



**Некоммерческое
акционерное общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
ИМЕНИ ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА**

Кафедра
телекоммуникаций и
инновационных технологий

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Методические указания по выполнению расчетно - графических работ
для докторантов специальности 6D071900 – Радиотехника, электроника и
телекоммуникации

Алматы 2020

СОСТАВИТЕЛИ: К.Х. Туманбаева, Э.М. Лещинская. Научные основы моделирования в инфокоммуникационных системах. Методические указания по выполнению расчетно - графических работ для докторантов специальности 6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АУЭС, 2020. – 22 с.

В данную методическую разработку включены рекомендации и исходные данные для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Научные основы моделирования в инфокоммуникационных системах». Методические указания предназначены для докторантов специальности 6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Ил. –2, табл. –3, библиогр. – 12 назв.

Рецензент: к.п.н., доцент Саламатина А.М.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2020 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2020 г.

Введение

Согласно учебному плану расчетно-графическая работа является одним из видов учебных работ, а ее выполнение – одно из обязательных требований к организации образовательного процесса.

Предлагаемые методические указания дисциплины «Научные основы моделирования в инфокоммуникационных системах» предусматривают выполнение трех расчетно-графических работ: «Расчетно-графическая работа № 1. Анализ моделей входных потоков инфокоммуникационных систем», «Расчетно-графическая работа № 2. Моделирование процесса обслуживания в мультисервисной сети», «Расчетно-графическая работа № 3. Планирование эксперимента».

В каждой работе представлены два задания, цель работы и методические указания.

Номера вариантов определяются по порядковому номеру в списке журнала группы. Выполнение работ позволит приобрести навыки применения теоретических знаний, методов моделирования инфокоммуникационных систем и планирования экспериментов с имитационными моделями в задачах телекоммуникаций.

1 Задания к расчетно-графическим работам

1.1 Расчетно-графическая работа № 1. Анализ моделей входных потоков инфокоммуникационных систем

Задание 1. Представить анализ основных существующих моделей входных потоков инфокоммуникационных систем.

Задание 2. Разработать модель самоподобного входного потока, поступающего на сервер пакетной сети в любой специализированной системе имитационного моделирования.

Цель работы: освоить методы моделирования входных потоков (вызовов, пакетов) в современных телекоммуникационных сетях.

Исходные данные для своего варианта определить из таблицы 3.1.

1.2 Расчетно-графическая работа № 2. Моделирование процесса обслуживания в мультисервисной сети

Задание 1. Освоить методы моделирования процесса обслуживания мультисервисного трафика.

Задание 2. Провести расчет вероятности потерь в мультисервисной сети.

Цель работы: освоить методы моделирования процесса обслуживания мультисервисного трафика в сетях телекоммуникаций.

Исходные данные для своего варианта определить из таблицы 3.2.

1.3 Расчетно-графическая работа №3. Планирование экспериментов

Задание 1. Представить основные понятия, цели и задачи планирования экспериментов, раскрыть суть стратегического и тактического планирования экспериментов.

Задание 2. Реализовать отсеивающий эксперимент с имитационной моделью в среде GPSSWorld, проанализировать результаты моделирования, отметить значимые и незначимые факторы.

Цель работы: изучить основы теории планирования экспериментов, овладеть навыками проведения компьютерных экспериментов с имитационными моделями, используя специализированные средства.

Исходные данные для своего варианта определить из таблицы 3.3.

2 Методические указания

2.1 Расчетно-графическая работа № 1. Анализ моделей входных потоков телекоммуникационных систем

2.1.1 Методические указания к выполнению первого задания

Входными потоками в инфокоммуникационных системах могут быть потоки вызовов, поступающие на телефонную станцию от абонентов, потоки кадров в технологии Ethernet, потоки пакетов протокола IP. Основной характеристикой входного потока требований на обслуживание является его параметр (интенсивность) λ .

В теории телетрафика под *потоком вызовов* понимают множество последовательных моментов поступления вызовов [1].

Поток вызовов называется детерминированным, если эта последовательность моментов заранее предопределена. Если данная последовательность является случайной, то поток вызовов называется случайным.

Для задания случайных потоков используются вероятностные законы распределения следующих случайных величин: моментов поступления вызовов, длительности промежутков между вызовами и числа поступающих вызовов в промежутке $[0, t]$.

Случайные потоки вызовов классифицируются в зависимости от наличия или отсутствия следующих трех свойств: стационарности, последовательности и ординарности.

Стационарность означает, что с течением времени вероятностные характеристики потока не меняются, иначе говоря, для стационарного потока вероятность поступления i вызовов за промежуток времени t зависит только от длины этого промежутка и не зависит от расположения его на оси времени.

Ординарность означает невозможность группового поступления вызовов, то есть вероятность поступления двух и более вызовов за любой бесконечно малый промежуток есть величина бесконечно малая. В сетях связи потоки вызовов ординарны.

Последствие означает зависимость вероятностных характеристик вызовов от предыдущих событий.

Простейший поток вызовов.

Стационарный, ординарный поток без последствие называется простейшим.

Задаётся простейший поток семейством вероятностей $P_i(t)$ поступления i вызовов в промежутке t .

Вероятность $P_i(t)$ вычисляется по формуле:

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t},$$

где λ - параметр потока или число вызовов, поступающих в единицу времени.

Данная формула называется формулой Пуассона или распределением Пуассона.

