

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

Кафедра автоматизации обработки информации

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой АОИ
_____ Ю.П. Ехлаков
« ___ » _____ 2015 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ
Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления 231000.62
«Программная инженерия»
Часть 2

Разработчик:
к.т.н., доцент каф. АОИ
_____ Н.Ю. Салмина

2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Практическое занятие 1. Планирование эксперимента первого порядка.	4
2. Практическое занятие 2 Планирование эксперимента второго порядка	9
3. Практическое занятие 3 Анализ результатов эксперимента....	10
4. Практическое занятие 4 Моделирование сети систем массового обслуживания	12
5. Практическое занятие 5. Расчет характеристик сети СМО и проверка адекватности	23
6. Рекомендуемая литература.	29

ВВЕДЕНИЕ

Цель дисциплины – ознакомление студентов с основными этапами построения моделей на ЭВМ, вопросами статистического моделирования и планирования эксперимента; формирование у студентов профессиональных знаний и практических навыков по разработке и созданию имитационных моделей с помощью языков моделирования с целью исследования сложных систем.

Связь дисциплины с другими учебными дисциплинами. Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: "Теория вероятностей и математическая статистика", "Информатика", "Программирование".

Изучение дисциплины рассчитано на один семестр и включает в себя: теоретический раздел (изучение теоретического материала); практический раздел (выполнение лабораторных и контрольных работ); итоговый контроль результата изучения дисциплины. Данное пособие содержит в себе методические указания и варианты заданий для лабораторных работ. В качестве итогового контроля изучения дисциплины является Экзамен.

Для допуска к сдаче экзамена необходимо выполнить все практические задания. Студент может получить оценку по экзамену автоматом (хорошо или отлично) в случае, если он набирает необходимое количество баллов по рейтингу. В случае, если студент не набирает необходимое количество баллов по рейтингу, экзамен сдается при наличии допуска.

Подробное положение о рейтинге находится в рабочей программе дисциплины, а также расположено на кафедральном учебном сервере.

1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПЕРВОГО ПОРЯДКА.

Цель работы.

Целью данной работы является изучение особенностей построения планов первого порядка, получения навыков проведения эксперимента, а также обработки и анализа полученных результатов.

Методические указания.

Рассматривается многоканальная марковская СМО. В каждом варианте заданы интервалы возможных изменений ее характеристик.

В предположении о линейной зависимости между откликом и факторами построить план эксперимента в соответствии с вариантом задания.

Для проведения эксперимента построить модель многоканальной СМО на GPSS. Помните, что в Марковских СМО время прихода заявок в систему и время обслуживания подчиняются экспоненциальному закону распределения. Если в вашем варианте количество каналов не является исследуемым фактором, то для проведения эксперимента возьмите постоянное количество каналов из интервала, предложенного в варианте (для обеспечения стационарности системы). Время моделирования необходимо выбирать достаточно большое для обеспечения стохастической сходимости результатов эксперимента.

Перед проведением эксперимента необходимо определить необходимое количество повторений эксперимента в зависимости от требуемой точности. Для этого необходимо провести следующие вычисления: пусть мы хотим построить такую оценку X истинного среднего значения m совокупности, что

$$P\{m - d \leq X \leq m + d\} = 1 - \alpha,$$

где X – выборочное среднее,

$1 - \alpha$ – вероятность того, что интервал $m \pm d$ содержит X .

Тогда необходимый объем выборки определяется по формуле

$$N = (\sigma \cdot Z_{\alpha/2})^2 / d^2,$$

где $Z_{\alpha/2}$ – двусторонняя стандартная нормальная статистика (допустимая величина риска),
 d – допустимая разность между оценкой и истинным значением параметра,
 σ – величина изменчивости совокупности (необходимо либо знать, либо выявить в результате эксперимента).

Если это возможно, следует определить дисперсию выхода с помощью пробного эксперимента и получить оценку S^2 дисперсии, а затем вычислить полное число необходимых наблюдений. Тогда

$$N = t^2 \cdot S^2 / d^2,$$

где t – табулированная величина для заданного доверительного интервала и числа степеней свободы начальной выборки, d – половина ширины доверительного интервала.

После проведения эксперимента рассчитать значения коэффициентов регрессионного уравнения первого порядка. Коэффициенты рассчитываются по следующим формулам:

$$\forall i = \overline{0, k} \quad b_i = \sum_j x_{ji} \cdot \bar{y}_j / N$$

где i – номер фактора,

j – номер опыта,

k – количество факторов,

N – количество опытов в эксперименте,

x_{ji} – нормализованное значение i -го фактора в j -м опыте,

\bar{y}_j – среднее значение отклика в j -м опыте (по количеству повторений эксперимента).

Проверить адекватность модели по следующим показателям:

1) сравнив дисперсию адекватности и выборочную дисперсию по критерию Фишера;

2) проверив модель на линейность путем сравнения свободного коэффициента и среднего значения отклика в центре эксперимента по критерию Стьюдента.

