

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный
технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

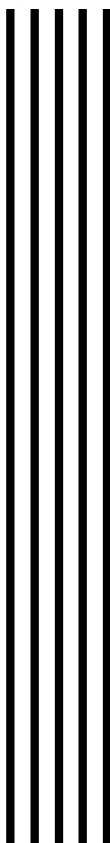
**к практическим занятиям
по дисциплине
«Математическое моделирование и
вычислительная техника»**

для магистрантов технических специальностей

Часть 2

«Имитационное моделирование»

Севастополь
2008



УДК 631.33

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Математическое моделирование и вычислительная техника» для магистрантов технических специальностей: в 2 ч. / Сост. В.В. Кирюхин, Е.В. Козлова. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – Ч.2: Имитационное моделирование. – 20с.

Цель указаний – методическая помощь магистрантам технических специальностей факультетов РТ, ТАМППТ и МТС в выполнении домашних заданий и решению задач на практических занятиях по указанной дисциплине.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры кибернетики и вычислительной техники (протокол № 1 от 05.09.08 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Шушляпин Е.А., доктор технических наук, профессор кафедры технической кибернетики.

Ответственный за выпуск:

Скатков А.В., доктор техн. наук, проф., зав. кафедрой кибернетики и вычислительной техники.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Практическое занятие № 13. Моделирование случайных величин	5
2. Практические занятия № 14, 15. Имитационное моделирование СМО	14
Библиографический список	19

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для оказания помощи магистрантам технических специальностей университета (факультетов радиоэлектроники, технологии автоматизации машиноприборостроения и транспорта, морских технологий и судоходства) в освоении принципов и методов математического моделирования в соответствии с программой дисциплины «Математическое моделирование и вычислительная техника». Указания относятся ко второй части цикла практических занятий по этой дисциплине и связаны с изучением методов имитационного моделирования систем массового обслуживания и оценкой их характеристик по статистическим данным, получаемым в результате имитации. Методические указания ориентированы на студентов дневной формы обучения, однако ими могут воспользоваться и магистранты-заочники.

Указания разбиты на 2 раздела. Тринадцатое занятие (в общем списке занятий курса) связано с разработкой датчиков псевдослучайных чисел с заданным законом распределения.

Четырнадцатое и пятнадцатое занятия посвящены имитационному моделированию заданной системы массового обслуживания и оценке её характеристик по статистическим данным, получаемым в результате имитации.

Каждый из разделов построен по стандартной схеме, включающей формулировку цели занятия, описание базовых теоретических сведений, домашнее задание и список контрольных вопросов.

Логическая связь материала в пределах разделов дисциплины такова, что студент не может осознанно решать задачи текущего занятия, не решив задачи предыдущего.

При выполнении домашних заданий рекомендуется использовать учебную и справочную литературу [1–4].

13. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

13.1 Цель занятия

Целью занятия является освоение методов моделирования случайных величин с заданным законом распределения на цифровых ЭВМ и оценка качества генерирования этих величин по результатам статистической обработки имитационных данных.

На этом и следующих занятиях студент, получив индивидуальное задание, должен составить компьютерные программы и с их помощью получить все необходимые характеристики. Выбор языка программирования производится самостоятельно; необходимо лишь учесть, что язык должен содержать процедуру генерирования равномерно распределенных случайных чисел, которая, впрочем, включена во все современные алгоритмические языки.

13.2 Порядок выполнения задания

13.2.1. Изучить разделы 13.3, 13.4 настоящих указаний и относящиеся к разделам вопросы из [2, 3].

13.2.2. По заданному варианту (таблица 13.1) составить программы генерирования выборок случайных чисел, распределенных по двум законам I и II.

С помощью этих программ осуществить цифровое моделирование случайных величин для различных объемов K выборок в диапазоне от $K=10$ до $K=200$.

Произвести статистическую обработку выборок при заданной доверительной вероятности β и для каждого из двух законов построить графики зависимости оценок $\hat{\mu}$ математического ожидания и доверительных границ μ_1 и μ_2 от объема K выборки.

Сравнить $\hat{\mu}$ с истинным значением μ . Сделать выводы.