Длительность промежутков между поступлениями вызовов в простейшем потоке распределена по экспоненциальному закону.

К классу простейших потоков относятся потоки вызовов от абонентов, поступающих на АТС, на базовые станции мобильной сети связи. В некоторых случаях поток пакетов в мультисервисных сетях также рассматривают как простейший [2].

При анализе входного потока в сетях пакетной коммутации таких, как Ethernet, Интернет, было выявлено, что они не являются простейшими [3]. Следовательно, их нельзя описывать распределением Пуассона, и длительность промежутков между поступлениями пакетов не распределяется по экспоненциальному закону. Доказано, что потоки в сетях с пакетной коммутацией обладают свойством самоподобия. При моделировании потоков в сетях с пакетной коммутацией рассматривается фрактальное броуновское движение [3].

В первом разряде символики Кендалла [1, 4] для краткого обозначения систем массового обслуживания (СМО) в случае простейшего потока используется символ М, в случае потока, обладающего свойством самоподобия, используется символ fBM. Например, одноканальная СМО с потерями, на которую поступает простейший поток, обозначается как М/М1/L, в случае поступления самоподобного потока символика выглядит как fBM/М/1/L. Символ М во второй позиции означает, что длительность промежутков между вызовами распределена по экспоненциальному закону.

При выполнении этого задания необходимо сделать краткий литературный обзор по данной теме.

2.1.2 Методические указания к выполнению второго задания.

При математическом моделировании самоподобных потоков используют различные законы распределений, такие как распределения Парето и Вейбулла, логнормальное и гамма распределения [3].

При формировании самоподобного потока используют метод, основанный на суперпозиции нескольких независимых и имеющих одинаковое распределение ON/OFF источников. Интервалы между ON и OFF периодами должны быть распределены с «длинным хвостом», что обеспечивает пачечность самоподобного трафика. В данном задании необходимо представить алгоритм реализуемого метода.

По мнению авторов [3,5] хорошие результаты дает применение в этом случае распределения Парето.

Плотность распределения Парето задается функцией:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x} \right)^{\alpha+2}, \quad (1.1)$$

где β – мода распределения, минимальное значение случайной величины x ;

α – параметр распределения, при $\alpha \leq 2$ дисперсия бесконечна.

Среднее значение случайной величины определяется из формулы:

$$m(x) = \frac{\alpha\beta}{\alpha - 1}. \quad (1.2)$$

Между параметром Хёрста H и параметром α существует связь в следующем виде:

$$H = \frac{3 - \alpha}{2}. \quad (1.3)$$

Для практического выявления свойств фрактальности предложен параметр Хёрста (Hurst). Параметр Хёрста (H) определяет степень самоподобия. Значение данного параметра H принадлежит интервалу $(0,1)$.

Если выполняется условие $H < 0.5$, то процесс не обладает свойством самоподобия, а если $H > 0.5$, то процесс самоподобный.

Проверка на самоподобность и оценка показателя Хёрста H являются сложной задачей. В реальных условиях всегда оперируют с конечными наборами данных, поэтому невозможно проверить, является или нет трафик самоподобным по определению. Следовательно, необходимо исследовать различные свойства самоподобности в реальном измеренном трафике. При этом возникают следующие проблемы:

1. Даже если подтверждаются свойства самоподобности, нельзя сразу делать вывод, что проанализированные данные имеют самоподобную структуру. Следует говорить о самоподобной структуре в заданном масштабном диапазоне для заданного набора данных.

2. Оценка показателя Хёрста зависит от многих факторов, таких как методика оценки, размер выборки, масштаб времени и т.д.

Для генерирования самоподобного потока заявок в СМО применяется метод Мандельброта [3]. Метод предполагает наличие ON/OFF источников. В каждом источнике периоды ON и OFF чередуются. Длительности этих периодов независимы и распределены по одному и тому же закону, в некоторых случаях распределение ON периодов и OFF периодов могут быть различны. Каждый источник генерирует пакеты в периоды ON, затем в каждый период времени все величины, генерируемые источниками, суммируются. Агрегированный поток пакетов будет обладать свойством самоподобия.

В данном задании необходимо разработать модель самоподобного входного потока. При моделировании ON и OFF периоды должны быть распределены по закону Парето. Модель может быть разработана в любой специализированной системе имитационного моделирования (GPSSWorld, MatLab, OPNET, ns3 и др.). Исходные данные представлены в таблице 3.1.

2.2 Расчетно-графическая работа № 2. Моделирование процесса обслуживания в мультисервисной сети

2.2.1 Методические указания к выполнению первого задания:

1. При передаче информации в мультисервисных сетях связи, использующих пакетные технологии, речь, данные и видеопотоки передаются по общим трактам. Скорость передачи отдельных видов информации

различна. В связи с этим для каждого из указанных потоков информации необходим определенный ресурс пропускной способности из общего ресурса пропускной способности, измеряемой в Кбит/с. При передаче речи необходима скорость передачи 64 Кбит/с, при обмене файлами - 1024 Кбит/с, для связи видео-конференции с кодеком H.263 - 320 Кбит/с [5].

2. Чтобы распределить общий ресурс скорости передачи между отдельными видами услуг, общий ресурс представляется некоторым количеством условных портов. Скорость передачи каждого порта равна минимальной скорости одной из услуг [5].

