

# Государственный университет – Высшая школа экономики

Нижегородский филиал

**Факультет бизнес информатики и прикладной математики**

## Программа дисциплины «Имитационное моделирование (системы массового обслуживания)»

для направления 080700.62 – Бизнес-информатика,  
010500.62 – Прикладная математика и информатика

подготовки бакалавра

Автор: профессор В.В.Крылов

Рекомендована УМС  
Секция «Математика и информатика»  
Председатель

\_\_\_\_\_ В.М. Демкин

« » 2009 г.

Одобрена на заседании кафедры  
Прикладной математики и информатики  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ В.А. Калягин

« » 2009 г.

Утверждена УМС филиала  
Председатель  
\_\_\_\_\_ Л.Г. Макарова

« » 2009 г.

Н. Новгород, 2009 г.

## I. Пояснительная записка

*Авторы программы:* программа дисциплины разработана коллективом кафедры Прикладной математики и информатики НФ ГУ ВШЭ, ответственный исполнитель профессор Крылов В.В.

*Требования к студентам:*

Исходный уровень – знание основ математического анализа, линейной алгебры, дискретной математики, дифференциальных и разностных уравнений, теории вероятностей и основ математической статистики.

*Аннотация:*

Курс «Имитационное моделирование» является прикладным из цикла курсов подготовки современного специалиста в области экономики. Курс опирается на фундаментальный курс «Теория вероятностей» и является его продолжением и важным практическим приложением. «Имитационное моделирование» является одним из полезных для будущих специалистов курсов наряду с курсами по математической статистике, эконометрике, теории игр, анализу временных рядов и других курсов специализированной подготовки.

Дисциплина рассчитана на 28 часов лекционных занятий и 14 часов практических занятий.

*Учебная задача дисциплины:*

Целями курса являются

- знакомство с основными понятиями теории систем массового обслуживания и ее приложениями;
- развитие аналитического мышления, навыков имитационного моделирования систем с конфликтами за ресурсы и методами экспериментального анализа таких систем.

## II. Тематический план учебной дисциплины

	Наименование тем	Всего часов	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа	
			Раздел 1. Аналитические методы исследований систем массового обслуживания			
1.1	Базовая концепция СМО	10	2		8	
1.2	Марковские модели СМО	10	2		8	
1.3	Немарковские модели СМО	10	2		8	
1.4	СМО с самоподобными входными потоками	9	1		8	
			Раздел 2. Эмпирический анализ систем массового обслуживания			
2.1	Измерения случайных потоков, прогнозирование характеристик СМО по результатам измерений	12	2	2	8	

		Раздел 3. Имитационные методы анализа систем массового обслуживания			
3.1	Моделирование СМО средствами GPSS	5	1	2	2
3.2	Моделирование СМО сетями Петри	4	2		2
3.3	Моделирование в среде ARENA	44	12	10	22
<b>Итого</b>		108	28	14	66

### III. Формы рубежного и итогового контролей

Контроль знаний студентов включает формы текущего и итогового контроля. Текущий контроль осуществляется в течение двух модулей. По курсу предусмотрены текущий контроль знаний и работы студентов на практических занятиях, две контрольные работы (2 x 45 мин.) и самостоятельная разработка проектов на дому (эссе). Каждая форма текущего контроля оценивается 10-балльной оценкой, которая выставляется в рабочую ведомость преподавателя. По результатам текущего контроля организуются индивидуальные консультации в рамках второй половины рабочего дня преподавателя. Форма итогового контроля – письменный дифференцированный зачет по окончании двух модулей учебного курса, который оценивается по 10-балльной шкале. Продолжительность зачета 120 мин.

Для получения *результатирующей оценки О* итогового контроля используются следующие весовые множители:

0,15 – для оценки **Оконтр1.**, за контрольную работу № 1,

0,15 – для оценки **Оконтр2.**, за контрольную работу № 2,

0,3 – для оценки **Оэссе.**, за самостоятельная разработка программы на дому,

0,4 – для оценки **Описьм.зач.**, за письменный зачет.

