

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания

к проведению практических занятий
и выполнению контрольных работ
для студентов направления

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств» всех форм обучения

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 621.01

Р е ц е н з е н т:

В.Я. Копп - д-р. техн. наук, профессор кафедры
«Приборные системы и автоматизация технологических процессов»

Составители: А.О. Харченко, Е.А. Владецкая

Надежность технических систем: метод. указания / Сост. А.О. Харченко, Е.А. Владецкая. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 24 с.

Методические указания предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплины «Надежность технических систем». Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении практических занятий. В методических указаниях изложены вопросы для самопроверки по данной дисциплине, а также требования к содержанию и оформлению контрольной работы (заочная форма обучения), приведены варианты задач по разделам дисциплины и вопросы для тестирования.

УДК 621.01

Методические указания рассмотрены и утверждены кафедрой «Технология машиностроения», протокол № 8 от 30 января 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЗАДАЧА №1. ВЫЧИСЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА	5
Задача 1.1.....	6
ЗАДАЧА №2. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА	7
Задача 2.1.....	7
Задача 2.2.....	7
Задача 2.3.....	8
Задача 2.4.....	8
ЗАДАЧА №3. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РЕМОНТИРУЕМЫХ СИСТЕМ..	9
Задача 3.1.....	10
Задача 3.2.....	11
Задача 3.3.....	12
Библиографический список.....	13
ПРИЛОЖЕНИЕ А	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ В	18
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	23

ВВЕДЕНИЕ

Работа состоит из теоретической и расчетной частей. Теоретическая часть включает два вопроса, расчетная часть – четыре задачи.

Задания оформляются на листах формата А4, затем сшиваются. На обложке кроме названий министерства, университета, кафедры и работы необходимо указывать фамилию студента, группу, номер зачетной книжки.

Студент выбирает задания для выполнения теоретической и расчетной части в соответствии с последней цифрой в номере зачетной книжки из приведенной табл. 1.

Таблица 1 – Выбор теоретических вопросов и задач контрольной работы

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4
Теоретическая часть					
Номера вопросов	1, 11	2, 12	3, 13	4, 14	5, 15
Расчетная часть					
Номера выполняемых задач	1.1,2.1 2.3,3.1	1.1,2.2 2.4,3.2	1.1,2.3 3.1,3.3	1.1,2.4 3.2,3.3	11,2.1 2.4,3.1
Номера вариантов задач (по указанию преподавателя)	1	2	3	4	5
	11	12	13	14	15
Последняя цифра шифра	5	6	7	8	9
Теоретическая часть					
Номера вопросов	6, 16	7, 17	8, 18	9, 19	10, 20
Расчетная часть					
Номера выполняемых задач	1.1,2.1 2.3,3.1	1.1,2.2 2.4,3.2	1.1,2.3 3.1,3.3	1.1,2.4 3.2,3.3	1.1,2.1 2.4,3.1
Номера вариантов задач (по указанию преподавателя)	6	7	8	9	10
	16	17	18	19	20

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Надежность, основные понятия. Показатели надежности.
2. Законы распределения случайных величин.
3. Отказы элементов машин и систем. Причинно-следственные связи между изменениями в элементах машин, систем и обусловленными ими отказами.
4. Характеристика надежности элементов машин.
5. Обеспечение надежности на стадии проектирования. Схемная надежность и резервирование.
6. Влияние отказов элементов на отказы системы в целом.
7. Надежность на стадиях производства (технологическая надежность) и эксплуатации (эксплуатационная надежность).

8. Испытания на надежность.
9. Эксплуатационная надежность подсистем и элементов машин. Причины нарушения работоспособности.
10. Трение и смазка поверхностей. Виды и периоды изнашивания. Характерные отказы.
11. Классификация случайных процессов при технической эксплуатации машин.
12. Системно-морфологические методы в проектировании технологических систем повышенной надежности.
13. Анализ надежности технологических систем с использованием марковских случайных процессов.
14. Размеченные графы состояний технологических систем с учетом отказов функционирования. Уравнения А.Н. Колмогорова.
15. Применение уравнений финальных вероятностей для оценки надежности систем.
16. Основные характеристики технических систем.
17. Надежность систем из последовательно соединенных элементов.
18. Надежность систем из параллельно соединенных элементов.
19. Надежность сварных соединений типовых узлов механических систем.
20. Надежность резьбовых соединений типовых узлов механических систем.

ЗАДАЧА № 1. ВЫЧИСЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА

Отказ – событие случайное. Поэтому для расчета показателей надежности используются методы теории вероятностей и математической статистики.

Одним из основных понятий, используемых при расчетах показателей надежности, является «наработка». Для станков наработку (продолжительность работы) измеряют в часах. Для определения параметров надежности весь диапазон наработок разбиваем на равные интервалы. Значения середины интервала будем обозначать t_i (тыс. ч), число отказов в каждом интервале n_i . Число отказов к моменту t_i (накопленное число отказов):

$$r(t_i) = \sum_{i=1}^k n_i . \quad (1)$$

Число работоспособных объектов к моменту времени t_i :

$$N(t_i) = N_0 - r(t_i); \quad (2)$$

относительная доля отказов в интервале (частота):

$$\omega_i = \frac{n_i}{N_0}; \quad (3)$$

накопленная частота отказов (вероятность наступления отказа):

$$\hat{F}(t_i) = \frac{r(t_i)}{N_0}; \quad (4)$$

накопленная частота (вероятность безотказной работы):

$$\hat{P}(t_i) = \frac{N(t_i)}{N_0}. \quad (5)$$

Оценка плотности распределения наработок до отказа (оценка плотности вероятности):

$$\hat{f}(t_i) = \frac{n_i}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (6)$$

где Δt – интервал наработки.