3. Допустим, что один условный порт имеет скорость передачи 64 Кбит/с. В зависимости от категории требования происходит одновременное занятие одного или нескольких портов, посредством которых осуществляется передача с заданной скоростью. Тогда в случае поступления требования по предоставлению услуги передачи речи одновременно происходит занятие одного порта, при передаче файлов будет занято 16 условных портов, при осуществлении видео конференц-связи – 5 портов.

Сущность модели не изменится, если масштаб скорости передачи порта будет другим. К примеру, скорость передачи условного порта может быть кратна скорости передачи одного (нескольких) пакетов передаваемой информации. При этом происходит изменение количества занимаемых условных портов, представляющих собой ячейку памяти накопления и передачи пакетов.

Когда поступает требование на предоставление определенных видов услуг, производится установление соединения между соответствующими потребителями услуг, и затем в рамках установленного соединения идет передача информационных пакетов с заданной для этой услуги скоростью. Для каждого требования необходимо установление одного соединения.

Поток требований на предоставление сервиса в рассматриваемой модели мультисервисного трафика отличается от потока занятия портов, так как эти потоки имеют различные свойства. В то время как поток требований на предоставление сервиса является ординарным, поток занятия портов неординарен, поскольку при обслуживании отдельных соединений происходит групповое занятие портов. В этой связи различают два понятия нагрузки: нагрузка по требованиям и нагрузка на порты.

Мгновенная интенсивность обслуженной нагрузки по требованиям в момент времени t для системы серверов равна $j(t)$, т.е. количеству одновременно обслуживаемых требований (соединений). Тогда как интенсивность обслуженной нагрузки на порты $i(t)$ определяется как число одновременно занятых портов в момент времени t . Поскольку одно требование может занимать сразу несколько портов, в общем случае $i(t) \neq j(t)$.

Точно также различается и входная нагрузка: по требованиям и на порты. Для нагрузки по требованиям мгновенная интенсивность в момент времени t является случайной величиной, равной числу требований,

обслуживаемых СМО в этот момент в системе с бесконечным числом одновременных соединений.

В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда для обслуживания каждого требования требуется одинаковое число m свободных портов. В этом случае обслуженная нагрузка на порты будет в m раз превышать нагрузку по требованиям: $i(t) = mj(t)$. При пуассоновском потоке требований с параметром λ математическое ожидание Λ_B и дисперсию D_B входной нагрузки можно определить, используя соотношение:

$$\Lambda_B = D_B = \lambda \bar{x},$$

где \bar{x} - средняя продолжительность обслуживания одного требования (соединения).

В системе количество занятых портов в m раз будет превышать количество обслуженных требований. Исходя из этого определяется интенсивность входной нагрузки на порты и ее дисперсия:

$$\Lambda_{\Pi} = m\Lambda_B = m\lambda\bar{x}, \quad D_{\Pi} = m^2 D_B = m^2 \lambda \bar{x}. \quad (2.1)$$

При выводе этих соотношений использованы свойства математического ожидания и дисперсии, известные из теории вероятностей: умножение случайной величины на постоянный коэффициент приводит к увеличению математического ожидания в число раз, равное значению этого коэффициента и увеличению дисперсии в число раз, равное значению коэффициента в квадрате. Из формул следует, что $D_{\Pi} > \Lambda_{\Pi}$ и нагрузка является скученной. Коэффициент скученности нагрузки S_{Π} определяет количество портов, которое необходимо для обслуживания одного требования:

$$S_{\Pi} = \frac{D_{\Pi}}{\Lambda_{\Pi}} = \frac{m^2 \lambda \bar{x}}{m\lambda\bar{x}} = m. \quad (2.2)$$

Если требования поступают от разных категорий источников, формулы (2.1) определяют математическое ожидание и дисперсию нагрузки на порты, создаваемые требованиями i -той категории ($i = 1, \dots, n$):

$$\Lambda_i = m_i \lambda_i \bar{x}_i, \quad D_i = m_i^2 \lambda_i \bar{x}_i.$$

После подстановки полученных соотношений в формулы (5.8) и (5.7), определим коэффициент скученности объединенной нагрузки на порты:

$$S_{\Pi} = \frac{\sum_{i=0}^n D_i}{\sum_{i=0}^n \Lambda_i} = \frac{\sum_{i=0}^n m_i^2 \lambda_i \bar{x}_i}{\sum_{i=0}^n m_i \lambda_i \bar{x}_i}. \quad (2.3)$$

Таким образом, коэффициент скученности мультисервисной нагрузки определяется как средневзвешенное количество портов m , которые требуются для обслуживания требований отдельных категорий, с весами $m_i \lambda_i \bar{x}_i$, равными интенсивности нагрузки на порты, которая создается требованиями этих категорий ($i=1, \dots, n$).

2.2.2 Методические указания к выполнению второго задания

Допустим, что полнодоступная система включает V портов. На вход системы поступает пуассоновский поток требований с интенсивностью λ . Для обслуживания каждого требования необходимо m портов одновременно ($m > 1$). Продолжительность занятия портов для обслуживания величина случайная со средним значением \bar{x} . По окончании обслуживания идет одновременное освобождение всех портов из группы. В том случае, когда при поступлении требования в системе нет необходимого количества свободных портов, происходит потеря требования [5].

