Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 28.01.2021 15:58:14
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)
Кафедра машиностроительных технологий и оборудования

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
«_____» _____ 2017г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПО ЕЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМЕ ARENA

Методические указания к проведению лабораторных занятий для студентов направлений: 27.03.01 «Стандартизация и метрология» профиль «Метрология и метрологическое обеспечение»

Курск 2017

УДК 519.6
Составитель Куц В.В., Разумов М.С.

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент А.О. Гладышкин

Определение надежности системы по ее имитационной модели в системе ARENA: методические указания к проведению лабораторных занятий / Юго-Зап. Гос. ун-т; сост.: В.В. Куц, М.С. Разумов; Курск, 2017. – 16 с.: ил. 5.

Содержат сведения по вопросам решение задач определение надежности системы по ее имитационной модели в системе ARENA. Указывается порядок выполнения практических работ, подходы к решению и правила оформления.

Методические рекомендации соответствуют требования программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальности автоматизированного машиностроительного производства (УМО АМ).

Предназначено для студентов направлений 27.03.01 «Стандартизация и метрология» профиль «Метрология и метрологическое обеспечение» дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 17.11.17. Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. 0,9 . Уч.-изд.л. 0,8. Тираж 40 экз. Заказ 2040 Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ВВЕДЕНИЕ

Надежность – один из важнейших показателей качества технических систем. Для нее характерна сложность определения расчетным путем истинных значений показателей надежности. В лабораторной работе рассматриваются вопросы составления имитационной модели для расчета надежности сложных структурных схем.

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Настоящая работа ставить своей целью:

1) изучить понятие надежности и методы определения ее показателей;

2) научиться разрабатывать имитационную модель для расчета надежности в среде Arena.

Продолжительность работы – 4 часа.

II. ПРИБОРЫ, ОБОРУДОВАНИЕ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Для выполнения работы необходимы:

- персональный компьютер типа IBM PC с операционной системой Windows;
- система имитационного моделирования Arena (академическая версия).

III. НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ

Сложность и часто неопределенность процессов, происходящих в объекте и его элементах, зависимость явлений от большого числа причин делают задачу точного определения момента отказа объекта практически неразрешимой. Поэтому безотказность характеризуется вероятностью того или иного состояния.

Отказ – такое событие, которое делает объект непригодным к выполнению основных своих функций.

Надежность – свойство системы и ее элементов выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого времени.

Характеристика надежности - количественное значение критерия надежности конкретного изделия. Критерий надежности – признак, по которому оценивается надежность различных изделий.

Основные критерии надежности можно разбить на две группы:

- критерии, характеризующие надежность невосстанавливаемых изделий;
- критерии, характеризующие надежность восстанавливаемых изделий.

Невосстанавливаемые изделия - изделия, которые в процессе выполнения своих функций не допускают ремонта.

Восстанавливаемые изделия - изделия, которые в процессе выполнения своих функций допускают ремонт. Если произойдет отказ такого изделия, то он вызовет прекращение функционирования изделия только на период устранения отказа. К таким изделиям относятся: агрегат питания, блок устройства ЧПУ, станок, узлы промышленных роботов, элементы систем активного контроля, автоматизированные сборочные агрегаты и др.

В том случае, когда в процессе испытаний изделия не ремонтируются, показатели надежности следует рассчитывать по схеме для невосстанавливаемых изделий. В этом случае критериями надежности изделия являются:

- вероятность безотказной работы в течение определенного интервала времени $P(t)$;
- вероятность отказа $Q(t)$;
- средняя наработка до первого отказа $T_{ср}$;
- частота отказов $a(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda\ (t)$.

К числу критериев надежности, характеризующих восстанавливаемые изделия, относятся:

- параметр потока отказов $\omega\ (t)$;
- вероятность восстановления $S(t)$;
- среднее время восстановления θ.

Выбор количественных характеристик надежности зависит от вида изделия.

1. Вероятность безотказной работы - вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации и в заданном интервале

времени или в приделах заданной наработки не произойдет ни одного отказа. В общем случае величина вероятности безотказной работы зависит от наработки объекта и ее конкретное значение должно быть поставлено в соответствие с определенной наработкой или временем эксплуатации объекта. Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент времени (при нулевой наработке) объект работоспособен.

Вероятность безотказной работы по статистическим данным оценивается выражением

$$P(t) = \frac{N_0(t_0) - n(t)}{N(t_0)}\ , \qquad (1)$$

где $N(t_0)$ - число изделий, поставленных на испытания или эксплуатацию в момент времени t_0; $n(t)$ - число элементов, отказавших в течение времени t.