После проверки модели на адекватность, независимо от результатов проверки, необходимо определить значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента.

По результатам всех проверок необходимо сделать выводы о возможности дальнейшего использования полученной модели, а также дать рекомендации последующих действий: все ли факторы значимы, линейна ли зависимость между факторами и откликом, есть ли необходимость построения планов второго порядка и т.д.

Задание на моделирование.

1. Построить план первого порядка в соответствии с вариантом задания.
2. Определить необходимое количество повторений эксперимента в зависимости от требуемой точности.
3. Построить модель многоканальной Марковской СМО на языке моделирования GPSS.
4. Провести эксперимент.
5. Рассчитать значения коэффициентов регрессии уравнения первого порядка.
6. Проверить модель на адекватность.
7. Проверить модель на линейность (для этого необходимо провести дополнительный опыт в центре эксперимента).
8. Проверить значимость коэффициентов.

Варианты заданий.**Планы экспериментов**

N ва- ри- анта	Тип план а	Входные переменные			Выходные переменные		
		Время при- хода	Время обслу- жив-я	кол- во кана- лов	ср. время в оче- реди	ср. длина оче- реди	коэф. за- грузки
1	ПФЭ	+	+		+		
2	ДФЭ	+	+	+		+	
3	ДФЭ	+	+	+			+
4	ДФЭ	+	+	+	+		
5	ПФЭ	+	+			+	
6	ПФЭ	+	+				+
7	ПФЭ	+	+		+		
8	ДФЭ	+	+	+		+	
9	ДФЭ	+	+	+			+
10	ДФЭ	+	+	+	+		
11	ПФЭ	+	+			+	
12	ПФЭ	+	+				+
13	ПФЭ	+	+		+		
14	ДФЭ	+	+	+	+		
15	ДФЭ	+	+	+			+
16	ДФЭ	+	+	+		+	
17	ПФЭ	+	+			+	
18	ПФЭ	+	+				+
19	ПФЭ	+	+		+		
20	ДФЭ	+	+	+		+	
21	ДФЭ	+	+	+			+
22	ДФЭ	+	+	+	+		
23	ПФЭ	+	+			+	
24	ПФЭ	+	+				+

Требуемая точность

№ варианта	d
1,6,5,7,10,12,20-22	$\sigma/2$
2,4,3,8,14,15	$2\sigma/3$
9,11,13,17-19	$3\sigma/5$
23,24,16	$3\sigma/5$

Значения факторов

№ варианта	Значение уровня	Время прихода	Время обслужив-я	Количество каналов
1-3	-1	100	560	6
	+1	110	580	8
4-6	-1	50	350	8
	+1	60	380	10
7-8	-1	65	450	8
	+1	75	500	12
9-10	-1	30	200	9
	+1	40	240	11
11-12	-1	10	40	5
	+1	12	48	5
13-16	-1	30	200	9
	+1	50	260	11
17-19	-1	100	560	6
	+1	110	580	8
20-22	-1	60	350	8
	+1	70	400	10
23-24	-1	65	440	8
	+1	75	480	12

2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ВТОРОГО ПОРЯДКА.

Цель работы.

Целью данной работы является изучение особенностей построения планов второго порядка, получения навыков проведения эксперимента, а также обработки и анализа полученных результатов.

Методические указания.

В качестве исходных данных берутся результаты, полученные на предыдущем практическом занятии.

Для проведения эксперимента построить модель многоканальной СМО на GPSS. Помните, что в Марковских СМО время прихода заявок в систему и время обслуживания подчиняются экспоненциальному закону распределения. Если в вашем варианте количество каналов не является исследуемым фактором, то для проведения эксперимента возьмите постоянное количество каналов из интервала, предложенного в варианте (для обеспечения стационарности системы). Время моделирования необходимо выбирать достаточно большое для обеспечения стохастической сходимости результатов эксперимента.

Построить план второго порядка с обеспечением ортогонального планирования.

Внимание! Для целочисленных факторов невозможно преобразовать коэффициенты для обеспечения ортогональности! Значения факторов в плане и при проведении эксперимента должны совпадать! В таком случае ортогональность обеспечивается только по тем факторам, по которым это возможно.

Провести эксперимент.

После проведения эксперимента рассчитать значения коэффициентов регрессионного уравнения второго порядка.

Проверить адекватность модели по следующим показателям:

1) сравнив дисперсию адекватности и выборочную дисперсию по критерию Фишера;

2) определив значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента.

По результатам всех проверок необходимо сделать выводы о возможности дальнейшего использования полученной модели, а также дать рекомендации последующих действий: все ли факторы значимы, адекватна ли модель и т.д.

Задание на моделирование.

1. Построить план второго порядка в соответствии с вариантом задания.
2. Определить необходимое количество повторений эксперимента в зависимости от требуемой точности.
3. Провести эксперимент.
4. Рассчитать значения коэффициентов регрессии уравнения второго порядка.
5. Проверить модель на адекватность.
6. Проверить значимость коэффициентов.