Таблица 13.1 – Варианты заданий

Вариант	00	01	02	03	04	05 (30)	06 (31)	07 (32)	08 (33)	09 (34)
100β	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90
Закон I	Э	Э	Э	Э	Э	Э	Э	Р	Р	Р
Закон II	Р	Е	Х	Л	В	Б(П)	Т(С)	Е(Х)	Л(В)	Б(П)
Вариант	10 (35)	11 (36)	12 (37)	13 (38)	14 (39)	15 (40)	16 (41)	17 (42)	18 (43)	19 (44)
100β	95	99	90	95	99	90	95	99	90	95
Закон I	Р	Е	Е	Е	Е(Х)	Х	Х	Х(Л)	Л	Л
Закон II	Т(С)	Х(Л)	В(Б)	П(Т)	С(Л)	В(Б)	П(Т)	С(В)	Б(П)	Т(С)
Вариант	20 (45)	21 (46)	22 (47)	23 (48)	24 (49)	25	26	27	28	29
100β	99	90	95	99	90	95	99	90	95	99
Закон I	В	В	Б	Б(П)	П(Т)	Е	Х	Б	П	Т
Закон II	Б(П)	Т(С)	П(Т)	С(Т)	С	Е	Х	Б	П	Т

Примечания.

1) В таблице 13.1 законы распределения случайных величин обозначены следующими символами:

- Б – биномиальный,
- В – Вейбулла,
- Е – Эрланга,
- Л – логарифмически нормальный,
- П – Пуассона,
- Р – Релея, С – равномерный,
- Т – треугольный,
- Х – хи-квадрат,
- Э – экспоненциальный.

2) Формулы для получения случайных чисел по различным законам выбираются из таблицы 13.2, причем для закона I значения параметров равны заданным в таблице, а для закона II эти значения рассчитываются так, чтобы отношение математических ожиданий μ величин I и II было равно единице либо ближайшему к ней сверху действительному числу.

Таблица 13.2 – Формулы для получения случайных чисел

Закон	Формула для расчета числа	μ	Значения параметров
Б	$x_B = \sum_{i=1}^n k_i$, где $k_i = \begin{cases} 0, & x_{R_i} < \rho \\ 1, & x_{R_i} \geq \rho \end{cases}$	$n\rho$	$\rho = 0,2$ $n = 20$
В	$x_B = \sigma \sqrt{-\ln x_R}$	$\frac{\Gamma(1+\frac{1}{n})}{\frac{\sigma}{n} \Gamma(\frac{1}{n})}$	$n = 2$ $\sigma = 1$
Е	$x_E = -\frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n x_{N_i}^2$	$\frac{n}{\lambda}$	$n = 3$ $\lambda = 1$
Л	$x_L = \exp(\sigma x_N - a)$	$\frac{\sigma^4}{e^{\frac{\sigma^4}{2} + a}}$	$a = 2$ $\sigma = 1$
П	$x_{\Pi} - \text{натуральное число } k, \text{ первым удовлетворяющее неравенству}$ $x_{\Pi} = -\frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{k+1} \ln x_{R_i} > 1$	λ	$\lambda = 2$
Р	$\sigma_P = \sigma \sqrt{-2 \ln x_R}$	$\sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$	$\sigma = 3$
С	$x_C = (b - a)x_R + a$	$\frac{a+b}{2}$	$a = 1$ $b = 3$
Т	$x_T = (b - a)(x_{R_1} + x_{R_2}) + 2a$	$a + b$	$a = 1$ $b = 3$
Х	$x_X = \sum_{i=1}^n x_{N_i}^2$	n	$n = 3$
Э	$x_{\mathcal{O}} = -\frac{1}{\lambda} \ln x_R$	$\frac{1}{\lambda}$	$\lambda = 2$

13.3 Методы цифрового моделирования случайных величин

В основе всех способов имитационного моделирования систем и процессов лежат методы моделирования случайных величин.

Если эти методы реализуются на ЦВМ, то говорят о цифровом моделировании.

К настоящему времени разработаны достаточно мощные методы цифрового моделирования случайных величин. Здесь дается краткая характеристика лишь основных способов такого моделирования, которые, по существу, стали классическими.