Средняя наработка до первого отказа (математическое ожидание):

$$\hat{t}_{cp} = \sum_{i=1}^k \frac{t_i \cdot n_i}{N_0}, \quad (7)$$

где k – число интервалов.

Построение гистограмм и графической взаимосвязи между вероятностями безотказной работы $P(t_i)$ и отказа $F(t_i)$ подробно рассмотрено в учебном пособии [4, 5].

Задача 1.1

Используя данные о наработке до отказа, полученные в результате проведения испытаний N_0 станочных невосстанавливаемых изделий (например, подшипников или элементов электрооборудования при диапазоне наработки на отказ R (тыс. ч) (табл. 2) вычислить значения и построить графики:

- 1) статистической оценки интенсивности отказов;
- 2) статистической плотности распределения наработки до отказа;
- 3) статистической функции надежности.

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 1.1

Номер варианта	N_0 , кол-во изделий	Интервалы наработки, тыс. ч							
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
1	30	5	7	5	3	4	1	3	2
2	46	2	4	8	10	9	7	5	1
3	30	1	1	3	5	8	4	5	3
4	38	3	2	4	6	9	6	7	1

Продолжение таблицы 2

5	49	5	4	6	8	10	7	6	3
6	26	1	2	4	2	4	5	4	4
7	45	3	5	8	12	10	2	3	2
8	51	6	7	10	14	7	4	2	1
9	69	7	8	7	15	14	10	3	5
10	67	5	6	11	13	11	10	9	2
11	57	4	7	4	10	9	14	5	4
12	33	3	2	3	4	7	8	4	2
13	28	2	3	1	7	6	5	3	1
14	29	1	4	8	9	2	1	1	3
15	58	5	3	6	10	15	9	6	4
16	53	2	8	8	14	10	7	3	1
17	55	3	2	3	7	16	10	9	5
18	60	8	10	11	11	9	4	3	4
19	54	6	4	7	10	12	5	8	2
20	66	3	7	9	13	11	12	5	6

ЗАДАЧА № 2. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА

Задача 2.1

Какая часть деталей станков из общего числа N (табл. 3) откажет к моменту наработки $t = t_{cp}$, если отказы распределяются по экспоненциальному закону и отказавшие детали не восстанавливаются? Характеристики законов распределения указаны в прил. А.

Таблица 3 – Исходные данные к задаче 2.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N, шт.	20	30	45	50	34	65	92	74	85	56
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
N, шт.	72	105	96	82	39	250	160	146	114	88

Задача 2.2

Пусть элемент имеет экспоненциальное распределение работы до отказа с параметром распределения λ (табл. 4).

Требуется вычислить основные показатели надежности элемента:

1) вероятность безотказной работы за время t (см. табл. 4);

- 2) вероятность отказа за то же время;
- 3) среднее время работы до отказа.

Таблица 4 – Исходные данные к задаче 2.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda, \text{ч}^{-1}$	0,05	0,001	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,002	0,003	0,004
$t, \text{ч}$	2000	1000	500	600	700	800	900	1200	1500	1600
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\lambda \text{ ч}^{-1}$	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$t, \text{ч}$	1700	1800	2200	2500	2600	2700	2800	3000	3200	3500

Задача 2.3

Из наблюдений за партией двигателей и последующей обработки получены значения t_{cp} и σ (табл. 5). Предполагается, что распределение отказов подчиняется нормальному закону. Определить показатели надежности, вероятность безотказной работы P , вероятность отказа F , плотность вероятности отказов f и интенсивность отказов λ для наработки t (см. табл. 5).

Таблица 5 – Исходные данные к задаче 2.3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{cp}, \text{тыс. ч}$	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
σ	40	50	60	70	80	90	70	100	95	85
$t, \text{тыс. ч}$	200	250	300	350	400	380	320	500	420	360
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t_0, \text{тыс. ч}$	270	250	230	210	190	170	150	130	110	90
σ	75	65	55	35	40	50	60	70	30	10
$t, \text{тыс. ч}$	210	100	120	140	170	95	190	60	220	195

Задача 2.4

Путем обработки данных об отказах клиновидного ремня привода станка установлено, что распределение отказов подчиняется закону Вейбулла с параметрами t_0 и b (табл. 6). Найти показатели надежности P, F, f, t, D, σ , и λ при наработке t_1 .

Таблица 6 – Исходные данные к задаче 2.4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_0 , тыс. ч	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220
b	2	2,5	3	3,5	4	3,5	3	2	3	3,5
t_1 , тыс. ч	50	40	30	20	10	20	30	40	50	60
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t_0 , тыс. ч	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320
b	4	3,5	3	2,5	2	2,5	3	3,5	4	3,5
t_1 , тыс. ч	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160

Примечание. Значения гамма-функции используются из таблицы [4, 5].