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

Цель работы.

Целью данной работы является получения навыков проведения анализа результатов проведения эксперимента первого и второго порядка, а также обработки и анализа полученных результатов.

Методические указания.

По результатам первых двух практических занятий необходимо сделать выводы о возможности дальнейшего использования полученной модели, а также дать рекомендации последующих действий: все ли факторы значимы, адекватна ли модель и т.д.

Рассмотрим возможные ситуации и движения по достижению адекватности модели.

Случай адекватной модели

Возможны три варианта:

1. Все коэффициенты регрессии значимы.
2. Часть коэффициентов значима, часть — нет.
3. Все коэффициенты незначимы.

Во втором варианте выбираются решения, реализация которых приводит к получению значимых коэффициентов:

- изменение интервалов варьирования;
- перенос центра плана;
- отсеивание незначимых факторов;
- увеличение числа параллельных опытов;
- достройка плана (например, переход к ПФЭ).

Третий вариант чаще всего происходит из-за большой ошибки эксперимента или из-за узких интервалов варьирования. Поэтому здесь возможные решения — это увеличение точности эксперимента за счет улучшения методики исследования или увеличения интервалов варьирования.

Случай неадекватной линейной модели

Признаки, по которым можно установить неадекватность:

- а) значимость хотя бы одного эффекта взаимодействия;
- б) значимость суммы коэффициентов регрессии при квадратичных членах. Оценкой этой суммы служит разность между свободным коэффициентом и значением отклика в центре плана.

В случае неадекватности линейной модели происходит переход к планам второго порядка.

Случай неадекватности модели второго порядка

Возможные варианты решения:

- увеличение точности эксперимента за счет улучшения методики исследования или увеличения интервалов варьирования.
- перенос центра плана;
- увеличение числа параллельных опытов;
- достройка плана (например, переход к ПФЭ);
- переход к планам третьего порядка.

Задание на моделирование.

1. В случае незначимых коэффициентов добиться значимости;
2. при неадекватной модели второго порядка проанализировать возможные причины и добиться адекватности модели (провести дополнительный эксперимент);
3. По результатам проверок дать рекомендации по дальнейшим исследованиям или использованию модели.

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

Цель работы.

Целью данной работы является изучение особенностей моделирования на GPSS системы, структура которой может быть представлена в виде открытой или закрытой сети массового обслуживания. Кроме того, к целям работы относится получение навыков аналитического расчета для анализа результатов моделирования.

Методические указания.

Рассматривается сеть СМО. Необходимо построить модель сети на GPSS и провести моделирование.

Перед построением модели необходимо определить достаточное для стационарности сети количество каналов по каждой СМО. Для этого первоначально строится граф передач. По графу передач строится матрица передач. По построенной матрице составляется система линейных уравнений для расчета интенсивностей прихода заявок на каждую отдельную СМО λ_i . Интенсивность входного потока в сеть λ_0 определена в варианте задания.

Для того, чтобы сеть была стационарна, необходимо, чтобы для каждой СМО выполнялось условие:

$$\lambda_i < s_i \cdot \mu_i,$$

где λ_i – интенсивность прихода заявок в СМО;

μ_i – интенсивность обслуживания в i -ой СМО;

s_i – количество каналов в i -ой СМО.

Если хотя бы для одной СМО это условие не выполняется, количество каналов в соответствующей СМО должно быть увеличено так, чтобы сеть стала стационарной. При определении значений интенсивностей помните, что масштаб времени должен быть одинаков для всех характеристик, и время прихода/обслуживания обратно пропорционально интенсивности.

После определения необходимого количества каналов, строится модель сети на GPSS в соответствии с полученными данными. Время моделирования выбирается самостоятельно. Оно должно быть достаточно большим для получения удовлетворительных статистических данных (количество заявок, проходящих через каждую СМО должно быть не менее тысячи). При распараллеливании входного потока в модели более, чем на два, помните, что такой процесс удобнее моделировать через функцию. В этом случае не придется рассчитывать вероятности перехода для второй и третьей ветви потоков. Если же вы пользуетесь блоком статистического перехода, то внимательнее обращайтесь с вероятностями: исходные вероятности заданы для всего входного потока. Так, если известно, что входной поток заявок разделяется на три потока с вероятностями 0.2, 0.4 и 0.4, то в первом статистическом блоке часть заявок должна перенаправляться с вероятностью 0.2. В следующем статистическом блоке перенаправляется уже половина (от оставшихся) заявок, а все оставшиеся переходят к следующему за статистическим блоку.

Если расчеты проведены верно, и модель на GPSS соответствует аналитической, должны совпадать расчетные и модельные коэффициенты загрузки по отдельным СМО. Если загрузки не совпадают, необходимо определить причину расхождений данных и добиться их совпадения. Одной из причин могут быть неверные расчеты. Если расчеты верны, то причиной несоответствия результатов может быть то, что построенная модель не соответствует вашему графу передач.