Напомним, что, по определению, **случайной величиной** X называется **величина, которая в процессе некоторого эксперимента может принять любое значение из некоторого множества**, причем заранее неизвестно, какое именно значение. Если указанное множество непрерывно (континуально), то случайная величина называется **непрерывной**, в противном случае – **дискретной**.

Конечная последовательность $x_1, \dots, x_K$ значений случайной величины X называется **серией**, или **выборкой**, а сами значения – **случайными числами**. Число K при этом называется **объемом выборки (серии)**.

Случайная величина X полностью характеризуется **законом распределения** $F(x)$ – вероятностью того, что $X \leq x$.

Задача цифрового моделирования случайной величины состоит в том, чтобы, зная закон $F(x)$, получить серию случайных чисел заданного объема, распределенных по этому закону.

Рассмотрим основные методы цифрового моделирования.

Равномерный закон распределения

Базовым распределением для цифрового моделирования является равномерное распределение непрерывной случайной величины на отрезке $0 \leq x \leq 1$. Во всех современных языках программирования для получения равномерно распределенных на этом отрезке случайных чисел x_R существуют специальные процедуры: RND, RANDOM и т.п.

Если необходимо получить случайное число x_C , равномерно распределенное на произвольном отрезке $a \leq x \leq b$, то после генерирования числа x_R с помощью процедуры RND применяют формулу

$$x_C = (b - a)x_R + a. \quad (13.1)$$

Естественно, при $a = 0$, $b = 1$ $x_C = x_R$.

Нормальный закон распределения

Другим фундаментальным и часто используемым законом распределения случайных непрерывных величин является нормальный закон для чисел с нулевым средним значением и единичным среднеквадратичным отклонением, обозначаемых как x_N . Существует несколько способов цифрового моделирования x_N . Эти способы используют центральную предельную теорему, согласно которой сумма достаточно большого числа случайных величин с произвольным распределением ведет себя как нормальная случайная величина. Простейшим является способ, когда x_N вычисляется по формуле

$$x_N = \sum_{i=1}^{12} x_{R_i} - 6, \quad (13.2)$$

где x_{R_i} – i -е число x_R в серии из 12 чисел.

Если необходимо получить случайное число $x_N(\mu, \sigma)$, нормально распределенное со средним значением μ и среднеквадратичным отклонением σ , то используют формулу

$$x_N(\mu, \sigma) = \sigma x_N + \mu. \quad (13.3)$$

Очевидно, $x_N(0, 1) = x_N$.

Метод обратных функций

Для получения случайных чисел с другими законами распределения применяются различные методы, однако, всюду существенным образом используются равномерно распределенные числа x_R .

Наиболее распространен метод обратных функций, суть которого сводится к следующему.

Пусть некоторая случайная величина X имеет закон распределения $F(x)$. Поскольку функция $F(x)$ непрерывна, монотонна и принимает значения на интервале $[0, 1]$, то эти значения могут непосредственно восприниматься как реализации случайного числа x_R , т.е.

$$x_R = F(x). \quad (13.4)$$

Рассматривая (13.4) как уравнение относительно x и решая его, получим

$$x = F^{-1}(x_R), \quad (13.5)$$

где F^{-1} – функция, обратная функции F . Таким образом, формула (13.5) и есть алгоритм для вычисления искомого случайного числа x по известному числу x_R .

Особенно удобен этот метод тогда, когда уравнение (13.4) разрешается явно относительно x . Приведем пример.

Пусть случайная величина $x_{\mathcal{D}}$ распределена по экспоненциальному закону с параметром λ , т.е.

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}, \quad 0 \leq x \leq \infty.$$

Уравнение (13.4) здесь записывается в виде

$$x_R = 1 - e^{-\lambda x},$$

откуда

$$x = x_{\mathcal{D}} = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - x_R). \quad (13.6)$$

Поскольку случайному числу $1 - x_R$ однозначно соответствует случайное число x_R , вместо (13.6) можно пользоваться более простой формулой

$$x_{\mathcal{D}} = -\frac{1}{\lambda} \ln(x_R). \quad (13.7)$$

Таким образом, выражение (13.7) есть алгоритм для вычисления экспоненциально распределенного случайного числа $x_{\mathcal{D}}$ по известному числу x_R .