Для получения результатирующей оценки **О** по 10-балльной шкале вычисляется величина

$$O = 0,15 \times \text{Оконтр.1} + 0,15 \times \text{Оконтр.2} + 0,3 \times \text{Оэссе} + 0,4 \times \text{Описьм.зач.}$$

Полученный после округления этой величины до целого значения результат и *выставляется как результатирующая оценка по 10-балльной шкале* по учебной дисциплине «Имитационное моделирование» в экзаменационную ведомость и зачетную книжку студента. В экзаменационную ведомость и зачетную книжку студента выставляется также и результат зачета по данной дисциплине в **форме «зачтено» «не зачтено»**, получаемый из оценки по десятибалльной шкале в соответствии со следующей таблицей соответствия (см. Приложение № 2 к приказу Ректора ГУ-ВШЭ № 1002 от 17.06.2002).

**Таблица соответствия оценок по десятибалльной и пятибалльной системам.**

По десятибалльной шкале	По пятибалльной шкале
1 – неудовлетворительно	
2 – очень плохо	Неудовлетворительно - 2
3 – плохо	
4 – удовлетворительно 5 – весьма удовлетворительно	удовлетворительно - 3
6 – хорошо 7 – очень хорошо	хорошо - 4

8 – почти отлично	отлично - 5
9 – отлично	
10 – блестяще	

## IV. Содержание программы

### Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

#### Тема 1.1. БАЗОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ СМО.

Предметная область теории систем массового обслуживания. Основные компоненты СМО. Классификация СМО по Кендаллу-Башаринову. Входные потоки требований и процессы обслуживания. Непрерывная марковская цепь как базовая модель СМО. Процесс гибели-размножения и уравнения переходного режима. Уравнения равновесного состояния СМО.

##### Основная литература

Клейнрок Л. *Теория массового обслуживания*, Пер. с англ., М., Машиностроение, 1970.

Розанов Ю.А. *Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы*, Наука, 1989

##### Дополнительная литература

Крылов В.В., Самохвалова С.С *Теория телетрафика и ее приложения* –СПб.:БХВ-Петербург, 2005.

J. Medhi *Stochastic models in queueing theory*, Academic Press, 2003

#### Тема 1.2. МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ СМО.

Анализ системы М/М/1. Распределение времени ожидания. Характеристики выходного процесса. Анализ полумарковского процесса. Модели СМО с конечным размером очереди. Модели с многими серверами. Модели СМО с полными потерями. Формулы Эрланга. Модели Энгсета. Анализ переходных процессов в СМО. Расширения Марковских моделей.

##### Основная литература

Клейнрок Л. *Теория массового обслуживания*, Пер. с англ., М., Машиностроение, 1970.

Розанов Ю.А. *Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы*, Наука, 1989

##### Дополнительная литература

Крылов В.В., Самохвалова С.С *Теория телетрафика и ее приложения* –СПб.:БХВ-Петербург, 2005.

J. Medhi *Stochastic models in queueing theory*, Academic Press, 2003

#### Тема 1.3. НЕМАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ СМО.

Модели с марковскими входными потоками. Формула Полячека-Хинчина. Распределение времени ожидания. Подход полумарковских процессов. Распределение времени занятости. Интегральное уравнение Такаши. Системы с конечным размером очереди. СМО с произвольными распределениями входных потоков. Интегральное уравнение Линдли. Границы для времени ожидания.

##### Основная литература

Клейнрок Л. *Теория массового обслуживания*, Пер. с англ., М., Машиностроение, 1970.

Розанов Ю.А. *Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы*, Наука, 1989

##### Дополнительная литература

Крылов В.В., Самохвалова С.С *Теория телетрафика и ее приложения* –СПб.:БХВ-Петербург, 2005.