Задание на моделирование.

1. В варианте задания описано функционирование сети СМО. Будем считать, что все потоки – простейшие, все СМО - Марковские.

2. Построить граф передач, рассчитать интенсивности входных потоков на каждую СМО.

3. Проверить стационарность сети. Если сеть не стационарна, то добиться стационарности путем увеличения числа каналов обслуживания на соответствующих СМО.

4. Построить модель сети на языке моделирования GPSS.

5. Сравнить рассчитанные коэффициенты загрузки отдельных СМО с аналогичными характеристиками, полученными в результате моделирования.

Варианты заданий.**Вариант 1**

Партии комплектующих деталей поступают в цех сборки в среднем каждую минуту. В этом цеху изделие собирается целиком и отправляется в отдел технического контроля для проверки. При проверке изделий признаются годными только 40%, остальные требуют доработки. Причем часть негодных изделий имеют мелкие недоработки и отправляются в цех наладки, после которого снова попадают в ОТК, а часть негодных изделий имеют серьезные неполадки, допущенные при сборке, и отправляются снова в цех сборки. Соотношение этих изделий составляет 5:1 соответственно. На сборку одного изделия затрачивается в среднем 3 минуты, на проверку качества - 30 секунд и на наладку - 2 минуты.

Вариант 2.

Больные приходят в поликлинику в среднем каждые 5 минут и обращаются в регистратуру за талоном к врачу или за карточкой. Регистратор обслуживает посетителя в среднем в течение трех минут. После регистратуры больной направляется к врачу. Врач осматривает больного и назначает лечение. В 40% случаях

больному достаточно одного визита к врачу, в 50% - врач назначает время повторного посещения для больного, в остальных случаях пациент направляется на сдачу анализов, после чего он снова должен прийти к врачу. Все повторные посещения врача проходят без обращения в регистратуру. Врачу выделяется на каждого больного в среднем по 12 минут. Анализы производятся в течение одного часа.

Вариант 3.

В почтовое отделение посетители заходят в среднем через каждые 4 минуты. Примерно 60% посетителей направляются в отдел переводов (получить перевод, отправить заказное письмо, оформить подписку), а остальные приходят для отправления/получения посылки или бандероли и для этого направляются в соответствующий отдел. Среди клиентов, отправляющих посылки, около 20% вынуждены повторно обратиться в этот же отдел (неправильно заполнили бланки; после того, как им завернули бандероль, необходимо надписать адрес и т.д.). После отдела отправки посылок 40% посетителей направляются в отдел переводов. Будем считать, что после отдела переводов все клиенты покидают почтовое отделение. Среднее время обслуживания в отделе переводов - 3 минуты, в отделе посылок - 6 минут.

Вариант 4.

В аэропорт заходят пассажиры в среднем каждые 40 секунд. Половина из них имеет на руках билеты и сразу же направляется на регистрацию, другая половина не имеет билетов и поэтому сначала обращается в кассу аэропорта. Кассир обслуживает каждого клиента в среднем 2 минуты, причем билеты приобретают только 80% человек, остальные получают отказ из-за отсутствия мест и после этого покидают аэропорт. Пассажиры, купившие билет, направляются на регистрацию. Регистрация билетов производится в среднем в течение одной минуты. После регистрации, ожидая посадки в самолет, часть пассажиров (около 30%) направляется в буфет, остальные просто находятся в зале ожидания. Буфетчица обслуживает клиентов в среднем за 3 минуты.

Вариант 5.

В предварительных железнодорожных кассах работают кассы и справочная служба. Посетители заходят в кассы примерно каждые 5 минут, причем 60% посетителей направляется сразу в кассу, а остальные - в справочную службу. Справочная обслуживает каждого клиента в среднем 3 минуты. В зависимости от полученной справки (есть или нет места на нужные поезда, есть или нет удобный маршрут следования и т.д.) посетители либо направляются в кассу (около 70%), либо уходят. На работу с клиентом кассир затрачивает в среднем 7 минут. При этом 60% посетителей приобретают билеты и уходят, половина оставшихся направляется кассиром в справочную службу, а вторая половина вынуждена прийти в кассу в следующий раз, когда будет получена информация или бронь.

Вариант 6.

В магазине находится два отдела и касса, общая для двух отделов. Покупатели заходят в магазин в среднем каждые 2.5 минуты. Половина из них направляется в 1-й отдел, вторая половина - во 2-й. После первого отдела около 60% покупателей направляется сразу в кассу и после этого покидает магазин, остальные направляются во второй отдел. После второго отдела около 40% покупателей направляются в кассу и покидают магазин, остальные заходят еще и в первый отдел. Среднее время обслуживания в 1-м отделе - 4 минуты, во втором - 3,5 минуты, кассир обслуживает покупателей в среднем за 2 минуты.

Вариант 7.