ЗАДАЧА № 3. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РЕМОНТИРУЕМЫХ СИСТЕМ

При вычислении показателей надежности ремонтируемых систем наиболее часто применяется метод дифференциальных уравнений. В этом методе используется допущение о показательном (экспоненциальном) распределении времени между отказами и времени восстановления.

Вначале перечисляются возможные состояния системы и составляется ее математическая модель в виде схемы состояний, на которой прямоугольниками или кружками изображаются возможные состояния и стрелками – возможные направления переходов из одного состояния в другое. По схеме состояний составляют систему дифференциальных уравнений для вероятностей состояний.

Решение системы дифференциальных уравнений позволяет определить требуемые показатели надежности.

Когда перерывы в работе допустимы, рассматривают установившийся режим эксплуатации (при $t \rightarrow \infty$). Тогда левые части дифференциальных уравнений приравниваются нулю и система переходит в систему алгебраических уравнений.

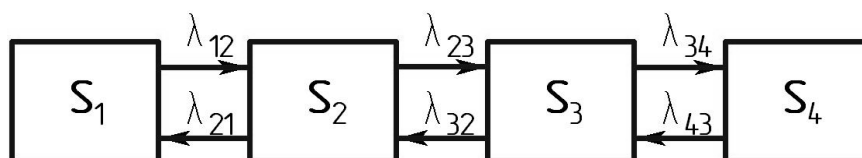


Рис. 1. Схема процесса «гибели и размножения»

Финальные вероятности, характеризующие среднее время пребывания системы в соответствующих состояниях $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ для схемы (рис. 1) «гибели и размножения» определяются из уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \left(1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}}{\lambda_{32}\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{34}\lambda_{23}\lambda_{12}}{\lambda_{43}\lambda_{32}\lambda_{21}} + \dots + \frac{\lambda_{n-1,n}\dots\lambda_{12}}{\lambda_{n,n-1}\dots\lambda_{21}} \right)^{-1}; \\ P_2 &= \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{21}} P_1; \\ P_3 &= \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}}{\lambda_{32}\lambda_{21}} P_1; \\ P_k &= \frac{\lambda_{k-1,k}\dots\lambda_{12}}{\lambda_{k,k-1}\dots\lambda_{21}} P_1. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Если в марковском процессе с непрерывным временем дискретные состояния связаны между собой в одно кольцо и имеют односторонние переходы, то такой процесс называется циклическим (рис. 2).

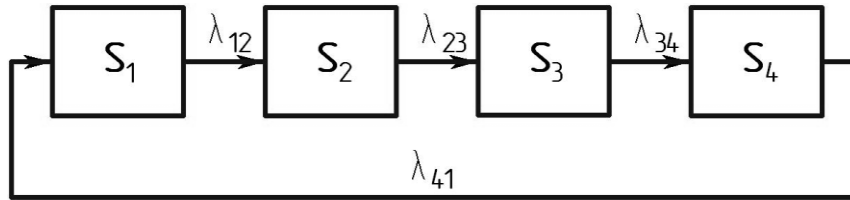


Рис. 2. Схема циклического процесса

Решая систему уравнений Колмогорова, получим:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= 1 + \lambda_{12} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{23}} + \frac{1}{\lambda_{34}} + \dots + \frac{1}{\lambda_{n,1}} \right)^{-1} \\ P_2 &= \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23}} P_1; \quad P_3 = \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{34}} P_1; \\ P_k &= \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{k,k+1}} P_1; \quad P_n = \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{n,1}} P_1; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Задача 3.1

На промышленном предприятии имеется компрессорная станция, состоящая из n одинаковых компрессоров. Средняя выработка на отказ каждого из компрессоров составляет $\bar{T}$. Поток отказов простейший. Среднее время ремонта равно $\bar{T}_p$. Определить вероятности каждого из состояний, используя схему «гибели и размножения» (рис. 1).

Таблица 7 – Исходные данные к задаче 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	3	4	2	4	3	2	3	4	5	3
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{T}$, ч	60	50	70	80	90	100	90	80	70	60
$\bar{T}_p$, ч	3	4	2	4	3	2	3	4	5	3
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n	4	2	3	4	2	3	4	3	2	3
$\bar{T}$, ч	50	60	70	80	90	10	110	120	130	140
$\bar{T}_p$, ч	4	2	3	4	2	3	4	3	2	3

