

## Приложение 1

## ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ АББРЕВИАТУРЫ

АП	абсолютный приоритет
БМ	базовая модель
БП	бесприоритетное обслуживание
ВС	вычислительная система
ДБ	дисциплина буферизации
ДО	дисциплина обслуживания
ЗСВО	закон сохранения времени ожидания
ЗСВП	закон сохранения времени пребывания
ЗСеМО	замкнутая сеть массового обслуживания
ИМ	имитационная модель
ИММ	иерархическое многоуровневое моделирование
КВ	коэффициент вариации
МК СМО	многоканальная система массового обслуживания
ММО	модель массового обслуживания
МП	матрица приоритетов
ОК СМО	одноканальная система массового обслуживания
ОП	относительный приоритет
ОПП	обслуживание в порядке поступления
ООП	обслуживание в обратном порядке
ОР	обслуживание по расписанию
ОСП	обслуживание в случайном порядке
ОЦП	обслуживание в циклическом порядке
РСеМО	разомкнутая сеть массового обслуживания
СеМО	сеть массового обслуживания
СМО	система массового обслуживания
СП	смешанный приоритет
ЧП	чередующийся приоритет
СИМ	общецелевая система имитационного моделирования
СЧА	системные числовые атрибуты
СТС	список текущих событий
СБС	список будущих событий
СПП	списки повторных попыток
ЭВМ	электронная вычислительная машина
FIFO	First In First Out
GPSS	General Purpose Simulation System
LIFO	Last In First Out
PLUS	Programming Language Under Simulation
SNA	System Numerical Attributes

## Приложение 2

### ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$t_i$  –  $i$ -й момент времени

$\tau_f$  – интервал времени  $f$  ( $f \subset \{a, b, c, w, x, z, v, u\}$ )

$a$  – время между заявками во входящем потоке

$b$  – длительность обслуживания заявки

$c$  – время между заявками в выходящем потоке

$x$  – время ожидания начала обслуживания

$z$  – время ожидания в прерванном состоянии

$w$  – полное время ожидания:  $w=x+z$

$v$  – время нахождения заявки на обработке:  $v=z+b$

$u$  – время пребывания заявки в системе:  $u=w+b$

$F(\tau)$  – функция распределения случайной величины  $\tau_f$

$f(\tau)$  – плотность распределения случайной величины  $\tau_f$ :

$$f(\tau) = F'(\tau)$$

$F^*(s)$  – преобразование Лапласа плотности распределения  $f(\tau)$

$X^*(z)$  – производящая функция распределения  $p_k = P(X = k)$

$f^{(n)}$  –  $n$ -й начальный момент распределения  $F(\tau)$

$\hat{f}^{(n)}$  –  $n$ -й центральный момент распределения  $F(\tau)$

$f = M[\tau_f]$  – математическое ожидание случайной величины  $\tau_f$ :

$$f = M[\tau_f] = f^{(1)}$$

$D_f$  – дисперсия случайной величины  $\tau_f$ :  $D_f = \hat{f}^{(2)}$

$\sigma_f$  – среднее квадратическое отклонение случайной величины  $\tau_f$ :

$$\sigma_f = \sqrt{D_f}$$

$\nu_f$  – коэффициент вариации случайной величины  $\tau_f$ :  $\nu_f = \sigma_f / f$