В доме быта функционируют три различных отделения: химчистка, парикмахерская и ремонт обуви. Посетители, которые приходят в дом быта в среднем через каждые 10 минут, направляются с одинаковой вероятностью в одно из этих отделений. После обслуживания около 60% посетителей покидают дом быта, остальные же с равной вероятностью могут направиться в

любое из оставшихся отделений. Обслуживание в 1-м отделении длится в среднем 5 минут, во втором - 40 минут и в третьем - 20 минут.

Вариант 8.

На станции автообслуживания выполняются следующие услуги: заправка бензина, мойка автомашин, мелкий ремонт. Примерно 60% машин, прибывающих на станцию, направляются на заправку бензина, половина оставшихся - на мойку и остальные нуждаются в мелком ремонте. После мойки все машины уезжают, эта операция занимает около 15 минут. После мелкого ремонта половина машин уезжает, а половина направляется на заправку бензина. После заправки бензина половина машин также уезжает, а вторая половина направляется на мойку. Машины прибывают на станцию в среднем каждые 8 минут, время ремонта в среднем составляет 30 минут, заправка бензина длится в среднем 5 минут.

Вариант 9.

После первичной термообработки в печи детали поступают в цех доводки, в котором проходят два этапа обработки и технический контроль. Время обработки детали на первом этапе составляет в среднем 7 секунд, на втором этапе - 8 секунд. При выходе из цеха детали проверяются контролером ОТК. 80% деталей пропускается контролером, а 20% направляется на повторную обработку в цех, причем половина из них отправляется на первый этап обработки, половина - на второй (в зависимости от степени брака). Время между поступлениями деталей в цех равно в среднем 6 секунд, время технического контроля составляет 5 секунд.

Вариант 10.

В женском отделении парикмахерской можно сделать прическу у парикмахера либо маникюр у маникюрщицы. Посетители приходят в отделение через каждые 10 минут, 10% из них приходят сделать маникюр, остальные - к парикмахеру. Парикмахер

обслуживает клиента в среднем в течение 20 минут, после чего 40% клиентов покидают парикмахерскую. 35% клиентов делают завивку и поэтому ждут очередного захода к парикмахеру, из них 25%, чтобы не терять времени, делают маникюр, после которого снова направляются к парикмахеру. Оставшиеся 25% клиентов после парикмахера идут делать маникюр. Маникюрщица тратит на каждого клиента в среднем по 22 минуты. Все клиенты после маникюрщицы покидают парикмахерскую.

Вариант 11.

В оптике, где посетитель может заказать или купить очки, работает также врач-окулист. Посетители, которые приходят в среднем каждые 5 минут, могут либо сразу обратиться в отдел заказов на очки, либо пройти к врачу за рецептом (около 40% посетителей). Врач затрачивает на каждого посетителя в среднем по 7 минут. Заказ на очки принимается примерно 5 минут, причем в продаже могут оказаться подходящие для клиента очки, тогда он их покупает и покидает оптику насовсем. 80% клиентов вынуждены заказывать индивидуальное изготовление очков. На выполнение заказа в мастерской оптики требуется в среднем около одного часа, после чего клиент может получить свои очки через отдел заказов.

Вариант 12.

В аптеке есть два отдела: отдел готовых лекарств и рецептурный отдел. Посетители приходят в аптеку в среднем через каждые 2.5 минуты. Половина посетителей направляется в отдел готовых лекарств, после чего покидают аптеку. Вторая половина посетителей обращается в рецептурный отдел. В 50% случаях клиент сразу же получает готовое лекарство по рецепту, в остальных случаях готового лекарства нет и клиент должен зайти еще раз за изготовленным лекарством. После рецептурного отдела примерно 20% посетителей заходит еще и в отдел готовых изделий, остальные просто покидают аптеку. Время обслуживания в отделе готовых изделий равно в среднем 2 минуты, в рецептурном отделе - 5 мин.

Вариант 13.

В отдел готового платья покупатели заходят в среднем каждые 2 минуты. Здесь они осматриваются, после чего около 30% покупателей уходят, не купив ничего. 20% покупателей выбирают вещь и без примерки направляются в кассу, где кассир обслуживает каждого покупателя в среднем 1 минуту. Остальные покупатели, выбрав вещь, направляются в примерочную и занимают кабинку около 7 минут. После этого половина покупателей направляется в кассу, а половина снова начинает осматривать товар, выбирая другую вещь.

Вариант 14.

В телеателье существуют две службы: ремонт телевизоров на дому и ремонт телевизоров в ателье. Заявки на ремонт поступают в ателье в среднем каждые 40 минут. Около 40% из них требуют ремонта телевизора в ателье, на обслуживание такой заявки в среднем затрачивается 3 часа. Заявки на ремонт на дому выполняются мастерами в течение 1.5 часов (включая дорогу), причем после этого выполненными являются около 40% заявок, 30% заявок требуют повторного прихода мастера, а остальные 30% - ремонта телевизора в ателье.

Вариант 15.