*J. Medhi Stochastic models in queueing theory, Academic Press, 2003*

#### **Тема 1.4. СМО С САМОПОДОБНЫМИ ВХОДНЫМИ ПОТОКАМИ**

Случайные процессы с долгосрочными зависимостями. Самоподобие и параметр Херста. Фрактальное броуновское движение и «черный шум». Анализ СМО с фрактальным броуновским потоком. Теорема Илка. Сравнение характеристик СМО при обслуживании различных типов входных потоков.

##### *Основная литература*

Шелухин О.И., Тенякиев А.М., Осин А.В. *Фрактальные процессы в телекоммуникациях*  
Радиотехника, Москва, 2003.

##### *Дополнительная литература*

Крылов В.В., Самохвалова С.С *Теория телетрафика и ее приложения* –СПб.:БХВ-Петербург, 2005.

*Norros Ilkka A storage model with self-similar input. Queueing Systems, 1994*

### **Глава 2. ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.**

#### **Тема 2.1. ИЗМЕРЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОТОКОВ.**

Основные понятия математической статистики. Задачи описания данных. Оценивание и проверка гипотез. Параметрические и непараметрические методы оценивания.

Корреляционный анализ. Оценивание параметра Херста.

##### *Основная литература*

Колемаев В.А. Калинина В.Н. *Теория вероятностей и математическая статистика, ИНФРА-М, 1999.*

*Вероятность и математическая статистика. Энциклопедия / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. – М.: Изд-во «Большая Российская Энциклопедия», 1999.*

##### *Дополнительная литература*

*Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On the self-similar nature of Ethernet traffic// IEEE Transaction on networking. – Vol. 12. – 1994.-1. – p.2-15*

*Орлов А.И. Математика случая: Вероятность и статистика - основные факты: Учебное пособие. - М.: МЗ-Пресс, 2004.*

#### **Тема 2.2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СМО ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ.**

Статистические методы восстановления функциональных зависимостей. Оценивание вида модели СМО. Оценивание вероятностей потерь. Примеры оценивания характеристик СМО в телекоммуникационных задачах. Оценивание параметров СМО в эконометрии.

##### *Основная литература*

*Орлов А.И. Математика случая: Вероятность и статистика - основные факты: Учебное пособие. - М.: МЗ-Пресс, 2004.*

##### *Дополнительная литература*

*Harmatzis F., Hatzinakos D. Heavy Network Traffic Modelling and Simulation using Stable FARIMA Processes Communications, IEEE Transactions on Volume 49, Issue 7, Jul 2001 Page(s):1203 - 1214.*

### **Глава 3. ИМИТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

#### **Тема 3.1 МОДЕЛИРОВАНИЕ СМО СРЕДСТВАМИ GPSS**

Принципы имитационного моделирования СМО. Основные программные модели для имитации поведения СМО. Программные методы построения имитационных моделей.

История и назначение языка GPSS. Объекты и блоки языка. Построение простейших имитационных моделей СМО. Использование моделей для прогнозирования характеристик СМО. Построение больших имитационных моделей.

*Основная литература*

Кудрявцев Е.М. *GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем.* - М.: ДМК, 2003

*Дополнительная литература*

Рыжиков Ю.И *Имитационное моделирование: Теория и технологии*, Альтекс-А, 2004.

Бражник А.Н. *Имитационное моделирование: Возможности GPSS WORLD*, Реноме, 2006

**Тема 3.2 МОДЕЛИРОВАНИЕ СМО СЕТЯМИ ПЕТРИ**

Сети Петри и их виды. Простые системы моделирования сетями Петри. Моделирование СМО сетями Петри. Программные системы имитационного моделирования на основе сетей Петри. Основные принципы построения моделей СМО в открытых программных пакетах. Базовые способы анализа характеристик СМО при моделировании сетями Петри.

*Основная литература*

Котов В.Е. *Сети Петри*. М.: Наука, 1984.

Питерсон Дж. *Теория сетей Петри и моделирование систем*, М., Мир-1984

*Дополнительная литература*

Крылов В.В., Самохвалова С.С *Теория телетрафика и ее приложения* –СПб.:БХВ-Петербург, 2005.