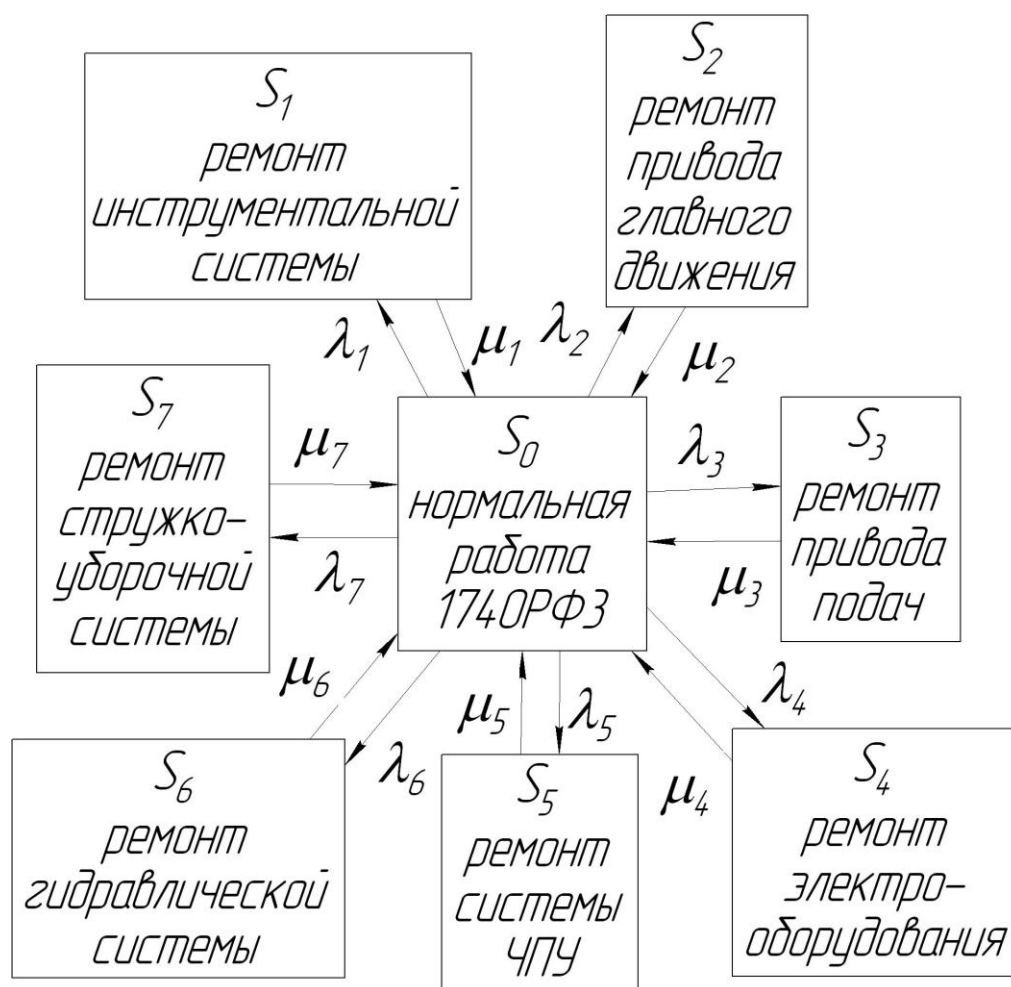


Рис. 3. Размеченный граф состояний станка с учетом отказов функционирования его систем

Задача 3.2

Станок последовательно (рис. 2) может быть исправным и работать

(S_1), ожидать ремонта (S_2), ремонтироваться (S_3), ожидать работы после ремонта (S_4) и снова работать (S_1). Определить предельные вероятности при условии, что

$$\bar{T}_1 = T_H; \bar{T}_2 = 0,5 \cdot T_H; \bar{T}_3 = 0,2 \cdot T_H; \bar{T}_4 = 0,6 \cdot T_H,$$

где T_H – среднее время нахождения станка в эксплуатации за неделю.

Таблица 8 – Исходные данные к задаче 3.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_H , ч	10	15	20	30	40	32	28	25	18	16
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T_H , ч	12	8	34	22	15	17	21	27	29	7

Задача 3.3

Составить размеченный граф состояний станка (узла станка) с учетом отказов функционирования его систем, описать его системой уравнений финальных вероятностей.

Таблица 9 – Исходные данные к задаче 3.3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка станка (узел)	1720ПФ30	2Р135Ф2	ИР500МПФ4	6Р13Ф3	6906ВМФ2	16К20	МР315	ИР320ПМФ4	ИР500ПМФ4	3Д711ВФ
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Марка станка (узел)	МЦ800	ГЦ500ПМФ4	3М151Ф2	Инструментальная система	Привод главного движения	Стружкоуборочная система	Привод подачи	Гидравлическая система	Система ЧПУ	Электрооборудование

Примеры компоновок и кинематических схем станков рассмотрены в работах [17, 18], пример размеченного графа состояний на рис. 3, уравнений – в работах [4, 5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
2. Балакирев В.С. Надежность технических и программных средств автоматизации: учеб. пособие / В.С. Балакирев, В.Я. Бадеников. – Ангарск: АТИ, 1994. – 64 с.
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 546 с.
4. Долгин В.П. Надежность технических систем: Учебное пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник – ИНФРА-М, 2015 – 167 с.
5. Долгин В.П. Надежность автотранспортных средств: Практикум: учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко, О.В. Хромов. – К.: Кондор – Издательство, 2014. – 251 с.
6. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 608 с.
7. Надежность и эффективность в технике. Справочник: в 10 т. / Под ред. В.С. Авдуревского [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989.
8. Надежность машин: учеб. пособие для машиностроительных специальностей ВУЗов / Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.
9. Надежность технических систем: учеб. пособие для студентов технических специальностей вузов / Под общ. ред. Е.В. Сугака, Н.В. Василенко. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2000. – 594 с.
10. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
11. Половко А.М. Основы теории надежности. Практикум / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: – БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
12. Федотов А.В. Основы теории надежности и технической диагностики / А.В. Федотов. – Омск, 2010. – 64 с.
13. Charczenko A. Analiza niezawodności eksploatacyjnej układu silnika samochodowego / A.Charczenko // Technologia i automatyzacja montazu, Warszawa, 1997. – № 4. – Р. 34 – 35.
14. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: учебник / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцев. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – 252 с.
15. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем: учебник для студ. вузов / В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2010. – 304 с.
16. Грабар І.Г. Основи надійності машин: навчальний посібник / І.Г. Грабар. – Житомир: ЖІТІ, 1998. – 298 с.
17. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производ-

ственных систем: учеб. пособие для студентов вузов / А.О. Харченко. – К.: ИД «Профессионал», 2004. – 304 с.