Действуя аналогично, можно получить выражения для получения случайных чисел x_P , x_L и x_B , распределенных по законам Релея, логарифмически нормальному и Вейбулла соответственно (см. табл. 13.2).

«Прямой» метод моделирования

Сущность этого метода очень проста: случайное число получается по алгоритму, непосредственно реализующему определение этого числа. Приведем примеры.

Известно, что случайная величина, распределенная по закону Эрланга с параметрами λ и n , есть сумма n случайных величин, каждая из которых распределена по экспоненциальному закону с параметром λ . Следовательно,

$$x_E = \sum_{i=1}^n x_{\mathcal{D}_i}, \quad (13.8)$$

где $x_{\mathcal{E}_i}$ – i -я реализация экспоненциально распределенной величины $x_{\mathcal{E}}$ с параметром λ . Используя (13.7), получаем

$$x_E = -\frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \ln x_{R_i} . \quad (13.9)$$

Хи-квадрат распределение с n степенями свободы есть распределение случайной величины x_X , которая равна сумме квадратов n нормальных случайных величин с нулевыми средними и единичными среднеквадратичными отклонениями. Следовательно,

$$x_X = \sum_{i=1}^n x_{N_i}^2 , \quad (13.10)$$

где x_{N_i} – i -я реализация нормально распределенной величины $x_N(0, 1)$, которая, в свою очередь, вычисляется по формуле (13.2).

Треугольное распределение (иногда его именуют распределением Симпсона) – это распределение суммы двух равномерных на отрезке $[a, b]$ случайных величин. Следовательно, случайное число x_T вычисляется по формуле

$$x_T = x_{C_1} + x_{C_2} ,$$

или с учетом (13.1)

$$x_T = (b - a)(x_{R_1} + x_{R_2}) + 2a . \quad (13.11)$$

С помощью прямого метода можно получить и целочисленные случайные величины x_B и x_{II} , распределенные соответственно по биномиальному и пуассоновскому законам (см. табл. 13.2).

13.4 Оценка параметров случайных величин по их выборкам

Пусть в результате некоторого эксперимента (например, цифрового моделирования) получена выборка $x_1, \dots, x_K$ объема K случайной величины, распределенной по известному закону $F(x)$, который, в частности, содержит неизвестный параметр a . Одним из основных вопросов математической статистики является вопрос получения оценки $\mathcal{E}$ этого параметра по данным указанной выборки.

Наиболее употребительными параметрами случайной величины X являются математическое ожидание μ и дисперсия

D , которые при известном законе $F(x)$ вычисляются соответственно по формулам

$$\mu = \int x dF(x), \quad (13.12)$$

$$D = \int (\mu - x)^2 dF(x). \quad (13.13)$$

Если для оценки этих параметров используется выборка $x_1, \dots, x_K$, то наилучшими, с точки зрения статистики, оценками для μ и D являются значения $\bar{x}$ и $\bar{D}$, вычисляемые по формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K x_i, \quad (13.14)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (x_i - \bar{x})^2. \quad (13.15)$$

Оценка $\bar{x}$ параметра a вида (13.14) или (13.15) называется **точечной** оценкой. Она ничего не говорит о том, насколько достоверно $\bar{x}$ приближена к истинному значению a . Ответ на этот вопрос дает интервальная оценка.

Доверительный интервал – это случайный интервал $I_\beta = (\bar{x} - \varepsilon, \bar{x} + \varepsilon)$, для которого выполняется равенство:

$$\text{Вер}\{\bar{x} - \varepsilon < a < \bar{x} + \varepsilon\} = \beta, \quad (13.16)$$

где β – некоторое, достаточно близкое к единице, положительное число, называемое **доверительной вероятностью**. Как показывает равенство (13.16), доверительный интервал «накрывает» параметр a с вероятностью β . Границы $a_1 = \bar{x} - \varepsilon$ и $a_2 = \bar{x} + \varepsilon$ интервала I_β при этом называются **доверительными границами**.

Если параметром a является математическое ожидание μ , то для выборки достаточно большого объема можно пользоваться следующим простым алгоритмом вычисления доверительного интервала $(\bar{x} - \varepsilon, \bar{x} + \varepsilon)$.

Начало.