Вследствие того, что поток занятия портов неординарный, расчет вероятности потерь требований π для исследуемой системы U , непосредственно с применением В-формулы Эрланга невозможен. Поэтому видоизменим систему и рассмотрим систему U^{\square} , которая состоит из $v = V / m$ комплектов, каждый из которых содержит m портов. В системе U^{\square} для каждого входного требования нужен один комплект, поэтому поток занятия будет ординарным. Нагрузка в системе U^{\square} определяется числом занятых комплектов, а не портов, то есть совпадает с нагрузкой по требованиям, является пуассоновской и имеет интенсивность $\Lambda_B = \lambda \bar{x}$. Для расчета вероятности потерь в системе U^{\square} применим В-формулу Эрланга:

$$\pi^{\square} = E_v(\Lambda_B) = \frac{\Lambda_B^v}{v! \sum_{i=0}^v \frac{\Lambda_B^i}{i!}}$$

Статистические характеристики процесса обслуживания требований у системы U такие же, как у системы U^{\square} . В том числе, равны между собой вероятности потерь: $\pi = \pi^{\square}$. Исходя из этого и опираясь на формулы (2.2) и (2.3), получаем:

$$\pi = E\left(\frac{v}{S_{\Pi}}\right) \left(\frac{\Lambda_{\Pi}}{S_{\Pi}}\right). \quad (2.4)$$

Таким образом, если мультисервисная нагрузка создается несколькими различными категориями источников и кратность требований m_i у них различна, входящие отдельные потоки могут быть заменены одним потоком, имеющим такие же значения статистических характеристик: математического ожидания Λ_{Π} и дисперсии D_{Π} нагрузки на порты. Известно, что непуассоновские потоки отличаются достаточно сложными статистическими

свойствами и требуют для полного описания дополнительных характеристик. Однако на практике делают допущение, что вероятность потери требований незначительно зависит от моментов распределения нагрузки высокого порядка и их не учитывают.

Пусть вероятность потерь требований в системе, состоящей из V портов, на которую поступает мультисервисная нагрузка с интенсивностью Λ_{Π} и коэффициентом сгущенности S_{Π} , равна π . Потери требований в любой другой системе с такими же $V, \Lambda_{\Pi}, S_{\Pi}$ будет примерно равны π .

После вычисления коэффициента сгущенности общего потока требований с использованием формулы (2.3) определим с помощью (2.4) вероятность потери любого требования. Это даст возможность приблизительно оценить средние (общие) потери.

Из-за того, что потеря требований происходит для источников нагрузки разных категорий при разных состояниях, наблюдается различие вероятностных характеристик качества обслуживания требований. Расчет вероятности потерь требований i -ой категории ($i=1, \dots, n$) можно вести по приближенной формуле:

$$\pi_i = \frac{m_i}{S_i} \pi.$$

Итак, при расчете потерь требований при поступлении мультисервисной непуассоновской нагрузки, исходная система заменяется эквивалентной ей системой, в которой для решения задачи может быть использована B - формула Эрланга. Сравнивая такой подход и имитационное моделирование, можно сделать вывод, что приближенные формулы обеспечивают необходимую точность при решении инженерных задач.

В научной литературе формула (2.4) известна как формула или аппроксимация Хейворда.

Пример расчета вероятности потерь

Пусть в систему, содержащую $V = 45$ портов поступают требования 2-х категорий ($n=2$).

Первый поток требований сервиса телефонии (1-я категория) имеет параметры: $\lambda_1 = 0,14$ требования за 1 с, $\bar{x}_1 = 100$ с, $m_1 = 1$.

Второй поток сервиса видео-телефонии (2-я категория) имеет параметры $\lambda_2 = 0,05$ требования за 1 с, $\bar{x}_2 = 56$ с, $m_2 = 5$.

Необходимо рассчитать общие и индивидуальные потери требований.

Решение задачи.

Определим общую интенсивность нагрузки на порты, формируемые требованиями от источников двух категорий:

$$\Lambda_{\Pi} = m_1 \lambda_1 \bar{x}_1 + m_2 \lambda_2 \bar{x}_2 = 1 \cdot 0,14 \cdot 100 + 5 \cdot 0,05 \cdot 56 = 28 \text{ (Эрл)}.$$

Рассчитаем дисперсию нагрузки на порты от источников двух категорий:

$$D_{\Pi} = m_1^2 \lambda_1 \bar{x}_1 + m_2^2 \lambda_2 \bar{x}_2 = 1^2 + 0,14 \cdot 100 + 5^2 \cdot 0,05 \cdot 56 = 84.$$

Найдем коэффициент скученности нагрузки:

$$S_{\Pi} = \frac{D_{\Pi}}{\Lambda_{\Pi}} = 84/28 = 3.$$

Используя формулу Хэйворда и таблицы В-формулы Эрланга, определим среднюю вероятность потерь для объединенного входного потока требований:

$$\pi = E\left(\frac{V}{S_{\Pi}}\right) \left(\frac{\Lambda_{\Pi}}{S_{\Pi}}\right) = E\left(\frac{45}{3}\right) \left(\frac{28}{3}\right) = E_{15}(9,33) = 0,027.$$

Рассчитаем индивидуальные вероятности потерь для требований каждой категории:

$$\pi_1 = (m_1 / S_{\Pi}) \cdot \pi = (1/3) \cdot 0,027 = 0,009,$$

$$\pi_2 = (m_2 / S_{\Pi}) \cdot \pi = (5/3) \cdot 0,027 = 0,045.$$

В результате выполненных расчетов определено качество работы системы с пропускной способностью $45 \cdot 64$ Кбит/с = 2,88 Мбит/с, с которым она обслуживает нагрузку двух категорий сервисов: телефонии и видеотелефонии.