18. Харченко А.О. Металлообрабатывающие станки и оборудование машиностроительных производств: учеб. пособие. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 260 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

Таблица А.1 – Характеристики некоторых законов распределения

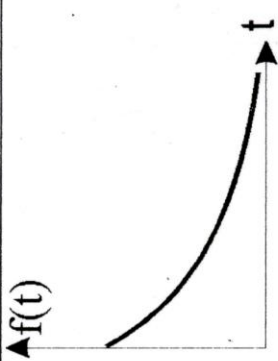
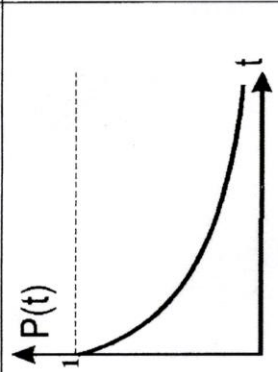
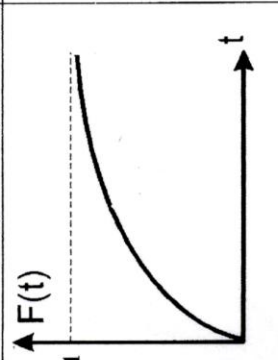
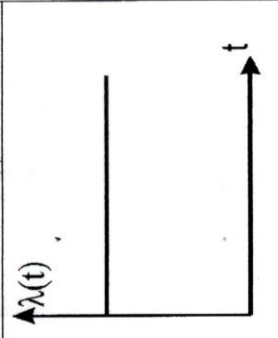
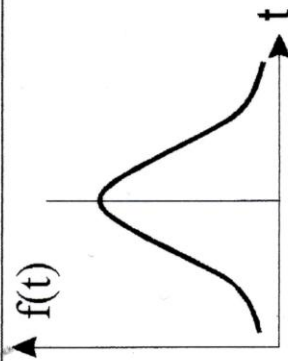
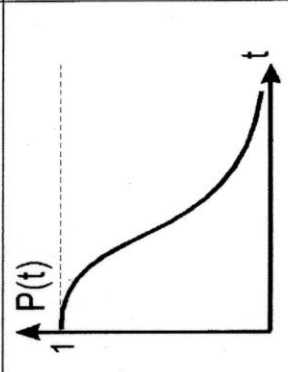
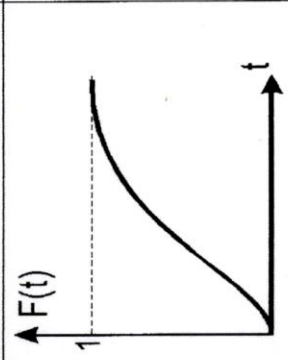
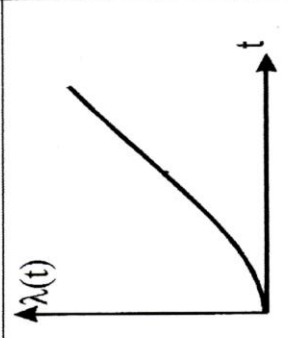
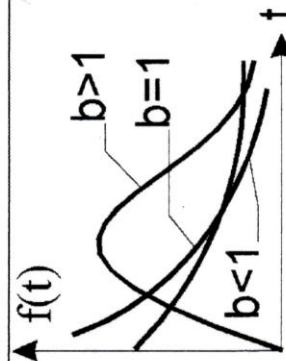
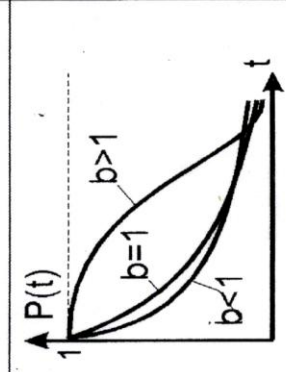
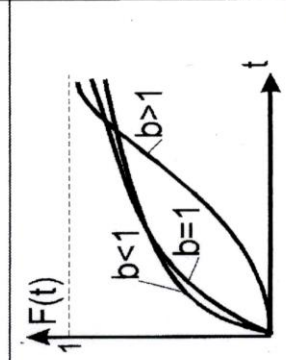
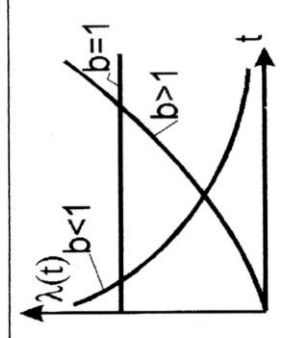
Наименование закона распределения	Плотность вероятности отказа $f(t)$	Вероятность безотказной работы $P(t)$	Вероятность отказа $F(t) = 1 - P(t)$	Интенсивность отказов $\lambda(t)$	Средняя наработка до отказа t_{cp}	Дисперсия D
Экспоненциальный	$\lambda e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$	$\lambda = const$	$\frac{1}{\lambda}$	t_{cp}^2
Нормальный	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}} dt$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}} dt$	$\frac{f(t)}{P(t)}$	t_{cp}	σ^2
Вейбулла	$\frac{b}{t_0} \left(\frac{b}{t_0}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{b}{t_0}\right)^b}$	$e^{-\left(\frac{b}{t_0}\right)^b}$	$1 - e^{-\left(\frac{b}{t_0}\right)^b}$	$\frac{b}{t_0} \left(\frac{b}{t_0}\right)^{b-1}$	$t_0 \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$	$t_0^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \right]^2 \right\}$

