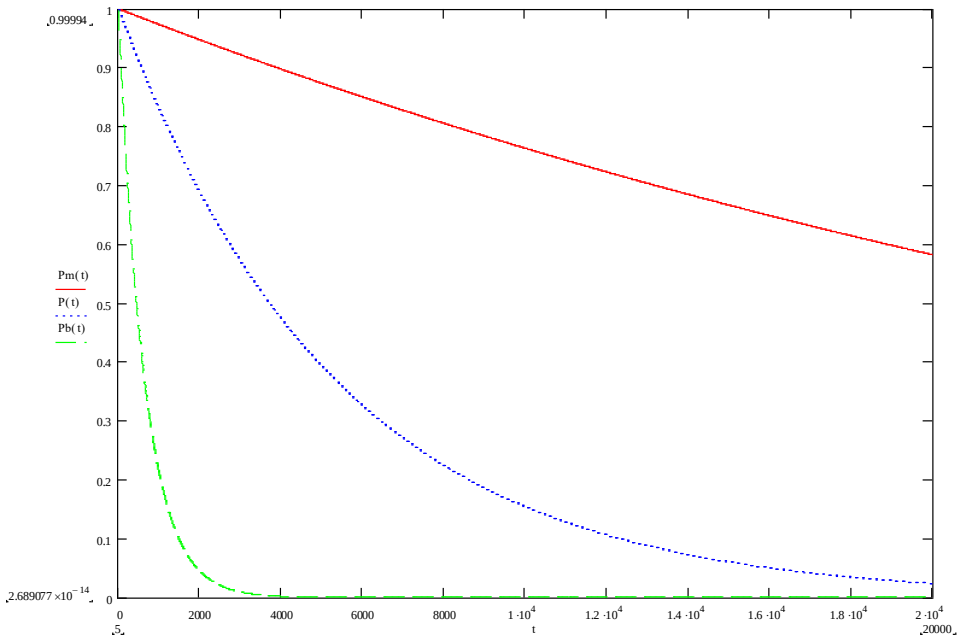
Для значений t=96 λ=0.025 μ=1, получается следующее значение

P(t)= 0.982729

Зависимость вероятности безотказной работы от времени:



Зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности отказов:

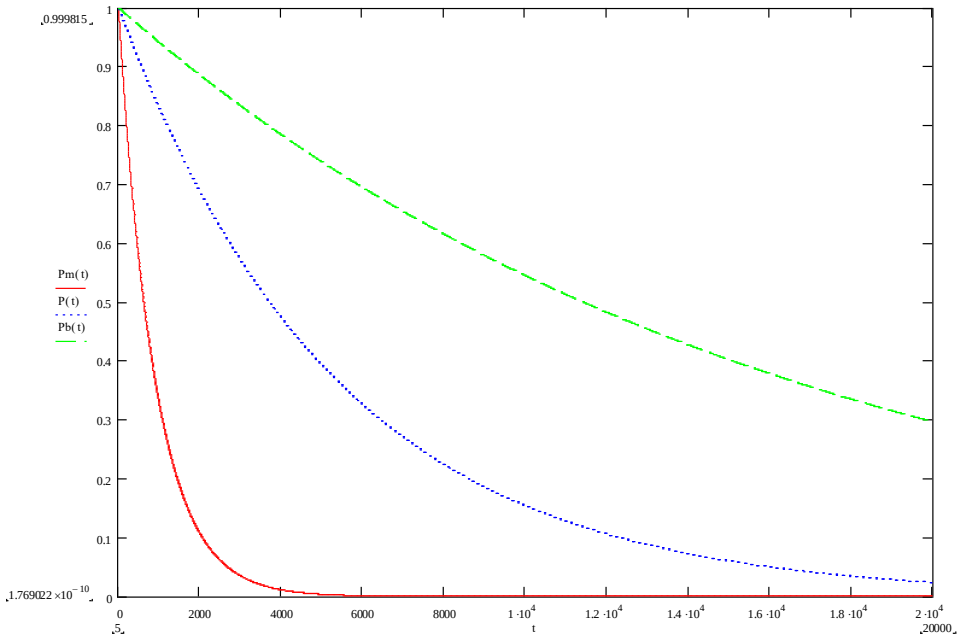


Pm - вероятность безотказной работы при λ = 0.015 1/ч

P - вероятность безотказной работы при λ = 0.025 1/ч

Pb - вероятность безотказной работы при λ = 0.045 1/ч

Зависимость вероятности безотказной работы от интенсивности восстановления:



Pm - вероятность безотказной работы при μ= 0.5 1/ч

P - вероятность безотказной работы при μ = 1 1/ч

Pb - вероятность безотказной работы при μ = 1.5 1/ч

Среднее время безотказной работы.