Исходные данные для выполнения задания представлены в таблице 3.2.

2.3 Расчетно-графическая работа № 3. Планирование экспериментов

2.3.1 Методические указания к выполнению первого задания

Имитационные модели разрабатываются для проведения экспериментов, необходимых для исследования объекта. Для успешного исследования необходимо разработать план эксперимента над имитационной моделью, правильно обработать и интерпретировать результаты моделирования. Теория планирования экспериментов посвящена реализации таких задач.

Планирование экспериментов – раздел математической статистики, изучающий рациональную организацию измерений, подверженных случайным ошибкам [6,7].

Рассмотрим основные понятия и термины теории.

Теория исходит из абстрактной схемы сложной системы, называемой «черным ящиком» (рисунок 1). Считается, что исследователь может наблюдать входы и выходы «черного ящика» (имитационной модели) и по результатам наблюдений определять зависимость между входами и выходами.

Эксперимент на имитационной модели будем рассматривать состоящим из наблюдений, а каждое наблюдение — из прогонов модели.

Входные переменные x_1, x_2, \dots, x_T называются факторами. Выходная переменная называется наблюдаемой переменной (реакцией, откликом).

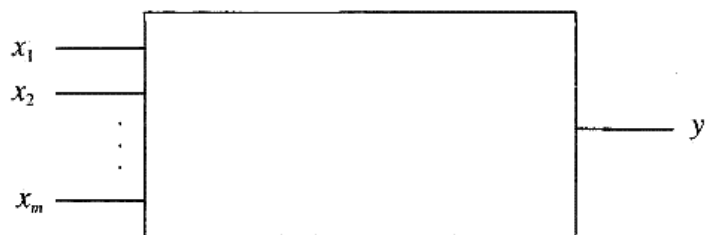


Рисунок 1 - Абстрактная схема системы

Факторное пространство — это множество факторов, значения которых исследователь может контролировать в ходе подготовки и проведения модельного эксперимента.

Каждый фактор имеет уровни. Уровни — это значения, которые устанавливаются для каждого фактора при определении условий прогона модели в наблюдении.

Целью эксперимента является нахождение функции y , при этом предполагается, что значение отклика складывается из двух составляющих

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) + e(x_1, x_2, \dots, x_T), \dots$$

где $f(x_1, x_2, \dots, x_T)$ — функция отклика (неслучайная функция факторов);

$e(x_1, x_2, \dots, x_T)$ — ошибка эксперимента (случайная величина);

x_1, x_2, \dots, x_T — определенное сочетание уровней факторов из факторного пространства.

Очевидно, что y является случайной переменной, так как зависит от случайной величины $e(x_1, x_2, \dots, x_T)$. Дисперсия $D[y]$, которая характеризует точность измерений, равна дисперсии ошибки опыта: $D[y] = D[e]$.

Функции отклика находят по данным эксперимента и представляют в виде степенного многочлена первого, второго порядка. В редких случаях функция отклика представляет собой многочлен третьего порядка.

В условиях эксперимента факторы могут варьировать, благодаря чему можно исследовать влияние фактора на наблюдаемую переменную. Если влияние некоторого фактора на наблюдаемую переменную изменяется при изменении уровня некоторого другого фактора, говорят, что между факторами существует взаимодействие.

Суть анализа заключается в разложении общей вариации случайной величины на независимые слагаемые — эффекты, каждый из которых характеризует влияние того или иного фактора (главный эффект) или их взаимодействия (эффект взаимодействия).

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом (ПФЭ).

Если число уровней для всех факторов одинаково, то $S = k^m$. Каждому сочетанию уровней факторов соответствует одно наблюдение.

Недостаток ПФЭ — большие затраты на подготовку и проведение, так как с увеличением числа факторов и их уровней число наблюдений в эксперименте растет. Например, если имеется шесть факторов с двумя уровнями каждый, то даже при одном прогоне модели в каждом наблюдении нужно $S = 2^6 = 64$ наблюдения. Очевидно, что каждый прогон удваивает это число, следовательно, увеличивает затраты машинного времени.

На практике бывает необходимо исследовать влияние на наблюдаемую переменную, например, десяти факторов ($t = 10$), каждый из которых имеет четыре уровня ($k = 4$). В этом случае $S = k^t = 4^{10} = 1\,048\,576$.

Такого рода задачи и явились одной из причин возникновения теории планирования экспериментов.

Планом эксперимента называется совокупность значений факторов, при которых находятся значения оценок функции отклика, удовлетворяющих некоторому критерию оптимальности, например, точности.

Различают стратегическое планирование эксперимента и тактическое планирование эксперимента.

В данном задании представить основные положения стратегического и тактического планирования экспериментов, способы построения планов эксперимента.

2.3.2 Методические указания к выполнению второго задания

Система имитационного моделирования GPSSWorld [6, 7, 8] имеет средства, которые позволяют провести эксперименты с имитационной моделью, а именно осуществить:

- дисперсионный анализ;
- регрессионный анализ;
- собственный эксперимент пользователя.