2. Вероятность отказа - вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ. Отказ и работоспособное состояние - противоположные несовместные события, образующие полную совокупность возможных состояний объекта, поэтому в любой момент времени или при любой наработке:

$$Q(t) = 1 - P(t) \qquad (3)$$

Статистическая оценка вероятности отказа за время или наработку t рассчитывается по нижеследующей формуле:

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N(t_0)} \qquad (4)$$

3. Частота отказов - отношение числа отказавших изделий в единицу времени к первоначальному числу испытываемых изделий при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются.

Для расчета частоты отказов по имеющимся статистическим данным используют выражение:

$$a(t) = \frac{n(t)}{N(t_0) \cdot \Delta t}, \qquad (5)$$

где Δt – время наблюдения или испытания, $\Delta t = t - t_0$.

4. Интенсивность отказов - отношение числа отказавших изделий к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени.

Статистическая оценка интенсивности отказов производится по следующей формуле:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_{cp}(t) \cdot \Delta t}, \qquad (6)$$

где $N_{cp}(t)$ - среднее число исправно работающих изделий в интервале времени t;

$$N_{cp}(t) = \frac{N_{k-1}(t) - N_k(t)}{2}, \qquad (7)$$

где $N_{k-1}(t)$ - число изделий исправных в начале интервала времени Δt; $N_k(t)$ - число изделий исправных в конце интервала времени Δt.

5. Средняя наработка до отказа (среднее время безотказной работы) представляет собой математическое ожидание наработки до первого отказа.

Для определения средней наработки до отказа используется следующая статистическая оценка:

$$T = \frac{\sum_{1}^{N_0} t_i}{N_0}, \qquad (8)$$

t_i – время безотказной работы i – го изделия.

6. Параметр потока отказов - отношение числа отказавших изделий в единицу времени к числу испытываемых при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными (новыми или отремонтированными).

Статистическим определением служит выражение

$$\bar{\omega}(t) = n(\Delta t) / N\Delta t, \qquad (9)$$

где $n(\Delta t)$ - число отказавших образцов в интервале времени от $t-\Delta t/2$ до $t+\Delta t/2$; N - число испытываемых элементов; Δt - интервал времени.

7. Вероятность восстановления – вероятность того, что отказавшее изделие будет восстановлено в течение заданного времени t.

Для определения вероятности восстановления используется следующая статистическая оценка:

$$S(t) = \frac{N_в}{N_{ов}}, \qquad (10)$$

где $N_в$ - число изделий, время восстановления которых было меньше заданного времени t; $N_{ов}$ - число изделий, поставленных на восстановление.

8. Среднее время восстановления – это время, затрачиваемое на обнаружение и устранение отказов. Данный показатель определяется как отношение общего времени, затраченного на обнаружение и устранение отказов на протяжении данного периода наблюдений, к количеству отказов, имевших место за это время:

$$\theta = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} t^{(k)}{}_{об}\ , \qquad (11)$$

где $T^{(k)}{}_{об}$ - время, необходимое для обнаружения и устранения k-го отказа.

С целью обеспечения нормального функционирования системы после возникновения отказов в ее элементах (с целью повышения надежности системы) в систему вводятся резервные элементы. Этот процесс называется **резервированием**.

Структурная надежность систем

Расчеты показателей безотказности ТС (технических систем) обычно проводятся в предположении, что как вся система, так и любой ее элемент могут находиться только в одном из двух возможных состояний - работоспособном и неработоспособном и отказы элементов независимы друг от друга. Состояние системы (работоспособное или неработоспособное) определяется состоянием элементов и их сочетанием.

Системой с *последовательным соединением элементов* называется система, в которой отказ любого элемента приводит к отказу всей системы (см. п. 2, рис 2.1). Такое соединение элементов в технике встречается наиболее часто, поэтому его называют *основным соединением*.

В системе с последовательным соединением для безотказной работы в течении некоторой наработки *t* необходимо и достаточно, чтобы каждый из ее n элементов работал безотказно в течении этой наработки. Считая отказы элементов независимыми, вероятность одновременной безотказной работы n элементов определяется по теореме умножения вероятностей: вероятность совместного появления независимых событий равна произведению вероятностей этих событий:

$$P(t) = p_1(t)\,p_2(t)\ldots p_n(t) = \prod_{i=1}^{n} p_i(t) = \prod_{i=1}^{n} (1 - q_i(t))$$

(далее аргумент t в скобках , показывающий зависимость показателей надежности от времени, опускаем для сокращения записей формул). Соответственно, вероятность отказа такой ТС

$$Q = 1 - P = 1 - \prod_{i=1}^{n} p_i = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - q_i).$$

Очевидно, что даже при высокой надежности элементов надежность системы при последовательном соединении оказывается тем более низкой, чем больше число элементов (например, при $p = 0.95$ и $n = 10$ имеем $P = 0.60$, при $n = 15$ $P = 0.46$, а при $n = 20$ $P = 0.36$). Кроме того, вероятность безотказной работы ТС при последовательном соединении не может быть выше вероятности безотказной работы самого ненадежного из ее элементов (принцип “хуже худшего”) и из малонадежных элементов нельзя создать высоконадежной ТС с последовательным соединением.