1. Ввод $(x_1, \dots, x_K)$, K , β , t_β .
2. Вычисление $\bar{x}$ и $\bar{D}$ по формулам (13.14) и (13.15).
3. Вычисление ε по формуле

$$\varepsilon = t_\beta \sigma,$$

где $\sigma = \sqrt{\bar{D}/K}$.

4. Вывод объема K выборки, доверительной вероятности β и доверительных границ $\mu_1 = \bar{x} - \varepsilon$ и $\mu_2 = \bar{x} + \varepsilon$.

Конец.

Значения коэффициента t_β при некоторых доверительных вероятностях β приведены в таблице 13.3.

Таблица 1.3 – Значения t_β для типовых вероятностей β

β	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99	0,999
t_β	1,28	1,44	1,64	1,96	2,58	3,29

13.5 Контрольные вопросы

1. Какая величина называется случайной?
2. Что такое выборка случайных чисел? Объем выборки?
3. Какая случайная величина является базовой при цифровом моделировании?
4. Каким образом, зная случайное число x_R , можно определить число x_C ?
5. Какой закон (теорема) используется при цифровом моделировании нормальной случайной величины x_N ?
6. В чем сущность метода обратных функций? Приведите пример получения случайного числа методом обратных функций.
7. Как получаются случайные числа, распределенные по закону Эрланга? Хи-квадрат?
8. Что такое точечная оценка параметра закона распределения?
9. Как выглядят наилучшие точечные оценки математического ожидания и дисперсии случайной величины?
10. Что такое доверительный интервал при заданной доверительной вероятности?
11. Как ведут себя доверительные границы с ростом объема выборки? Почему?
12. Как ведут себя доверительные границы с ростом доверительной вероятности при данном объеме выборки? Почему?

14. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ № 14,15. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СМО

14.1 Цель занятия

Целью занятия является освоение метода цифрового имитационного моделирования систем массового обслуживания и оценки характеристик СМО по результатам моделирования.

14.2 Порядок выполнения задания

14.2.1 Изучить раздел 14.3 настоящих указаний и относящиеся к нему разделы рекомендованной литературы [2, 4].

14.2.2 а) По блок-схеме (рисунк 14.1) составить компьютерную программу моделирования многоканальной СМО при заданных законах распределения промежутков поступления $P(t)$ и обслуживания $B(\tau)$ заявок. В качестве законов $P(t)$ и $B(\tau)$ взять соответственно законы I и II из предыдущего занятия.

б) Ввести программу в компьютер и для заданных преподавателем значений параметров законов $P(t)$ и $B(\tau)$, а также числа N каналов СМО, числа n реализаций процесса моделирования и длительности T процесса осуществить имитационное моделирование и зафиксировать результаты: числа $M_{обс}(j)$ обслуженных заявок, числа $M_{отк}(j)$ заявок, получивших отказ и вероятности $P_{отк}(j)$ отказа в обслуживании к моменту j -й реализации процесса.

в) Построить графики функций $M_{обс}$, $M_{отк}$ и $P_{отк}$ в зависимости от числа j реализаций, $j = 1, \dots, n$; произвести анализ результатов моделирования; сделать выводы.

14.3 Моделирование системы массового обслуживания с отказами

Оценка характеристик систем массового обслуживания (СМО) на этапе их проектирования имеет большое значение в связи с усложнением самих систем и возрастанием скорости их проектирования, наладки и эксплуатации. В то же время аналитическим оценкам поддается лишь ограниченный класс СМО. В связи с этим основным методом исследования сложных СМО в

настоящее время является статистический метод с использованием результатов имитационного моделирования этих систем на ЭВМ.

На данных практических занятиях исследуется имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания вида G/G/N/O, на вход которой поступает стационарный рекуррентный поток заявок. Промежуток времени t между поступлениями двух соседних заявок распределен по заданному закону $P(t)$.

Система – полноступенчатая, т.е. каждая заявка поступает на любой свободный канал. Если все каналы заняты, то заявка теряется. Время обслуживания τ заявки – случайное и распределено по заданному закону $B(\tau)$.

Требуется определить средние $M_{обс}$ и $M_{отк}$ числа обслуживания заявок и отказов соответственно и вероятность $P_{отк}$ в обслуживании за время T работы СМО.