$\nu_a$  – коэффициент вариации интервалов  $\tau_a$  во входящем потоке

$\nu_b$  – коэффициент вариации длительности обслуживания  $\tau_b$

$\nu_c$  – коэффициент вариации интервалов  $\tau_c$  в выходящем потоке

$\lambda$  – интенсивность потока заявок

$\lambda'$  – интенсивность потока обслуженных заявок

$\lambda''$  – интенсивность потока потерянных заявок

$\Lambda$  – суммарная интенсивность объединённого потока заявок

$\lambda_0$  – производительность замкнутой СеМО

$\pi_n$  – вероятность потери заявки

$\pi_0$  – вероятность обслуживания заявки

$l$  – средняя длина очереди заявок в СМО

- $L$  – суммарная длина очереди заявок в СеМО  
 $m$  – средняя число заявок в СМО  
 $M$  – суммарное число заявок в СеМО  
 $H$  – количество классов заявок  
 $n$  – число узлов в СеМО  
 $K$  – число обслуживающих приборов в СМО  
 $Q$  – матрица приоритетов:  $Q = [q_{ij} (i, j = \overline{1, H})]$   
 $q_{ij}$  – элемент матрицы приоритетов, принимающий значения: 0 – нет приоритета), 1 – приоритет относительный и 2 – приоритет абсолютный;  
 $r_g(i, k)$  – коэффициенты, позволяющие выделить классы заявок с одинаковым соотношением приоритетов  
 $\mu$  – интенсивность обслуживания:  $\mu = 1/b$   
 $\theta$  – средняя ресурсоемкость обслуживания заявки  
 $y$  – нагрузка:  $y = \lambda b$   
 $Y$  – суммарная нагрузка  
 $\rho$  – коэффициент загрузки (загрузка):  $\rho = \min(y/K; 1)$   
 $R$  – суммарная загрузка  
 $\alpha_j$  – коэффициент передачи  $j$ -го узла СеМО  
 $p_{ij}$  – вероятность передачи заявки из узла  $i$  в узел  $j$  СеМО  
 $q_{ij}$  – вероятность перехода марковского процесса с дискретным временем из состояния  $i$  в состояние  $j$   
 $g_{ij}$  – интенсивность перехода марковского процесса с непрерывным временем из состояния  $i$  в состояние  $j$   
 $\mathbf{Q} = [q_{ij} | i, j = \overline{1, n}]$  – матрица вероятностей перехода марковского случайного процесса с дискретным временем  
 $\mathbf{G} = [g_{ij} | i, j = \overline{1, n}]$  – матрица интенсивностей перехода марковского случайного процесса с непрерывным временем  
 $p_i(t)$  – вероятность того, что марковский случайный процесс в момент времени  $t$  находится в состоянии  $i$   
 $p_i(0)$  – начальная вероятность – вероятность того, что марковский случайный процесс в момент времени  $t = 0$  находится в состоянии  $i$   
 $\mathbf{P} = (p_1, \dots, p_n)$  – вектор стационарных вероятностей состояний  
 $S$  – стоимость

### Обозначения СМО в символике Кендалла:

**A/B/N/L** – обозначение СМО,

где:

**A** – закон распределения интервалов времени между моментами поступления заявок в систему;

**B** – закон распределения длительности обслуживания заявок в приборе;

**N** – число обслуживающих приборов в системе ( $N = 1, 2, \dots, \infty$ );

**L** – число мест в накопителе ( $L = 0, 1, 2, \dots$ ) (отсутствие **L** означает, что накопитель – неограниченной ёмкости).

Для задания законов распределений **A** и **B** используются следующие обозначения:

**G** (General) – произвольное распределение общего вида

**M** (Markovian) – экспоненциальное (показательное) распределение

**D** (Deterministik) – детерминированное распределение

**U** (Uniform) – равномерное распределение

**E<sub>k</sub>** (Erlangian) – распределение Эрланга  $k$ -го порядка (с  $k$  последовательными одинаковыми экспоненциальными фазами)

**h<sub>k</sub>** (hipoexponential) – гипоэкспоненциальное распределение  $k$ -го порядка (с  $k$  последовательными разными экспоненциальными фазами)

**H<sub>r</sub>** (Hyperexponential) – гиперэкспоненциальное распределение порядка  $r$  (с  $r$  параллельными экспоненциальными фазами)

**g** (gamma) – гамма-распределение

**P** (Pareto) – распределение Парето

## Приложение 3

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

Ниже представлен перечень вопросов, обсуждение которых можно найти в указанных разделах пособия.

#### Раздел 1:

1. Можно ли персональный компьютер рассматривать как систему, элементами которого являются системный блок и связанные с ним внешние устройства – монитор, принтер и сканер?

2. Насколько велико различие между «параметрами» и «характеристиками» системы? Могут ли характеристики быть параметрами и наоборот?