Системой с *параллельным соединением элементов* называется система, отказ которой происходит только в случае отказа всех ее элементов. Такие схемы надежности характерны для ТС, в которых элементы дублируются или резервируются, т.е. параллельное соединение используется как метод повышения надежности. Однако такие системы встречаются и самостоятельно (например, системы двигателей четырехмоторного самолета или параллельное включение диодов в мощных выпрямителях).

Для отказа системы с параллельным соединением элементов в течение наработки t необходимо и достаточно, чтобы все ее элементы отказали в течение этой наработки. Так что отказ системы заключается в совместном отказе всех элементов, вероятность чего (при допущении независимости отказов) может быть найдена по теореме умножения вероятностей как произведение вероятностей отказа элементов:

$$Q = q_1 q_2 \ldots q_n = \prod_{i=1}^{n} q_i = \prod_{i=1}^{n} (1 - p_i).$$

Соответственно, вероятность безотказной работы

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^{n} q_i = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - p_i).$$

т.е. надежность системы с параллельным соединением повышается при увеличении числа элементов (например, при

$p = 0.9$ и $n = 2$ $P = 0.99$, а при $n = 3$ $P = 0.999$).

Поскольку $q_i < 1$, вероятность отказа системы не может быть выше вероятности самого надежного ее элемента (“лучше лучшего”) и даже из сравнительно ненадежных элементов возможно построение вполне надежной системы.

Параллельно-последовательное соединение – объединяет как параллельное, так и последовательное соединение.

Пример: Определить надежность системы (рис. 1)

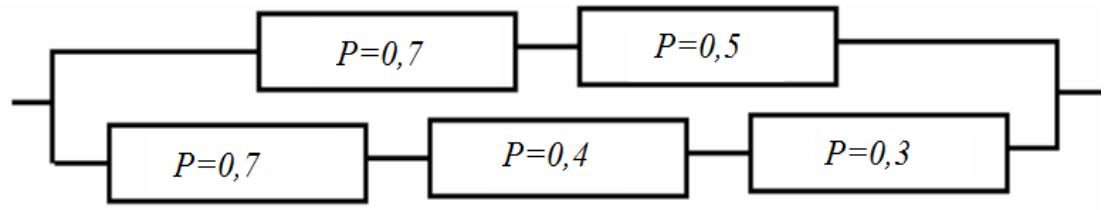


Рис. 1. Пример системы с параллельно-последовательным соединением

Надежность системы первой цепочки, как последовательно соединенных элементов:

$$P_1=0,7\cdot 0,5=0,35;$$

Надежность системы второй цепочки, как последовательно соединенных элементов:

$$P_2=0,7\cdot 0,4\cdot 0,3=0,084$$

Надежность всей системы, как системы из параллельно соединенных элементов P1 и P2

$$P=1-(1-0,35)\cdot(1-0,084)=0,4.$$

IV. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ В СИСТЕМЕ ARENA

В основе разрабатываемой имитационной модели должен лежать вероятностный подход определения безотказной работы (или отказа). Один из вариантов реализации модели – использование в качестве основного логического элемента модуля **Decide** (рис. 2).

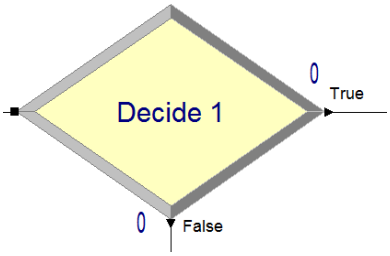


Рис. 2. Вид модуля

Этот модуль позволяет описать и задать логику модели, учитывая принятие решений. Он включает опции принятия решений, основанных на условии ***By Condition*** (например, если тип сущности Car) или основанных на вероятности ***By Chance*** (например, 75 % – *true* (истина), а 25 % – *false* (ложь)). Условия могут быть основаны на значении атрибута ***Attribute***, значении переменной ***Variable***, типе сущности ***Entity Type*** или основанные на выражении ***Expression***.

Если поставленное условие выполняется, то сущности будут покидать модуль через ветку *True*, иначе – по ветке *False*.

Данный модуль позволяет выполнять проверку не только одного условия, но и нескольких. Это достигается с помощью свойства ***Type → N-way by Chance/by Condition***. В зависимости от условия сущность идет по нужной ветке. Таким образом, по ветке *True* у модуля может быть любое количество выходов (по ветке *False* – всегда один выход).