Примечания: 1) Расчетное определение значений $f(t)$, $P(t)$ и $F(t)$ для нормального закона делается с помощью нормированных функций $\varphi(x)$ и $F(x)$ [3];

2) Буква Γ в количественных характеристиках закона Вейбулла обозначает гамма-функцию [3];

3) Для удобства расчетов e^{-x} приводится в таблицах или легко могут быть посчитаны с помощью средств вычислительной

Таблица А.2 – Типичные графики количественных характеристик некоторых законов распределения в зависимости от наработки t

Наименование закона распределения	Плотность вероятности отказа $f(t)$	Вероятность безотказной работы $P(t)$	Вероятность отказа $F(t)=1-P(t)$	Интенсивность отказов $\lambda(t)$
Экспоненциальный				
Нормальный				
Вейбулла				

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(пример оформления титульного листа
контрольной работы)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Политехнический институт

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

Выполнил: ст. гр. КТП/б-41з

И.О. Петров

Проверил: проф. каф. ТМ

А.О. Харченко

Севастополь
2018

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(пример алгоритмизации решения задачи №3
с помощью математического пакета MAPLE)

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА НА ТЕМУ:
«АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОЙ НАДЕЖНОСТИ СТАНКА МЕТОДОМ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАЛЬНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ»

МОДЕЛЬ ПОТОКОВ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
С ДИСКРЕТНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ

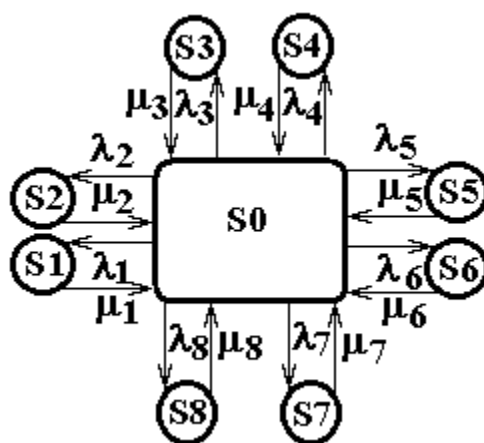


Рис. В.1. Размеченный граф состояний

Обозначения:

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ – потоки отказов,

$\mu_1 \dots \mu_n$ – потоки восстановлений.

ИЗВЕСТНО:

1. ВОЗМОЖНЫЕ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ:

S0 – отсутствие отказов;

S1 – отказ двигателя;

S2 – отказ инструментальной системы;

S3 – отказ привода главного движения;

S4 – отказ стружкоуборочной системы;

S5 – отказ привода подачи;

S6 – отказ гидравлической системы;

S7 – отказ системы ЧПУ;

S8 – отказ электрооборудования.

2. ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ ОТКАЗОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЙ

(все потоки - простейшие).

ТРЕБУЕТСЯ:

- а) найти предельные вероятности состояний системы $\{p_0, \dots, p_8\}$;
- б) построить график распределения вероятностей состояний.

Для решения задачи необходимо вычислить интенсивности потоков отказов λ_i по формуле

$$\lambda_i = 1/T_i,$$

где T_i – средняя наработка на отказ (ч)

и интенсивности потоков восстановлений

$$\mu_i = 1/T_{i\bar{e}},$$

где $T_{i\bar{e}}$ – среднее время восстановления в часах (по данным табл. В.1).

В качестве данных можно использовать статистические параметры отказов и восстановлений деталей (узлов) инструментальной системы, стружкоуборочной системы, гидравлической системы и т.п. по приведенному на рис. В.1 графу состояний. В каждом случае данные должны выбираться для полной группы событий.

Таблица В.1 – Исходные данные для определения среднего относительного времени состояний станка

№ п/п	Станочная система	Наработка на отказ T_i , ч	Среднее время восстановления $T_{i\bar{e}}$, ч
1	Двигатель	3500	70,7
2	Инструментальная система	24	2,5
3	Привод главного движения	250	3,3
4	Стружкоуборочная система	200	4,0
5	Привод подачи	172	9,6
6	Гидравлическая система	323	5,2
7	Система ЧПУ	320	3,1
8	Электрооборудование	250	20,3

```
> restart:
# Вариант
№:=211119: # Номер зачетной книжки
randomize (№);
```

211119

```
> # Блок 1
# Параметры потоков (модель)
lambda[1]:=evalf(1/3500,3);
mu[1]:=evalf(1/70.7,3);
lambda[2]:=evalf(1/24,3); mu[2]:=evalf(1/2.5,3);
lambda[3]:=evalf(1/250,3); mu[3]:=evalf(1/3.3,3);
lambda[4]:=evalf(1/200,3); mu[4]:=evalf(1/4.0,3);
lambda[5]:=evalf(1/172,3); mu[5]:=evalf(1/9.6,3);
lambda[6]:=evalf(1/323,3); mu[6]:=evalf(1/5.2,3);
lambda[7]:=evalf(1/320,3); mu[7]:=evalf(1/3.1,3);
lambda[8]:=evalf(1/250,3); mu[8]:=evalf(1/20.3,3);
```

```
#Вычисление предельной вероятности безотказной ра-
боты узлов станка и вероятностей других состояний
```