3. Являются ли синонимами термины «показатель эффективности» и «характеристика»?

4. Сколько критериев эффективности используется при синтезе оптимальной системы?

5. В литературе часто встречается такое понятие как «многокритериальная задача». Означает ли это, что задача оптимального синтеза может решаться с использованием сразу нескольких критериев эффективности?

6. Можно ли систему, работающую в неустановившемся режиме, исследовать методами, разработанными для установившегося режима?

7. Каким способом достигается разумный компромисс между простотой и адекватностью модели?

8. Каково значение параметризации модели в процессе исследования реальной системы?

9. Насколько необходим детальный анализ спроектированной системы?

10. Если, как сказано выше, статистические (имитационные) методы исследования сложных систем являются универсальными, то насколько актуально применение аналитических методов?

11. В некоторых литературных источниках вместо понятия «оптимальная система» используется понятие «рациональная система». Каково соотношение между этими двумя понятиями?

12. В чем различие между понятиями «синтез» и «проектирование»?

#### Раздел 3:

1. Почему математическая модель называется абстрактной?

2. Насколько предположение о простейшем характере потока заявок соответствует реальности?

3. Когда оправдано использование предположения о простейшем характере потока заявок?

4. Почему в СМО с накопителем неограниченной емкости, работающей без перегрузок, возникают очереди? В каких случаях они не возникают?

5. Что в реальной системе может служить основанием для того, чтобы в соответствующей математической модели заявки были разделены на разные классы?

#### **Раздел 5:**

1. Существуют ли реальные системы, в которых протекающие в них случайные процессы являются марковскими?

2. Когда случайный процесс с непрерывным временем не обладает эргодическим свойством?

3. Обладает ли эргодическим свойством случайный процесс с непрерывным временем, имеющий бесконечное число состояний?

#### **Раздел 6:**

1. Каково соотношение между терминами «имитационное» и «статистическое» моделирование? Эквивалентны ли эти термины?

2. Какими достоинствами обладает имитационное моделирование по сравнению с другими методами моделирования?

3. Имеют ли результаты имитационного моделирования методическую погрешность и, если да, то чему она равна и как её оценить?

4. Для чего и каким образом формируются предположения и допущения при разработке модели?

5. Если имитационное моделирование является универсальным инструментом исследования, то не значит ли это, что другие методы моделирования не нужны? Или же имитационное моделирование имеет какие-то недостатки?

### Список литературы

«При печатании книги в нее всегда вкрадывается несколько ошибок, которые никто не заметит» (*Закон публикаций Джоунса*)

1. Авен О.И., Гурин Н.Н., Коган Я.А. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем. – М.: Наука, 1982. – 464 с.
2. Алиев Т.И. Математические методы теории вычислительных систем. – Л.: ЛИТМО, 1979. – 92 с.
3. Алиев Т.И. Исследование методов диспетчеризации в цифровых управляющих системах. Уч. пособие. – Л.: ЛИТМО, 1986. – 82 с.
4. Бражник А.Н. Имитационное моделирование: Возможности GPSS World. – СПб.: Реноме, 2006. – 439 с.
5. Венцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1980. – 408 с.
6. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 192 с.: ил.
7. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.: ил.
8. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1979.
9. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
10. Липаев В.В., Колин К.К., Серебровский Л.А. Математическое обеспечение управляющих ЭВМ. – М.: Советское радио, 1972. – 528 с.
11. Основы теории вычислительных систем / С.А.Майоров, Г.И.Новиков, Т.И.Алиев, Э.И.Махарев, Б.Д.Тимченко. – М.: Высшая школа, 1978. – 408 с.
12. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2001 год. – 384 с.
13. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник для вузов. – 4-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2005. – 343 с.: ил.
14. Столингс В. Современные компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.: ил.
15. Феррари Д. Оценка производительности вычислительных систем. – М.: Мир, 1981.
16. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование: Пер. с англ./ Под ред. В.А.Жожикашвили. – М.: Радио и связь, 1981. – 336 с.: ил.
17. Шнепс М.А. Системы распределения информации. Методы расчета. – М.: Связь, 1979.
18. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980.