Дисперсионный анализ – метод, позволяющий установить зависимости между полученными экспериментальными данными путем установления значимости различий в средних значениях. Метод также называется ANOVA (Analysis of Variance).

В GPSSWorld есть встроенная процедура ANOVA, которая выполняет дисперсионный анализ и устанавливает значимость факторов. Процедура ANOVA анализирует от 1 до 6 факторов [6]. При выполнении дисперсионного анализа необходимо осуществить несколько прогонов модели. При этом число прогонов зависит от задаваемой точности. В результате эксперимента процедура создает стандартную таблицу ANOVA, в которой отражается вся необходимая информация.

Система обеспечивает два вида автоматически проводимых экспериментов: разработанные для пользователя и разработанные

пользователем. В этом случае не предполагается повторных прогонов, результаты эксперимента получаются за один длительный прогон.

В задании рассматривается первый вид, а именно отсеивающий эксперимент в GPSSWorld. Отсеивающий эксперимент используется для определения факторов, существенно влияющих на систему, что позволяет определить какие факторы менее значительны для рассмотрения. Очень важно правильно выбрать значения факторов при проведении экспериментов.

В данном задании необходимо провести отсеивающий эксперимент с имитационной моделью [6] следующей системы.

Система состоит из двухпроцессорного сервера и трех компьютеров.

Сервер обслуживает три компьютера в следующем порядке. Первый компьютер имеет абсолютный приоритет по отношению к остальным, второй имеет более высокий приоритет по отношению к третьему. От первого компьютера заявки на обслуживание поступают в промежутке $[t_1, t_2]$, длительность промежутков между заявками распределена по равномерному закону. Длительность промежутков между заявками, поступающими от второго и третьего компьютера, распределена по экспоненциальному закону с параметрами t_3 и t_4 соответственно. На обслуживание заявки от первого компьютера любой процессор затрачивает время, экспоненциально распределенное с параметром t_5 , от второго компьютера – t_6 , от третьего - t_7 . Сервер имеет накопитель емкостью L заявок. Длительность интервалов между отказами распределена по экспоненциальному закону с параметром t_8 . Длительность восстановления распределена по нормальному закону с параметрами t_9 и t_{10} . Если заявки получают отказ в обслуживании или обслуживание прервано, то заявка теряется.

Имитационная модель данной системы представлена ниже. С данной моделью необходимо провести отсеивающий эксперимент в системе GPSSWorld.

В течение двух часов функционирования сервера необходимо установить зависимость вероятности потерь заявок от емкости накопителя L , времени обслуживания, интервалов времени выхода из строя и времени восстановления процессоров. Провести дисперсионный анализ результатов моделирования.

Имитационная модель системы:

VrModEQU 3600

L_ EQU 1

T1_ EQU 11

T2_ EQU 3

T3_ EQU 10

T4_ EQU 12

T5_ EQU 5

T6_ EQU 7

T7_ EQU 9

T8_ EQU 10000

T9_ EQU 15

T10_ EQU 2

```

KoefEQU 1
VerVARIABLE N$Term1/N$Met0
  GENERATE T1_,T2_,2
  ASSIGN 1,1
  ASSIGN 2,(Exponential(11,0,T5_))
  TRANSFER,Met0
  GENERATE(Exponential(2,0,T3_)),,,1
  ASSIGN 1,2
  ASSIGN 2,(Exponential(13,0,T6_))
  TRANSFER,Met0
  GENERATE(Exponential(2,0,T4_))
  ASSIGN 1,3
  ASSIGN 2,(Exponential(15,0,T7_))
Met0      TEST E          P1,1,Met5
  GATE FV Cpu1,Term1
  GATE NU Cpu1,Met1
Met3      PREEMPT        Cpu1,PR
  ADVANCE P2
  RETURN Cpu1
  UNLINK Nak,Met3,1
  TERMINATE
Met1      GATE FV        Cpu2,TERM1
  GATE NU Cpu2,Met2
Met4      PREEMPT        Cpu2,PR
  ADVANCE P2
  RETURN Cpu2
  UNLINK Nak,Met4,1
  TERMINATE
Met5      GATE FV        Cpu1,Term1
  GATE NU Cpu1,Met6
Met7      SEIZE          Cpu1
  ADVANCE P2
  RELEASE Cpu1
  UNLINK Nak,Met7,1
  TERMINATE
Met6      GATE FV        Cpu2,TERM1
  GATE NU Cpu2,Met2
Met8      SEIZE          Cpu2
  ADVANCE P2
  RELEASE Cpu2
  UNLINK Nak,Met8,1
  TERMINATE
Met2      TEST L        CH$Nak,L_,Term1
  LINK Nak,P1
Term1     TERMINATE
  GENERATE,,1
Met10     ADVANCE        (Exponential(13,0,T8_))
  FUNAVAIL Cpu1,RE,Term1,,RE,Term1,RE,Term1
  ADVANCE (Normal(4,T9_#Koef,T10_#Koef))
  FAVAIL Cpu1
  TRANSFER,Met10

```



```

GENERATE,,,1
Met9      ADVANCE      (Exponential(13,0,T8_))
          FUNAVAILCpu2,RE,Term1,,RE,Term1,RE,Term1
ADVANCE (Normal(4,T9_#Koef,T10_#Koef))
          FAVAIL   Cpu2
          TRANSFER,Met9
          GENERATEVrMod
          SAVEVALUEVer,V$Ver
          TERMINATE      1

```

Для решения поставленной задач необходимо выполнить следующие действия.