Применение: разделение дел на срочные дела и несрочные; перенаправление недоделанных или сделанных неправильно работ на доработку.

Как было сказано выше модуль позволяет определить логику работы модели за счет определения различных условий, в том числе разделение входящих информационных потоков на безотказную работу и отказы для решения задачи имитации структурной надежности.

В качестве примера рассмотрим разработку имитационной модели структурной надежности системы, схема которой изображена на рис. 3.

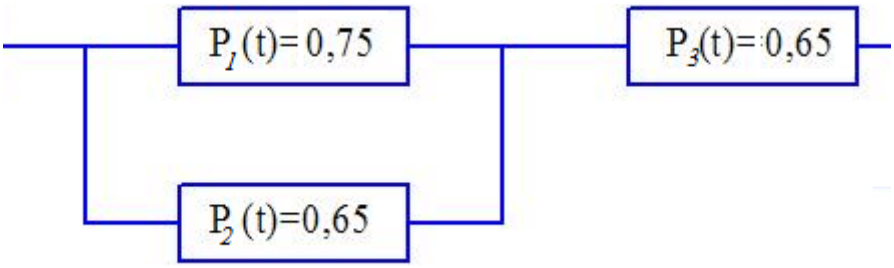


Рис. 3. Структурная схема надежности системы

Каждый элемент системы заменим модулем **Decide**, составим модель, приведенную на рис. 4. Для каждого модуля **Decide** укажем свойства, например, для блока «Zveno 1» они показаны на рис. 5, для остальных блоков нужно изменить вероятность безотказной работы.