Городская адресная справка включает в себя два отделения: отдел приема заказа и отдел поиска требуемого абонента. Запросы на поиск отдельных лиц поступают в среднем каждые 5 минут. Прием заказа выполняется в среднем около 2 минут, причем после этого около 5% заказов отсеиваются за невозможностью выполнения (мало данных). После приема заказ передается на выполнение. На поиск абонента затрачивается в среднем 10 минут, после чего 70% клиентов получают необходимую информацию, а для 30% необходимая информация не получена и заказ снова передается в отдел приема заказов для дополнительной работы с клиентом (уточнения или изменения запроса).

Вариант 16.

В мастерской по ремонту холодильников существуют две службы: ремонт холодильников на дому и ремонт холодильников в ателье. Заявки на ремонт поступают в мастерскую в среднем каждые 30 минут. Около 30% из них требуют ремонта холодильника в мастерской, на обслуживание такой заявки в среднем затрачивается 4,5 часа. Заявки на ремонт на дому выполняются мастером в течение 1.8 часа (включая дорогу), причем после этого выполненными являются около 60% заявок, 30% заявок требуют повторного прихода мастера, а остальные 10% - ремонта холодильника в мастерской.

Вариант 17.

В ателье проката приходят посетители в среднем через каждые 1.5 дня. В данном ателье на прокат можно взять холодильник, стиральную машину или телевизор. Около 60% посетителей приходят взять телевизор, 30% - за холодильником и остальные - за стиральной машинкой. Время проката в среднем равно одному месяцу, причем после этого сдают 80% телевизоров, 90% стиральных машин и половину холодильников. По остальной технике прокат продлевается.

Вариант 18.

В салон красоты посетители приходят в среднем каждые десять минут. В салоне находится три службы: парикмахер, массажист и косметолог. Примерно 30% посетителей направляется к парикмахеру, 35% - к массажисту и 35% - к косметологу. После каждой службы около 30% посетителей покидает салон, а остальные в равной степени направляются к двум другим службам. У парикмахера и массажиста посетитель проводит в среднем 40 минут, у косметолога - 30.

Вариант 19.

На контейнерной станции в отдел оформления документов в среднем каждые полтора часа поступают заявки на отправление/получение контейнера. После соответствующего оформления документов около 40% заявок отправляются на прохождение таможи, а остальные - сразу в транспортный отдел. После таможи все заявки также направляются в транспортный отдел. При этом около половины заявок - на отправку контейнера (сначала требуется машина для перевозки, затем кран для погрузки), половина - на получение контейнера (сначала требуется кран, затем машина). На оформление документов уходит примерно 30 минут, столько же времени работает с клиентом таможня, работа крана занимает в среднем 20 минут, машина требуется в течение 3 часов.

Вариант 20.

В канцелярию предприятия документы поступают по различным каналам: по почте, по факсу, по компьютерной сети, среднее время между поступлениями документов - около 30 минут. Из канцелярии примерно половина документов направляются в бухгалтерию, половина - директору предприятия. В бухгалтерии работают с документами в среднем 40 минут, после чего 60% документов направляется в архив (по ним прекращается работа) а по 40% требуется решение директора, причем после решения директора документы снова возвращаются на доработку в бухгалтерию. Директор затрачивают на обработку каждого документа в среднем 10 минут, после чего 60% документов направляется в канцелярию (на отсылку, регистрацию и т.д.), а 40% направляются для работы в бухгалтерию, после чего обработанные документы могут быть направлены в архив либо снова к директору (в тех же соотношениях 6:4). В канцелярии на каждый входящий документ затрачивают в среднем по 10 минут.

Вариант 21

К библиотекарю подходят читатели с заявками на книги каждые 2 минуты. В 20% случаях библиотекарь находит книгу в

зале и выдает ее читателю. В остальных случаях он отправляет заявку на поиск в книгохранилище. Работник книгохранилища тратит на поиск книги в среднем 3 минуты, причем в 20% случаях он не находит нужную книгу и сообщает об этом библиотекарю (сообщение между библиотекарем и книгохранилищем осуществляется по телефону). В этом случае библиотекарь снова работает с читателем, уточняя книгу, либо заменяя ее другой. Книги, найденные в книгохранилище, доставляются с помощью подъемника в среднем в течение трех минут. Эти книги тоже проходят через библиотекаря. Библиотекарь обслуживает читателя (за один заход) в среднем две минуты.

Вариант 22

В магазине продтовары расположены три отдела и общая касса. Покупатели заходят в магазин каждые 5 минут и направляются в один из отделов со следующими вероятностями: 0.3 – в первый отдел, 0.4 — во второй отдел и 0.3 — в третий отдел. После отдела покупатель направляется в кассу, время обслуживания в которой равно в среднем 2 минуты. После этого половина покупателей покидает магазин, а половина направляется снова в какой-нибудь из отделов (вероятность направления покупателя в один из отделов остается прежней, покупатель может направиться и в тот же отдел, где он только что сделал покупку: забыл что-то еще). Время обслуживания в отделах равно соответственно 4, 3 и 5 минут.