...

$$\lambda_1 := .000286$$

$$\mu_1 := .0141$$

$$\lambda_2 := .0417$$

$$\mu_2 := .400$$

$$\lambda_3 := .00400$$

$$\mu_3 := .303$$

$$\lambda_4 := .00500$$

$$\mu_4 := .250$$

$$\lambda_5 := .00581$$

$$\mu_5 := .104$$

$$\lambda_6 := .00310$$

$$\mu_6 := .192$$

$$\lambda_7 := .00312$$

$$\mu_7 := .323$$

$$\lambda_8 := .00400$$

$$\mu_8 := .0493$$

```
> # Блок 2
```

```
# Вычисление p[0]
```

```
p[0]:=1/(1+lambda[1]/mu[1]+lambda[2]/mu[2]
+lambda[3]/mu[3]+lambda[4]/mu[4]
+lambda[5]/mu[5]+lambda[6]/mu[6]
+lambda[7]/mu[7]+lambda[8]/mu[8]);
```

$$p_0 := .7572650655$$

```

> # Блок 3
# Вычисление p[1]..p[n]
p[1]:=p[0]*lambda[1]/mu[1];
p[2]:=p[0]*lambda[2]/mu[2];
p[3]:=p[0]*lambda[3]/mu[3];
p[4]:=p[0]*lambda[4]/mu[4];
p[5]:=p[0]*lambda[5]/mu[5];
p[6]:=p[0]*lambda[6]/mu[6];
p[7]:=p[0]*lambda[7]/mu[7];
p[8]:=p[0]*lambda[8]/mu[8];


$p_1 := .01536012828$



$p_2 := .07894488308$



$p_3 := .009996898554$



$p_4 := .01514530131$



$p_5 := .04230490414$



$p_6 := .01222667554$



$p_7 := .007314758526$



$p_8 := .06144138462$


> # Блок 4
# Проверка по условию нормировки
n:=8:
SUM:=evalf[5](sum('p[i]','i'=0..n));


$SUM := 1.0000$


> # Блок 5
# Диаграмма вероятностей отказов узлов системы
with(stats):
with(stats[statplots]):
data1:=[ Weight(1..2, p[1]), Weight(2..3, p[2]),
Weight(3..4, p[3]),Weight(4..5, p[4]), Weight(5..6,
p[5]), Weight(6..7, p[6]),Weight(7..8, p[7]),
Weight(8..9, p[8]) ]:
histogram(data1, color=pink,thickness=2);

```

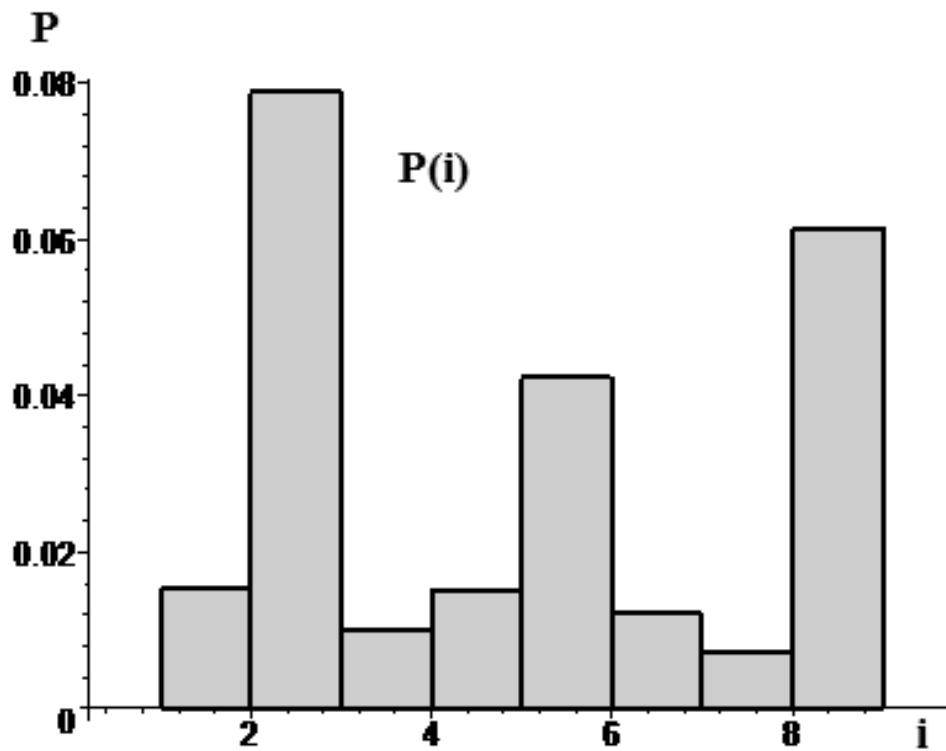


Рис. В.2. Гистограмма распределения станка по номерам состояний с учетом отказов и восстановлений

Вывод: вероятность среднего относительного времени исправного состояния станка составляет $p_0 := .7572650655$.