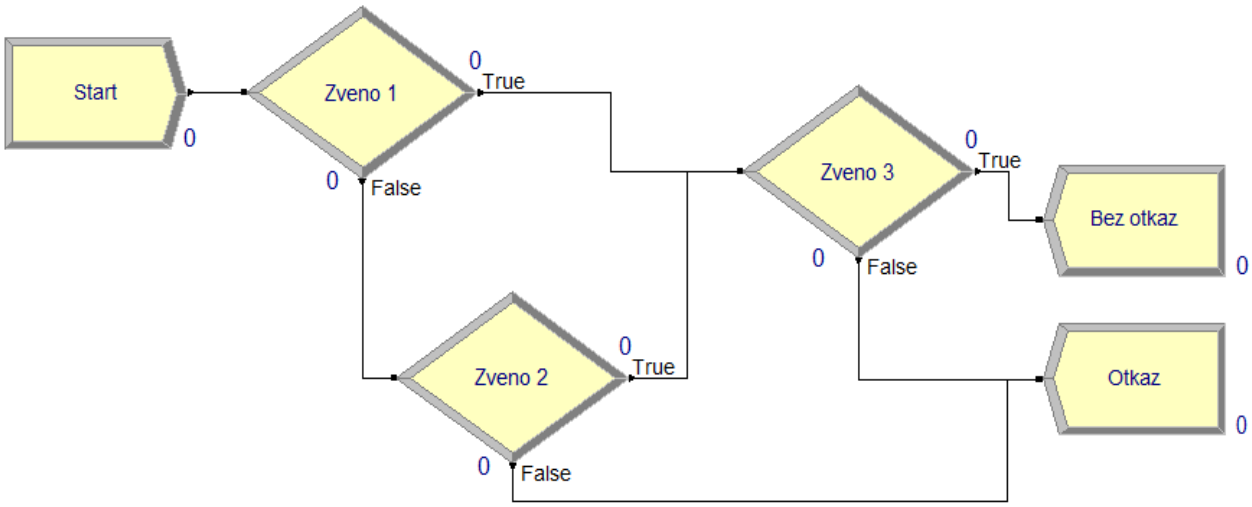


Рис. 4. Имитационная модель структурной надежности

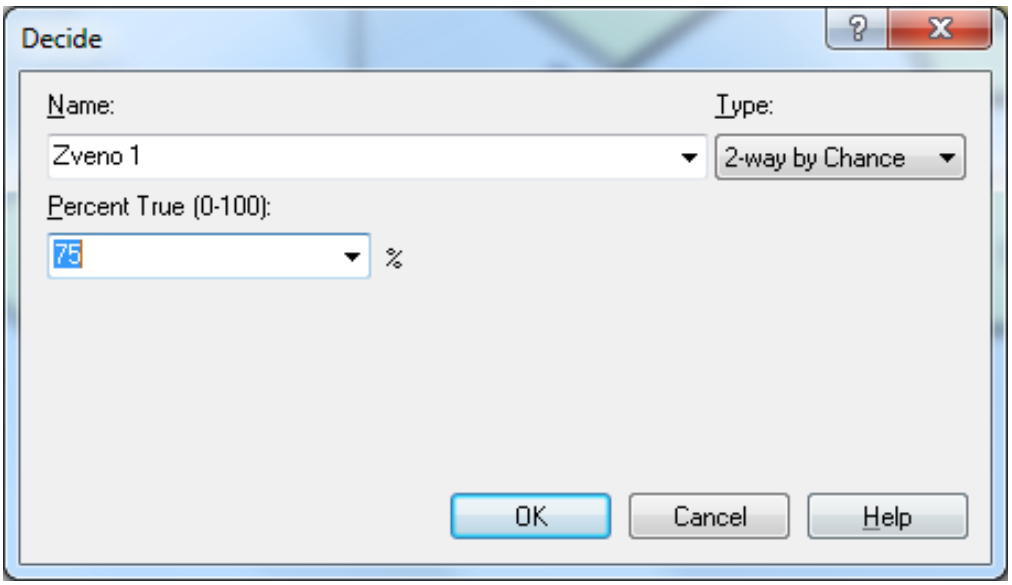


Рис. 5. Свойства модуля «Zveno 1»

V. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

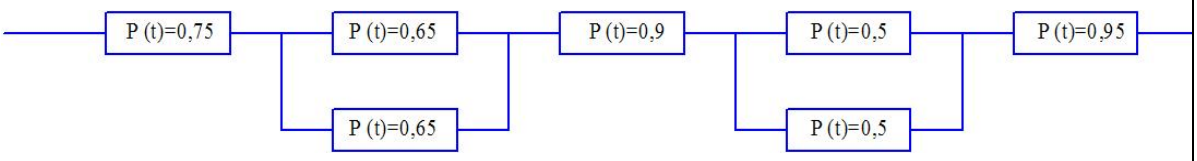
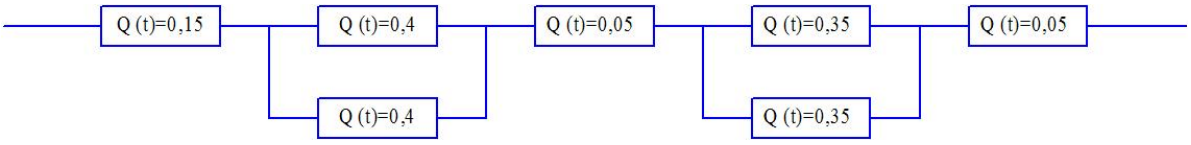
Выполнить следующие пункты, отобразить это в индивидуальном отчете по лабораторной работе.