Вариант 23

Ремонтная служба АТС принимает индивидуальные заявки на ремонт от граждан, которые поступают в среднем каждые 2 минуты. 10% заявок не обслуживаются (например, телефон просто отключен из-за неуплаты) и об этом просто сообщается клиенту. Остальные заявки разделяются на те, в которых неполадки можно устранить непосредственно на станции (70%) и на те, которые требуют ремонта на дому (20% от общего числа заявок). Этими работами занимаются разные отделы службы. Ремонт неполадок на станции делятся в среднем около минуты, после чего клиенту

сообщается о выполнении заявки. Ремонт телефонов на дому требует около 40 минут (вместе с дорогой), кроме того, может потребоваться повторный приезд мастера (около в 40% случаях).

Вариант 24

В поликлинике работают три специалиста: лор, хирург и терапевт. Больные приходят в поликлинику через каждые 8 минут и сначала направляются в регистратуру. В регистратуре их обслуживают в течение 5 минут, после чего больные направляются к разным врачам со следующими вероятностями: 0.25 — лору, 0.25 — к хирургу и 0.5 — к терапевту. После лора и хирурга все больные покидают поликлинику. После терапевта поликлинику покидают только 40% больных, 20% терапевт направляет снова в регистратуру (надо взять новый талон, либо неправильно оформлена карточка). Остальные больные направляются терапевтом к лору либо к хирургу (в соотношении 65:35 соответственно). Терапевт обслуживает больного в среднем 12 минут, хирург — 15 минут, лор — 10 минут.

5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5. РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТИ СМО И ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ.

Цель работы.

систематизация, закрепление и расширение знаний студента по заданной тематике; исследование работы сети СМО с помощью построения аналитической и вычислительной моделей, получение оценок всех важнейших характеристик сети, проверка адекватности модели.

Методические указания.

Проведение аналитических расчетов сети. Для получения сетевых характеристик необходимо сначала рассчитать указанные характеристики по отдельным СМО. Для этого используйте формулы расчетов основных характеристик СМО из учебного

пособия данного курса. Обращайте внимание на тип ваших СМО. Во всех вариантах заданий рассматриваются СМО с бесконечными очередями (СМО с ожиданием), но при этом могут встречаться одноканальные и многоканальные СМО. Канальность СМО вы определили на этапе проверки стационарности сети. Помните, что формулы расчетов для одноканальных и для многоканальных СМО различны! Временные характеристики по отдельным СМО определяются по формуле Литтла.

После того, как рассчитаны характеристики по отдельным СМО, можно определить и сетевые характеристики. Обратите внимание! Количественные сетевые характеристики определяются путем обычного сложения соответствующих характеристик по отдельным СМО. При расчете временных показателей необходимо учитывать, сколько раз требования проходят через ту или иную систему (см. раздел учебного пособия «Сети СМО»).

Проверка адекватности. Для проверки адекватности здесь достаточно проверить гипотезу о равенстве средних по некоторым характеристикам (см. раздел учебного пособия «Обоснованность модели»). В данном случае сравнивается расчетное (теоретическое среднее) и модельное (выборочное среднее) значения характеристик. Проверка обязательно должна осуществляться по среднему времени нахождения заявки в сети и по количеству заявок в сети в целом. Кроме этого, по каждой отдельной СМО проверьте равенство характеристик очередей.

Примечание: если масштаб времени Вы выбрали так, что временные характеристики очень малы, то лучше проводить сравнение по среднему количеству заявок в очередях; если же числовые значения среднего времени нахождения заявки в очереди больше среднего количества заявок в очередях, то лучше проводить сравнение по временным характеристикам.

Для проверки гипотезы о равенстве средних в данной ситуации необходимо получить выборки из соответствующих оценок путем многократного прогона модели. Из полученных выборок определяются значения выборочного среднего и выборочной дисперсии. В качестве известного математического ожидания берется расчетное значение характеристики. Тогда при выборе

критерия учитывается: математическое ожидание известно, дисперсия неизвестна.

Для многократного прогона модели можно использовать команду RESET, которая сбрасывает статистику в ноль. Когда интерпретатор обрабатывает эту инструкцию, он устанавливает статистику в нулевое состояние, а затем, как обычно, переходит к следующей команде. Если следующей командой является START, возобновляются моделирование и сбор статистических данных.

Существует несколько элементов статистики, на которые команда RESET не оказывает влияния:

1) «Поток случайных чисел» не устанавливается в исходное состояние. При возобновлении моделирования последовательность случайных чисел продолжается с того места, в котором она оборвалась на предыдущей фазе моделирования;

2) счетчик текущих значений каждого блока устанавливается равным числу транзактов, находящихся в блоке. Счетчики числа входов в блоки устанавливаются в ноль. Что касается последующих значений счетчиков блоков, то далее они интерпретируются как число транзактов, которое входит в блоки в оставшееся время моделирования;

3) таймер абсолютного времени не устанавливается в ноль, а таймер относительного времени устанавливается. Таймер относительного времени измеряет модельное время, прошедшее после последней очистки модели (или от начала моделирования, если очистки не было).