Загрузить программу в GPSSWorld. В главном меню программы набрать *Edit/InsertExperiment/Screening*, в результате чего появится диалоговое окно *ScreeningExperimentGenerator* (рис.2).

В поля Experiment Name и Run Procedure Name введите, Server_DisExp и Server_DisExpRun соответственно.

В окне также представлена группа полей Factors (рис. 2).

Здесь нужно ввести факторы, влияние которых на вероятность потери заявки мы исследуем. Обозначим их как:

L_ - емкость накопителя;

TS_ - среднее время обслуживания заявки от первого компьютера;

T6_ - среднее время обслуживания заявки от второго компьютера;

T7_ - среднее время обслуживания заявки от третьего компьютера;

Koef – коэффициент изменения среднего времени восстановления T9_ и среднеквадратического отклонения T10_ времени восстановления.

Для каждого фактора необходимо выбрать два уровня – нижний и верхний. Рекомендуется выбирать уровни, значительно отстоящие друг от друга. Это необходимо для получения также значительно отличающихся откликов.

Мы выбрали пять факторов. Нужно ввести их, начиная с фактора А.

Введите ранее выбранные факторы, начиная с фактора А. поле Name введите имя фактора, в поля Value1 и Value2 - его нижний и верхний уровни соответственно. После ввода всех факторов для дальнейшей работы будем иметь факторы А, В, С, D и Е.

Значения Value1 и Value2 даны в таблице 3.3 для каждого варианта.

В диалоговом окне ниже идет группа Fraction. Эксперимент, проводимый в GPSS World, может быть полным факторным экспериментом (ПФЭ) или дробным факторным экспериментом (ДФЭ).

Группа Fraction позволяет выбрать тип факторного эксперимента, программа автоматически проводит стратегическое планирование эксперимента, определяет количество наблюдений и сочетание уровней факторов в них.

Для установки ПФЭ необходимо выбрать Full, Выберите Eighth (1/8).

Справа под RunCount появится число 16. Это количество наблюдений, которое нужно сделать.

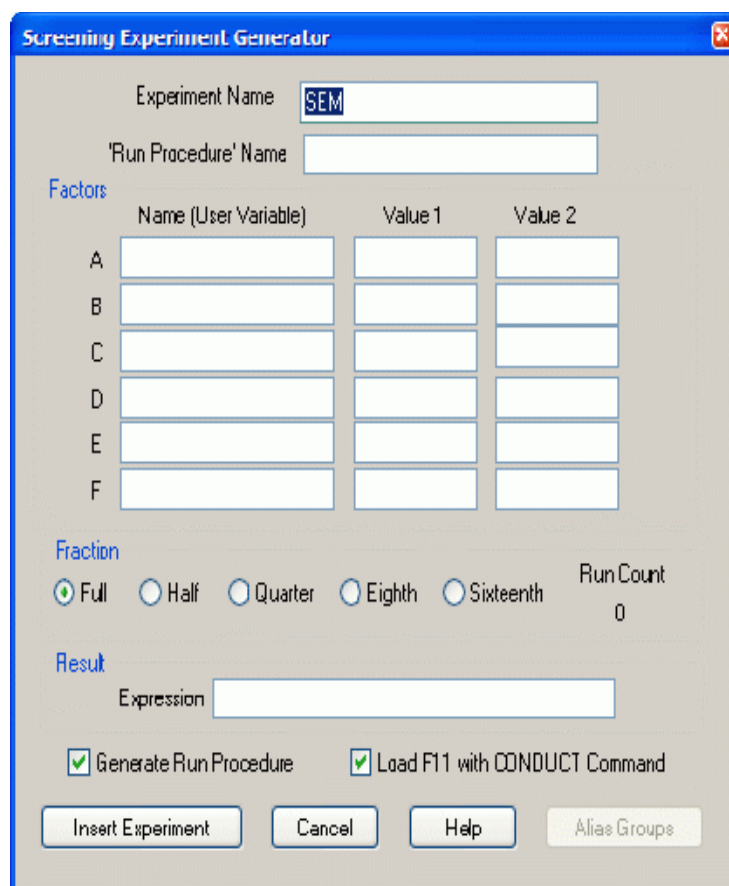


Рисунок 2 – Диалоговое окно Screening Experiment Generator

В поле Expression наберите $N\$Term1/N\$Met0$, в программе по этому выражению вычисляется вероятность потери поступившей заявки.

После группе вместе с экспериментом создается стандартная процедура запуска, которую пользователь может корректировать согласно своим требованиям.

Выбор второй опции Load F11 with CONDUCT Command закрепляет команду CONDUCT за функциональной клавишей F11. Тогда после создания объекта "Процесс моделирования" для запуска эксперимента нужно только нажать функциональную клавишу F11. Выберите обе опции.

Первое диалоговое окно заполнено. Для дальнейших действий ознакомьтесь со всеми правилами проведения отсеивающего эксперимента в GPSS World.

Для своего варианта необходимо получить результаты дисперсионного анализа в виде таблицы. Необходимо сделать выводы и анализ полученных данных, указать какие факторы являются значимыми и какой фактор оказывает наибольшее влияние на вероятность потери заявки, поступившей на обслуживание.