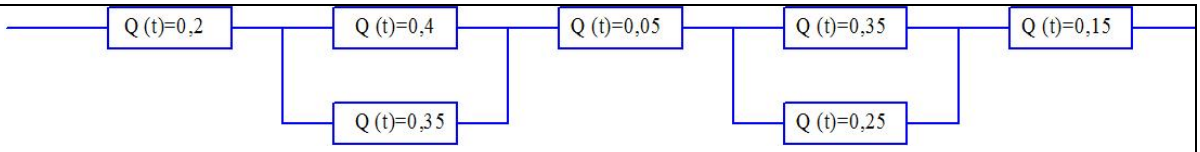
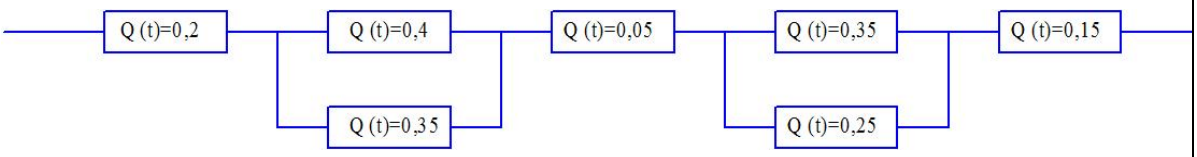
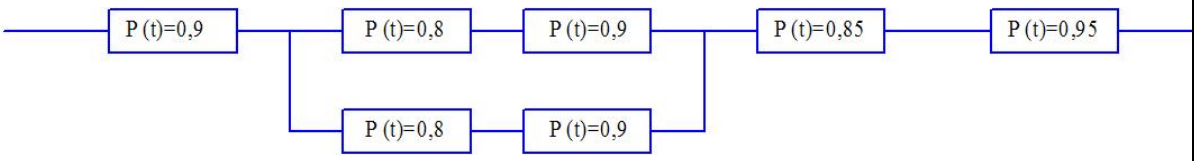
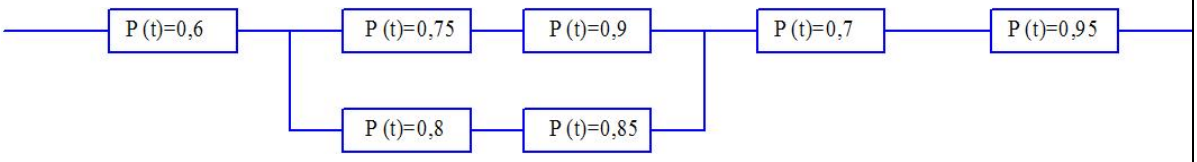
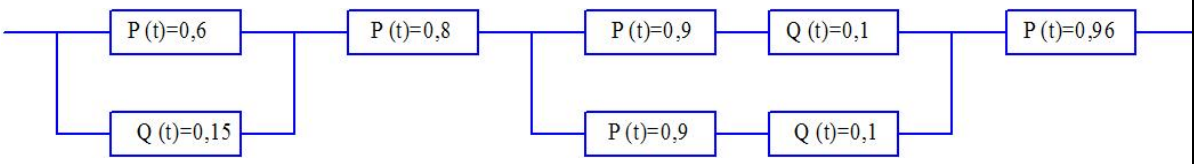
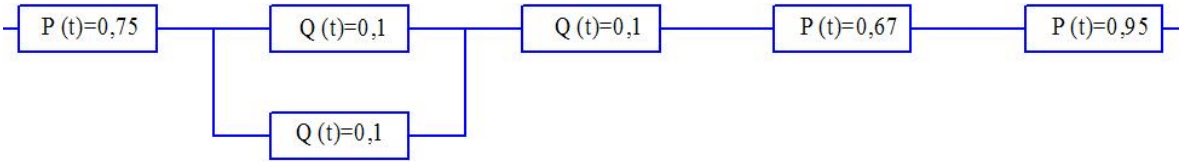
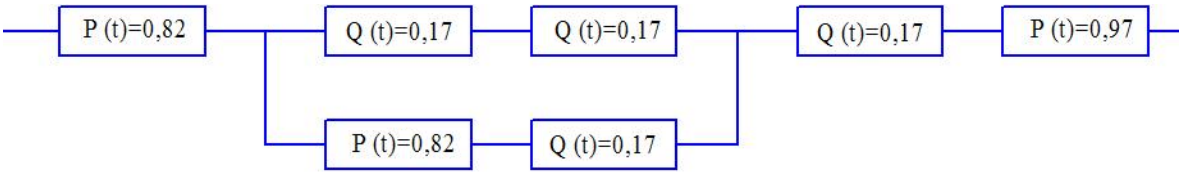
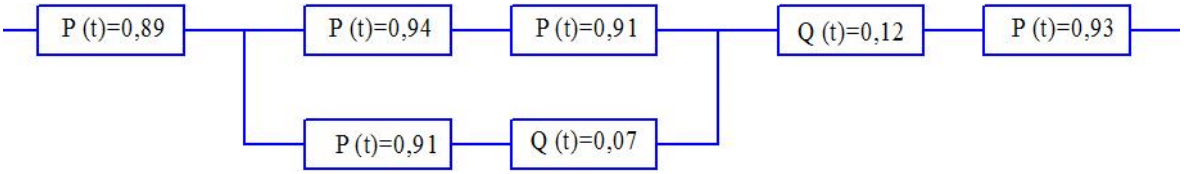
1) Рассчитать вероятность безотказной работы системы, схема которой изображена на рис 3. Разработать имитационную модель, изображенную на рис. 4. Сделать выводы о сходимости результатов.
2) Рассчитать вероятность безотказной работы системы, приведенной ниже, согласно варианту. Разработать ее имитационную модель.