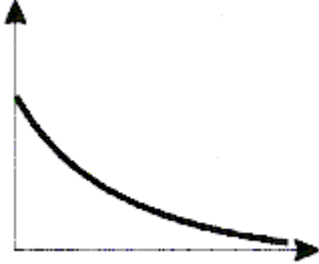
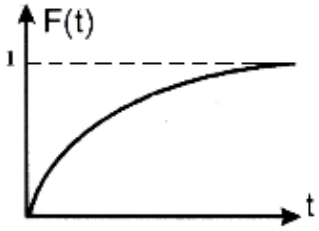
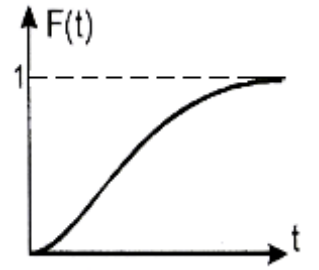
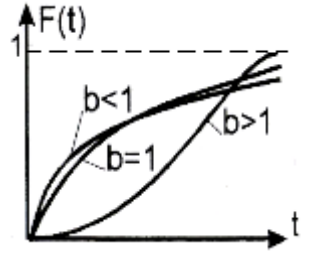
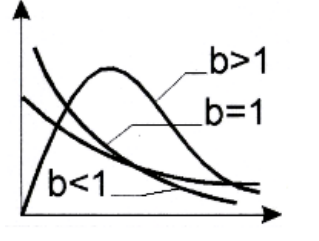
>

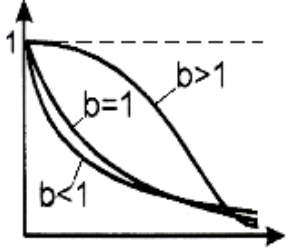
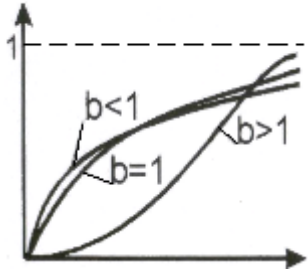
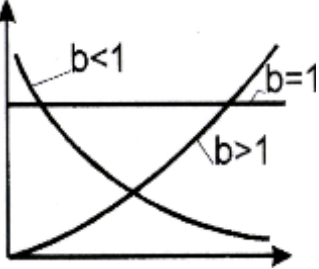
ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ

№	Вопрос	Варианты ответа
1.	Как называется свойство объекта выполнять заданные функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования, сохраняя устойчивые эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени и требуемой наработки?	А - сохраняемость В - долговечность С - надежность D - безотказность
2.	Как называется свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания?	А - безотказность В - ремонтпригодность С - долговечность D - сохраняемость
3.	Каким термином называют свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого промежутка времени или некоторой наработки без вынужденных перерывов?	А - ремонтпригодность В - безотказность С - сохраняемость D - долговечность
4.	Как называется свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения и транспортирования?	А - сохраняемость В - долговечность С - ремонтпригодность D - безотказность
5.	Каким термином характеризуется свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта?	А - безотказность В - ремонтпригодность С - долговечность D - сохраняемость
6.	Чем обуславливается надежность в большей степени?	А - отказом В - ремонтпригодностью С - сохраняемостью

		D - безотказностью E - наработкой F - долговечностью
7.	Как называется выборка, когда все поставленные на исследование объекты доработали до отказа?	A - усеченной B - переполненной C - полной D - заполненной
8.	Плотность вероятности отказа нормального закона распределения рассчитывается по одной из формул:	A - $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}}$ B - $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ D - $f(t) = \frac{b}{t_0} \left(\frac{t}{t_0}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^b}$
9.	Какое из выражений характеризует интенсивность отказов закона распределения Вейбулла?	A - $\lambda(t) = \frac{b}{t_0} \left(\frac{t}{t_0}\right)^{b-1}$ B - $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$ C - $\lambda(t) = const$
10	Какая зависимость описывает вероятность безотказной работы экспоненциального закона?	A - $P(t) = e^{-\lambda t}$ B - $P(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-t_{cp})^2}{2\sigma^2}} dt$ C - $P(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^b}$
11	При каком законе средняя наработка до отказа рассчитывается по формуле $t_{cp} = \frac{1}{\lambda}$?	A - экспоненциальном законе распределения B - нормальном законе распределения C - законе распределения Вейбулла

12	Какая зависимость характеризует дисперсию для нормального закона распределения?	A - $D = t_{cp}^2$ B - $D = \sigma^2$ C - $D = t_0^2 \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) \right]^2 \right\}$
13	График какой количественной характеристики экспоненциального закона изображен на рисунке? 	A - плотности вероятности отказа B - вероятности безотказной работы C - вероятности отказа D - интенсивности отказов
14	Каким графиком описывается вероятность отказа для нормального закона распределения?	A -  B -  C - 
15	Каким графиком описывается вероятность безотказной работы закона распределения Вейбулла?	A - 

		 B -  C -  B -
16	Какие отказы являются предметом теории надежности?	А - несистематические В - системные С - систематические Д - регулярные

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Методические указания
к проведению практических занятий
и выполнению контрольных работ*

Составители: Харченко Александр Олегович,
Владецкая Екатерина Александровна

Редактор – О.В. Дмитриева

Изд. № 49/18. Объем 1,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»