Среднее время безотказной работы:

$$m := \int_0^{\infty} P(t)\,dt \quad * \Big|$$

Для значений λ = 0.025 1/ч и μ = 1 1/ч:

m= 5344.00001 часов

С увеличением интенсивности отказов среднее время безотказной работы уменьшается (μ =1 1/ч):

λ	m
0.015	36932.34564
0.025	5344.00001
0.045	642.800614

С увеличением интенсивности восстановления среднее время безотказной работы увеличивается (λ = 0.025 1/ч):

μ	mt
0.5	896
1	5344.00001
1.5	16447

Коэффициент готовности.

Нахождение коэффициента готовности системы можно осуществить двумя способами - путем составления дифференциальных уравнений на основании графа состояния системы и методом Половко.

Нахождение Кг методом дифференциальных уравнений

Для графа состояний рассматриваемой системы (см. п. 3.1.2.) система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\frac{d}{dt}P0(t,\lambda,\mu) := -5\cdot\lambda\cdot P0(t,\lambda,\mu) + \mu\cdot P1(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P1(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P0(t,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P1(t,\lambda,\mu) - \mu\cdot P1(t,\lambda,\mu) + \mu\cdot P2(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P2(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P1(t,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P2(t,\lambda,\mu) - \mu\cdot P2(t,\lambda,\mu) + \mu\cdot P3(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P3(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P2(t,\lambda,\mu) - 5\cdot\lambda\cdot P3(t,\lambda,\mu) - \mu\cdot P3(t,\lambda,\mu)$$

$$\frac{d}{dt}P4(t,\lambda,\mu) := 5\cdot\lambda\cdot P3(t,\lambda,\mu)$$

Дополнительное условие:

$$P0(t,\lambda,\mu) + P1(t,\lambda,\mu) + P2(t,\lambda,\mu) + P3(t,\lambda,\mu) + P4(t,\lambda,\mu) := 1*$$

В начальный момент времени все элементы системы находятся в работоспособном состоянии:

$$P0(0,\lambda,\mu) := 1$$
$$P1(0,\lambda,\mu) := 0$$
$$P2(0,\lambda,\mu) := 0$$
$$P3(0,\lambda,\mu) := 0$$
$$P4(0,\lambda,\mu) := 0$$

Если предположить, что потоки стационарны, то есть $\frac{dP_i(t)}{dt} = 0$, λ, μ =const, то можно получить следующую систему:

$$-5 \cdot \lambda \cdot P0(\lambda,\mu) + \mu \cdot P1(\lambda,\mu) := 0$$

$$5 \cdot \lambda \cdot P0(\lambda,\mu) - 5 \cdot \lambda \cdot P1(\lambda,\mu) - \mu \cdot P1(\lambda,\mu) + \mu \cdot P2(\lambda,\mu) := 0$$

$$5 \cdot \lambda \cdot P1(\lambda,\mu) - 5 \cdot \lambda \cdot P2(\lambda,\mu) - \mu \cdot P2(\lambda,\mu) + \mu \cdot P3(\lambda,\mu) := 0$$

$$5 \cdot \lambda \cdot P2(t,\lambda,\mu) - 5 \cdot \lambda \cdot P3(t,\lambda,\mu) - \mu \cdot P3(t,\lambda,\mu) := 0$$

$$5 \cdot \lambda \cdot P3(\lambda,\mu) - \mu \cdot P4(\lambda,\mu) := 0$$

$$P0(\lambda,\mu) + P1(\lambda,\mu) + P2(\lambda,\mu) + P3(\lambda,\mu) + P4(\lambda,\mu) := 1$$

Выводы.

Из полученных в п. 3.1.3. графиков следует, что с увеличением времени работы системы уменьшается вероятность ее безотказной работы.