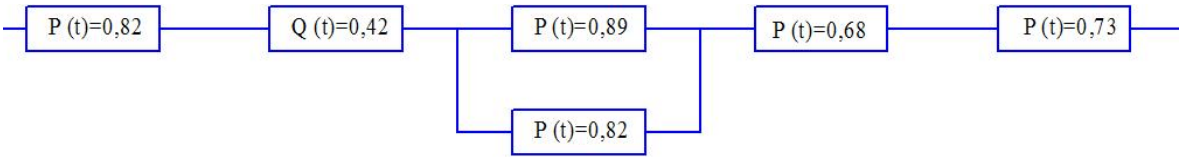
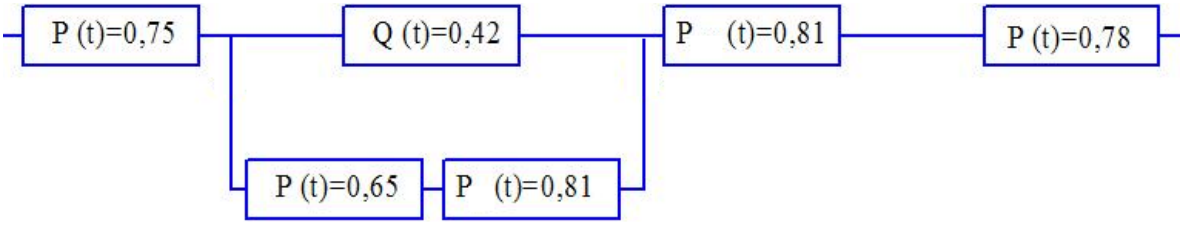
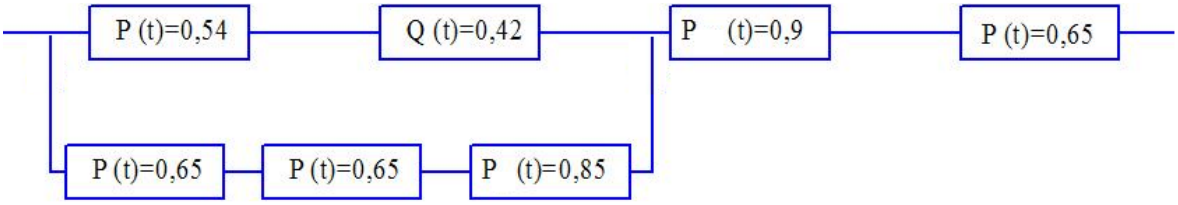
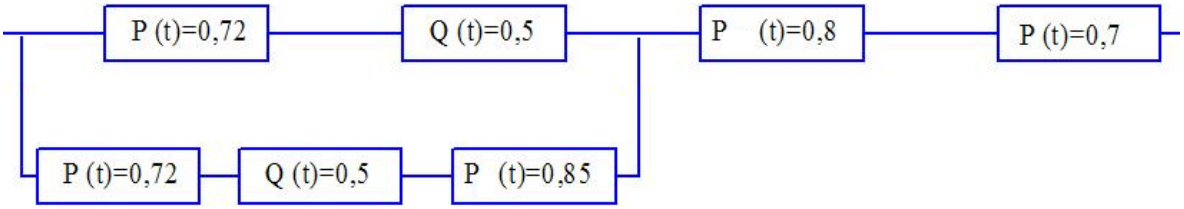
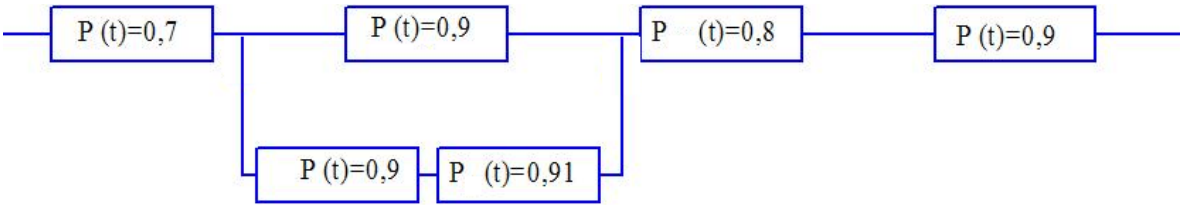
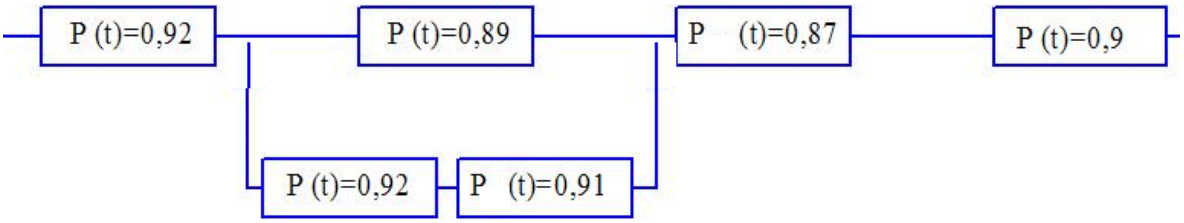
   Рассчитать:
   - вероятность безотказной работы
   - вероятность отказа
   - частота отказов
   - интенсивность отказов