Величины $M_{обс}$, $M_{отк}$ и $P_{отк}$ будем оценивать статистически. Пусть j – количество реализаций функционирования СМО и каждая реализация длилась время T . В течение j реализаций было обслужено $M_{обс}^j$ заявок и $M_{отк}^j$ заявок получили отказ. Тогда оценки для искомых величин суть:

$$M_{обс}(j) = M_{обс}^j / j, \quad (14.1)$$

$$M_{отк}(j) = M_{отк}^j / j, \quad (14.2)$$

$$P_{отк} = M_{отк}(j) / M_{обс}(j) + M_{отк}(j). \quad (14.3)$$

Блок-схема алгоритма имитационного моделирования и оценки характеристик СМО представлена на рисунке 2.1, где использованы следующие обозначения:

N – число каналов СМО;

$P(t)$ – закон распределения промежутка времени t между поступлениями двух соседних заявок (при составлении программы задаются значения параметров этого закона);

$B(\tau)$ – закон распределения времени τ обслуживания заявок (при составлении программы задаются значения параметров этого закона);

n – количество реализаций имитационного моделирования;

T – время функционирования СМО в одной реализации;

j – текущий номер реализации;

$K(i)$ – i -й элемент массива моментов освобождений каналов, где $i = 1, \dots, N$;

T_{II} – момент поступления очередной заявки из входящего потока;

t – интервал между поступлением очередной и предыдущей заявки (случайное число);

i – текущий номер канала;

τ – время обслуживания очередной заявки (случайное число);

$M_{обс}$ – (текущее) среднее число обслуженных заявок;

$M_{отк}$ – (текущее) среднее число отказов в обслуживании;

$P_{отк}$ – (текущая) вероятность отказа в обслуживании.

Сделаем необходимые пояснения к блок-схеме алгоритма.

Блок 1 производит ввод исходных данных и параметров моделирования. Под вводом законов $P(t)$ и $B(\tau)$ подразумевается ввод значений параметров, необходимых для генерирования соответствующих случайных чисел t и τ . Например, если $P(t)$ и $B(\tau)$ – экспоненциальные законы, то необходимо задать значения λ_1 для $P(t)$ и λ_2 для $B(\tau)$, поскольку для генерации соответствующих случайных чисел достаточно задать интенсивность λ .

Блоки 2 и 4 задают начальные значения переменных моделирования.

Блок 3 задает количество n реализаций моделирования.

Блок 5 производит выработку случайного промежутка времени до момента поступления очередной заявки. Этот промежуток затем добавляется к моменту T_{II} поступления очередной заявки. Таким образом, величину T_{II} можно использовать как текущее время моделирования в данной реализации.

Блок 6 проверяет, не истекло ли время данной реализации j . Если не истекло, то производится переход к блоку 10. Если время истекло, то производится переход к следующей реализации, $j + 1$.

Предварительно производится вычисление по формулам (14.1) – (14.3) (**блок 8**) и вывод (**блок 9**) текущих результатов моделирования, если номер j данной реализации кратен 5 (что проверяется **блоком 7**). Таким образом, **блоки 7 – 9** обеспечивают

выдачу текущих результатов через каждые пять реализаций процесса моделирования.

Блоки 10 – 14 производят проверку наличия свободного канала СМО для обслуживания очередной заявки. Если такого канала нет, то заявка получает отказ. Текущее число отказов $M_{отк}$ увеличивается на единицу (**блок 13**). Если же свободный канал имеется, то производится обслуживание заявки.

Для этого **блок 15** генерирует случайное число τ – время обслуживания, которое добавляется к текущему времени T_{II} , и в результате вычисляется момент $K(i)$ освобождения канала, принявшего данную заявку на обслуживание; текущее число $M_{обс}$ обслуженных заявок увеличивается на единицу.

Алгоритм заканчивает работу по завершении моделирования заданного числа n реализаций.