3 Варианты заданий

3.1 Исходные данные к РГР №1

Исходные данные для задания 2 представлены в таблице 3.1 Здесь n – число ON/OFF источников, α – параметр распределения Парето., N – номер варианта. Длину пакета можно брать произвольной, но постоянной для всего потока.

Таблица 3.1 – Исходные данные для первой работы

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
α	1,64	1,60	1,56	1,52	1,48	1,44	1,40	1,36	1,32	1,28

3.2 Исходные данные к РГР № 2

Таблица 3.2 – Исходные данные для второй работы

№ варианта	V	λ_1	λ_2	m1	m2	x1	x2
1	30	0.2	0.1	1	4	1	1
2	32	0.1	0.2	1	3	1	2
3	34	0.3	0.2	2	2	2	1
4	32	0.1	0.3	3	1	2	2
5	36	0.1	0.2	1	3	1	2
6	30	0.3	0.2	2	2	2	1
7	32	0.2	0.2	4	1	1	1
8	34	0.3	0.1	1	3	1	2
9	32	0.1	0.2	1	3	1	1
10	36	0.2	0.1	1	4	1	2

3.3 Исходные данные к РГР № 3

Таблица 3.3 – Исходные данные к третьей работе

№ вар.		L	T5	T6	T7	Koef
1	Value 1	1	3	3	4	0.5
	Value 2	5	15	20	18	2
2	Value 1	2	4	3	5	0.6
	Value 2	6	12	18	19	2
3	Value 1	1	3	3	4	0.5
	Value 2	6	12	18	19	2
4	Value 1	2	4	3	5	0.7
	Value 2	5	13	17	16	2.1
5	Value 1	1	3	4	6	0.8
	Value 2	6	14	19	17	2.2

Продолжение таблицы 3.3

6	Value 1	1	3	3	4	0.5
	Value 2	6	12	18	19	2
7	Value 1	1	2	3	4	0.5
	Value 2	6	14	22	18	2.1
8	Value 1	2	4	3	5	0.7
	Value 2	6	12	18	19	2
9	Value 1	1	3	3	4	0.5
	Value 2	6	14	19	17	2.2
10	Value 1	1	4	5	6	0.5
	Value 2	6	12	15	17	2

Список литературы

1. Васильев К.К., Служивый М.Н. Математическое моделирование инфокоммуникационных систем: учебное пособие. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 168 с.
2. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепция, модели, приложения: – М.: Горячая линия – Телеком, 2015.
3. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: Эко-Трендз, 2010.
4. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем: учебное пособие. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011.
5. Вилли Б. Иверсен. Разработка телетрафика и планирование сетей: учебное пособие / Пер. с англ. под ред. А.Н. Берлина. – М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ»: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
6. Сосновиков Г.К., Воробейчиков Л.А. Компьютерное моделирование. Практикум по имитационному моделированию в среде GPSSWorld: учебное пособие. – М.: Форум, 2015.
7. Горгадзе С.Ф., Бокк Г.О. Планирование и обработка результатов эксперимента в радиотехнике и инфокоммуникационных системах: – М.: Горячая линия-Телеком, 2019.
8. Mohammad S.Obaidat, Petros Nicopolitidis and Faoz Zarai. Modeling and Simulation of Computer Networks and Systems. URL: <https://www.amazon.com/Modeling-Tools-Network-Simulation-Wehrle/dp/3642123309> (дата обращения: 20.10.2020).
9. Jiji Antony. Design of Experiments for Engineering and Scientists. URL: <https://www.amazon.com/Design-Experiments-Engineers-Scientists-Antony/dp/0750647094> (дата обращения: 20.10.2020).
10. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSSWorld: учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
11. Туманбаева К.Х. Моделирование систем телекоммуникаций: учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2007.
12. Лещинская Э.М., Калиева С.А. Применение пакета GPSS при моделировании систем телекоммуникаций: учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2010.

Содержание

Введение	3
1 Задания к расчетно – графическим работам	4
1.1. Расчетно-графическая работа № 1 Анализ моделей входных потоков инфокоммуникационных систем.....	4
1.2 Расчетно-графическая работа № 2 Моделирование процесса обслуживания в мультисервисной сети.....	4
1.3 Расчетно-графическая работа № 3 Планирование экспериментов.....	4
2 Методические указания	4
2.1 Расчетно-графическая работа № 1 Анализ моделей входных потоков инфокоммуникационных систем.....	4
2.2 Расчетно-графическая работа № 2 Моделирование процесса обслуживания в мультисервисной сети.....	7
2.3 Расчетно-графическая работа № 3 Планирование экспериментов.....	12
3 Варианты заданий.....	19
3.1 Исходные данные к РГР № 1	19
3.2 Исходные данные к РГР № 2.....	19
3.3 Исходные данные к РГР № 3	19
Список литературы.....	21

Кумысай Хасеновна Туманбаева
Элеонора Мироновна Лещинская

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Методические указания по выполнению расчетно - графических работ
для докторантов специальности 6D071900 – Радиотехника, электроника
и телекоммуникации

Редактор: Нурмаханова М.К.
Специалист по стандартизации: Данько Е.Т.

Подписано в печать ___
Тираж 30 экз.
Объем 1,5 уч.-изд.л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типограф. №
Заказ ___ Цена 750 тенге

Копировально - множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи
имени Гумарбека Даукеева»
050013, Алматы, Байтурсынова,126/1