Так, если завершить программу следующими блоками:

```
GENERATE 100000
```

```
TERMINATE 1
```

```
START 1
```

```
RESET
```

```
START 1
```

RESET START 1

то в результате прогона модели будут получены шесть стандартных отчетов – по одному на каждый блок START. Каждый отчет размещается в отдельном файле выдачи. Команду RESET удобно использовать при больших (близких к единице) загрузках СМО: в этом случае при моделировании на всех участках, кроме первого, мы получаем статистику на стационарном участке.

Вместо команды RESET можно использовать команду CLEAR, которая переводит всю модель — всю статистику и все объекты — в исходное состояние. Исключением является лишь датчик случайных чисел — он не возвращается к начальному значению. Применение блока CLEAR позволяет осуществить независимые реализации моделируемого случайного процесса.

Возможные причины неадекватности.

Различия между расчетными и экспериментальными данными могут быть вызваны следующими причинами:

- а) неверно построены аналитические расчеты;
- б) аналитические расчеты проведены с большой погрешностью;
- в) неверно построена вычислительная модель;
- г) длительное время выхода на стационарный участок значительно искажает экспериментальные данные.

При проверке причин начните анализ со сравнения загрузок отдельных СМО. Если коэффициенты загрузок СМО, рассчитанные и полученные экспериментально различаются, то причины могут быть следующие:

- а) вы неверно рассчитали интенсивности входных потоков на отдельные СМО;
- б) вы проводите расчеты с большой погрешностью. Эта причина особенно ярко проявляется при больших загрузках отдельных СМО: значения отдельных вероятностей в этом случае очень малы, и любая погрешность вычислений существенно влияет на дальнейшие расчеты;
- б) переходы транзактов в модели на языке GPSS не соответствуют переходам заявок между СМО по графу передач;

в) возможно, в модели на GPSS у вас не соблюдается единый масштаб времени.

При моделировании статистических переходов помните: если при выходе из какой-либо СМО (либо при поступлении заявок из Источника) поток заявок разбивается более, чем на два, необходимо внимательно рассматривать вероятности статистических переходов в модели. В этом случае, если вы используете несколько блоков статистического перехода TRANSFER, для всех блоков, кроме первого, необходимо пересчитывать вероятности переходов с учетом того, что часть заявок уже была перенаправлена к другому блоку.

Чтобы упростить моделирование такой ситуации, можно построить дискретную функцию типа D, значением которой будут имена блоков, к которым должны направляться потоки заявок. Такая функция строится по принципу моделирования группы событий. Например, если необходимо разбить исходный поток заявок на три с вероятностями 0.2, 0.45 и 0.35, то при использовании нескольких блоков статистических переходов получим:

```
TRANSFER .2,„BLK1
TRANSFER .5625,„BLK2
TRANSFER ,BLK3
```

Вместо использования указанных блоков можно построить следующую функцию:

```
PEREX FUNCTION RN1,D3
.2,BLK1/.65,BLK2/1,BLK3
```

а затем обращаться к функции в блоке безусловного перехода:

```
TRANSFER ,FN$PEREX
```

Если коэффициенты загрузок отдельных СМО совпадают с расчетными, то проверьте равенство средних характеристик по очередям отдельных СМО. Здесь причины различий могут быть следующими:

а) при построении модели на GPSS вы не учли, что все СМО — Марковские;

б) время моделирования мало, и модель не успевает выйти на стационарный участок.

Задание на моделирование.

1. Вариант задания берется из предыдущей лабораторной работы.
2. Провести аналитические расчеты сети, получить следующие основные характеристики:
 - Среднее время нахождения заявки в каждой СМО и в сети в целом;
 - Среднее количество заявок в каждой СМО и в сети в целом;
 - Среднее количество заявок в очередях по каждой СМО и по сети;
 - Среднее время нахождения заявки в очередях по каждой СМО и по сети.
3. Проверить адекватность построенной вычислительной модели путем сравнения расчетных и экспериментальных данных, полученных из модели, построенной в предыдущей лабораторной работе.
4. Если модель неадекватна, проанализировать возможные причины, добиться адекватности.

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Салмина Н.Ю. Моделирование систем: Учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2003. – 197 с.

2. Салмина Н.Ю. Язык моделирования GPSS: Учебное пособие к курсу «Моделирование систем». – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2006.

3. Кузин Л.Т. Основы кибернетики: В 2-х т. – М.: Энергия, 1980.

4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998.

5. Корилов А.М. Математические методы планирования эксперимента. – Томск: Изд-во Томск. гос. Ун-та, 1973.

6. Решетников М.Т. Планирование эксперимента и статистическая обработка данных. – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2000.

7. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания – М.: Высш. шк., 1987.