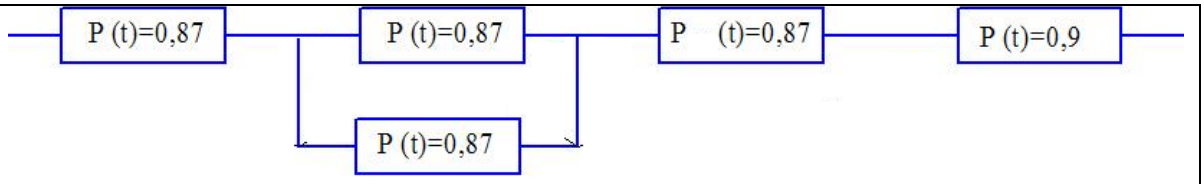
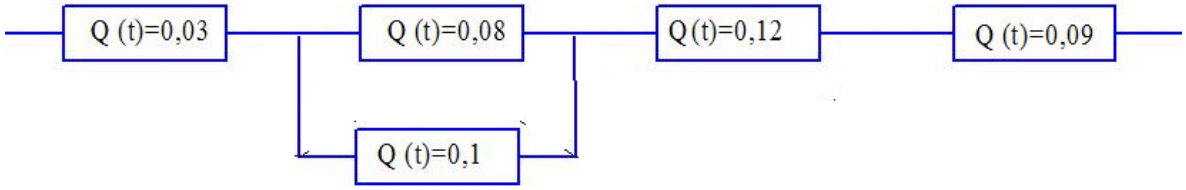
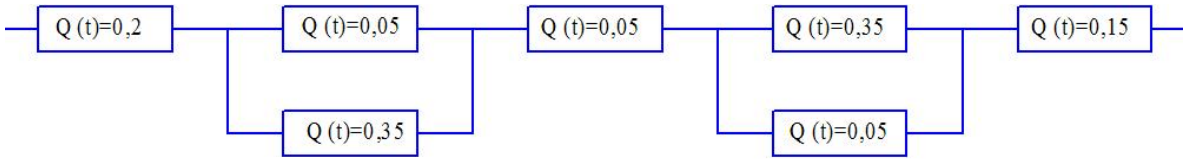
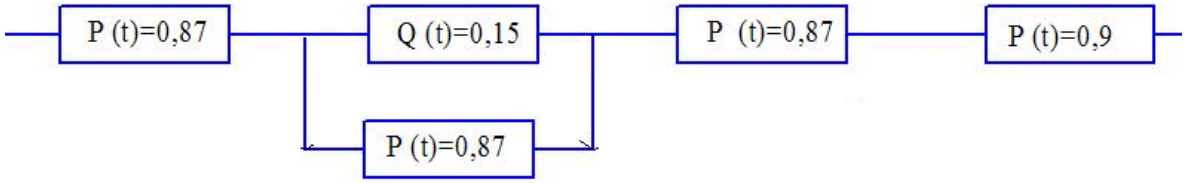
   Сделать выводы о сходимости результатов аналитического и численного решений.

Варианты заданий

№ варианта	Структурная схема системы
1	
2	
3	

	 Q (t)=0,2 Q (t)=0,4 Q (t)=0,35 Q (t)=0,05 Q (t)=0,35 Q (t)=0,25 Q (t)=0,15
4	 Q (t)=0,2 Q (t)=0,4 Q (t)=0,35 Q (t)=0,05 Q (t)=0,35 Q (t)=0,25 Q (t)=0,15
5	 P (t)=0,9 P (t)=0,8 P (t)=0,8 P (t)=0,9 P (t)=0,9 P (t)=0,85 P (t)=0,95
6	 P (t)=0,6 P (t)=0,75 P (t)=0,8 P (t)=0,9 P (t)=0,85 P (t)=0,7 P (t)=0,95
7	 P (t)=0,6 Q (t)=0,15 P (t)=0,8 P (t)=0,9 P (t)=0,9 Q (t)=0,1 Q (t)=0,1 P (t)=0,96
8	 P (t)=0,75 Q (t)=0,1 Q (t)=0,1 Q (t)=0,1 P (t)=0,67 P (t)=0,95
9	 P (t)=0,82 Q (t)=0,17 P (t)=0,82 Q (t)=0,17 Q (t)=0,17 Q (t)=0,17 P (t)=0,97
10	 P (t)=0,89 P (t)=0,94 P (t)=0,91 Q (t)=0,07 P (t)=0,91 Q (t)=0,12 P (t)=0,93

11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	

	
18	
19	
20	

VI. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРАВИЛА РАБОТЫ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

При работе на компьютере необходимо соблюдать общие требования электро- и пожарной безопасности при работе с электрическими приборами.

При работе также необходимо соблюдать следующие требования. Создавать документы можно только в своей папке. Копировать и удалять файлы, не имеющие отношения к выполняемой работе, запрещено. Рекомендуется чаще сохранять данные во избежание их потери.

VII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое надежность?
2. Показатели надежности?
3. Структурная надежность систем.
4. Имитационное моделирование.
5. Использование модуля **Decide.**

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.
2. Arena Simulation Software by Rockwell Automation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.arenasimulation.com.
3. Замятина О.М. Моделирование систем / Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2009. – 204 с.
4. Антонов А.В., Никулин М.С. Статистические модели в теории надежности. М.: Абрис: 2012.