С увеличением интенсивности отказов уменьшается вероятность безотказной работы системы.

С увеличением интенсивности восстановления увеличивается вероятность безотказной работы системы.

Для значений t = 7200 ч, λ = 0.0001 1/ч и μ = 0.0001 1/ч Рсист = 0.427895

С увеличением интенсивности отказов уменьшается среднее время безотказной работы.

При увеличении интенсивности восстановления среднее время безотказной работы увеличивается по линейному закону.

Для значений λ = 0.0001 1/ч и μ = 0.0001 1/ч среднее время безотказной работы mt = 7666.67 ч.

При увеличении интенсивности отказов коэффициент готовности системы уменьшается.

При увеличении интенсивности восстановления коэффициент готовности системы увеличивается.

Для значений λ = 0.0001 1/ч и μ = 0.0001 1/ч Кг = 0.52381.

При увеличении интенсивности отказов наработка на отказ уменьшается.

При увеличении интенсивности восстановления наработка на отказ увеличивается по линейному закону.

При значениях интенсивности восстановления μ = 0.0001 1/ч и интенсивности отказов λ = 0.0001 1/ч наработка на отказ составляет 11000 ч., что больше заданного значения t = 7200 ч.

При увеличении интенсивности восстановления среднее время восстановления уменьшается: чем больше интенсивность восстановления, тем быстрее восстанавливается система. Графиком зависимости среднего времени восстановления от интенсивности восстановления является гипербола. Для значений m_{tB} = 3333.33 ч.

С увеличением времени работы системы уменьшается вероятность ее успешного использования.

С увеличением интенсивности отказов уменьшается вероятность успешного использования системы.

С увеличением интенсивности восстановления увеличивается вероятность успешного использования системы.

Для значений t = 7200 ч, λ = 0.0001 1/ч и μ = 0.0001 1/ч R(t) = 0.224136.

2.2.Сравнение характеристик систем, рассмотренных в пунктах 3.1, 3.2, 3.3.

Результаты расчетов сведены в таблицу:

Параметр	Восстанавливаемая резервируемая система с целой кратностью		
	с нагруженным резервом	с частично нагруженным резервом	с ненагруженным резервом
Вероятность безотказной работы	0.99739	0,99936	0,999513
Среднее время безотказной работы	413293,021	767707,104	97942
Коэффициент готовности	0,999249	0,999805	0.999249
Наработка на отказ	1330557	5120909	6621516
Вероятность успешного использования	0,996641	0,99739	0.999362

Лучшими показателями надежности из рассмотренных восстанавливаемых резервируемых систем с целой кратностью обладает восстанавливаемая резервируемая система с целой кратностью с ненагруженным резервом. Наихудшими характеристиками надежности обладает система, весь резерв которой является горячим. Однако для системы, все резервные элементы которой находятся в горячем резерве, меньшее время

занимает переключение с отказавшего элемента на резервный, что при данных расчетах не учитывалось.

Список литературы

1. Надежность технических систем/ Под ред. И.А.Ушакова.–М.: Радио и связь, 1985.
2. Дружинин Г.В. “Надёжность автоматизированных систем.” Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1977г.
3. Надежность автоматизированных производственных систем. под ред. Я.А. Хетагурова. М. Высшая школа, 1979г.
4. Кузовлев В. И. «ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СИСТЕМ» по разделу «Модели и методы оценки надежности автоматизированных систем» курса «Модели оценки качества АСОиУ»
5. Глазунов Л. П. Основы теории надежности автоматизированных систем управления. 1984г.
6. Панфилов И. В., Половко А. М. Вычислительные системы. 1980г.

List of references

1. Reliability of technical systems / Ed. IA Ushakova. –M .: Radio and communication, 1985.
2. Druzhinin G.V. "Reliability of automated systems." Ed. 3rd, rev. and add. M., "Energy", 1977.
3. Reliability of automated production systems. ed. Ya.A. Khetagurov. M. Higher School, 1979
4. Kuzovlev V. I. "RESEARCH METHODS OF BACKUP SYSTEMS" in the section "Models and methods for assessing the reliability of automated systems" of the course "Models for assessing the quality of automated control systems"
5. Glazunov LP Fundamentals of the theory of reliability of automated control systems. 1984
6. Panfilov IV, Polovko AM Computing systems. 1980