14.4 Контрольные вопросы

1. Какая система массового обслуживания, в нотации Кендалла, моделируется в данной работе?
1. Что такое простейший поток заявок? Что необходимо задать для полного определения простейшего потока?
2. Что такое рекуррентный поток заявок? При каком распределении промежутка времени между моментами поступления заявок рекуррентный поток превращается в простейший?
3. Что такое «чистая СМО с отказами»?
4. Что такое полнодоступная СМО?
5. Всегда ли возможен стационарный режим в чистой СМО с отказами? Если да, то почему?
6. Каким образом моделируется процесс занятия и освобождения каналов в рассматриваемой СМО?
7. Как по данным моделирования вычисляется вероятность отказа заявке в обслуживании?

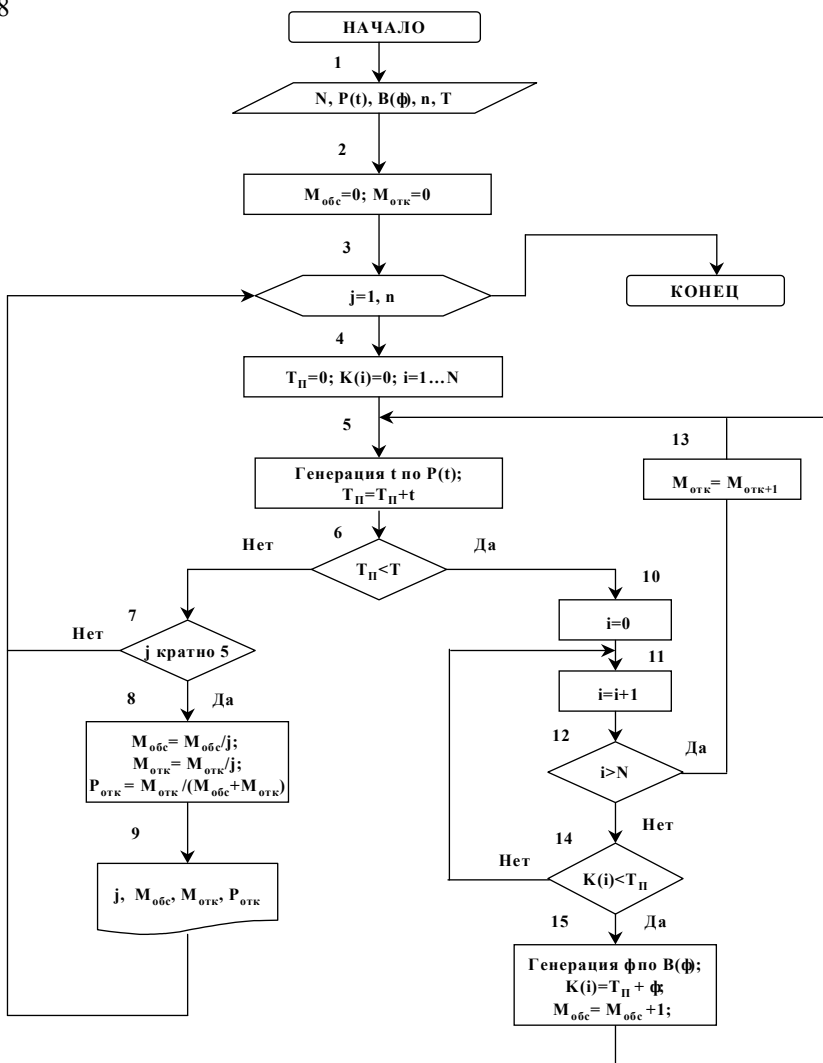


Рисунок 4.1 –Блок-схема алгоритма имитационного моделирования СМО с отказами

Библиографический список

1. Кирюхин В.В. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Математическое моделирование и вычислительная техника» для магистрантов технических специальностей: в 2 ч. / Сост. В.В. Кирюхин, Е.В. Козлова. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – Ч.1: Аналитическое моделирование. – 55с.
2. Советов Б.Я. Моделирование систем/ Б.Я. Советов, С.А. Яковлев – М.: Высш. шк., 1985. – 407с.
3. Прохоров Ю.В. Теория вероятностей/ Ю.В. Прохоров, Ю.А. Розанов. – М.: Наука, 1967. – 496с.
4. Справочник по теории вероятностей и математической статистике/ Под ред. В.С. Королюка. – К.: Наукова думка, 1987. – 528с.

Заказ № ____ от « ____ » _____ 2008 г. Тираж ____ экз.
Изд-во СевНТУ