**Тема 3.3 МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ ARENA**

Знакомство с программной системой ARENA Rockwell Automation. Построение простой модели СМО М/М/1. Анализ характеристик системы по данным моделирования. Построение сложных моделей систем с учетом ресурсных конфликтов. Изучение изобразительных средств системы моделирования. Выполнение индивидуальных заданий по построению и анализу моделей реальных бизнес систем.

*Основная литература*

*Simulation with Arena 4th edition. W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Rockwell Automation David T. Sturrock, Rockwell Automation McGraw-Hill, ©2007*

*Simulation Modeling and Analysis with ARENA* , Tayfur Altiook, Bengamin Melamed, Academic Press-2007

*Дополнительная литература*

*Process Analysis and Improvement: Tools and Techniques*, Marvin S Seppanen , Productive Systems Sameer Kumar, University of St. Thomas, Minneapolis

Charu Chandra, University of Michigan - Dearborn

McGraw-Hill Irwin

ISBN: 0072857129

Copyright year: 2005

**ИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВА ARENA ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЦЕНТРА СТРАХОВАНИЯ АВТОГРАЖДАНСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ**

A. Свечников; [http://www.iteam.ru/publications/it/section\\_51/article\\_2264/](http://www.iteam.ru/publications/it/section_51/article_2264/)

**V. Тематика эссе**

Предлагается набор тем по анализу параметров бизнес-процессов путем построения теоретической модели, получения характеристик путем расчетов, построения имитационной

модели, получение оценок тех же характеристик в процессе моделирования и сравнительный анализ результатов.

Пример темы: Оценить характеристики качества обслуживания Web – сервера, по заданным статистическим характеристикам потока запросов и программно-аппаратного комплекса его имплементации.

## **VI. Методические рекомендации преподавателю**

См., приложение по методике 10-балльной оценки.

## **VII. Методические рекомендации студентам**

Для более глубокого усвоения курса предполагается использование студентами дополнительной литературы, работа в библиотеке, поиск информации в сети Интернет.

## **VIII. Рекомендации по использованию информационных технологий**

Используется компьютерное моделирование СМО для анализа их характеристик. В НФ ГУ-ВШЭ студентам предоставляется возможность самостоятельной работы с электронными ресурсами информации, периодической литературой.

В компьютерном классе (в здании на Б. Печерской) доступ on-line.

Преподаватель Крылов В.В.

## **Приложение: Методика формирования результирующей оценки**

Программа предусматривает в качестве форм контроля: оценку контрольной работы, оценку домашнего задания, зачет (экзамен). Каждая форма оценивается по 10-балльной шкале.

Для контрольных работ:

высшая оценка в 9 баллов (10 баллов проставляется в исключительных случаях) проставляются при отличном выполнении заданий: полных (с детальными или многочисленными примерами и возможными обобщениями) ответах на вопросы, правильном решении задачи и четком и исчерпывающем ее представлении почти отличная оценка в 8 баллов проставляется при полностью правильных ответах и решении задач, но при отсутствии какого-либо из выше перечисленных отличительных признаков, как, например: детальных примеров или обобщений, четкого и исчерпывающего представления решаемой задачи, оценка в 7 баллов проставляется при правильных ответах на вопросы и правильном решении задачи, но при отсутствии пояснений, примеров, обобщений, без представления алгоритма или последовательности решения задач, оценка в 6 баллов проставляется при наличии отдельных неточностей в ответах на вопросы (включая грамматические ошибки) или неточностях в решении задачи непринципиального характера (описки и случайные ошибки арифметического характера), оценка в 5 баллов проставляется в случаях, когда в ответах и в решении задач имеются неточности и ошибки, свидетельствующие о недостаточном понимании вопросов и требующие дополнительного обращения к тематическим материалам, оценка в 4 балла проставляется при наличии серьезных ошибок и пробелов в знании по контролируемой тематике, оценка в 3 балла проставляется при наличии лишь отдельных положительных моментов в ответах на вопросы и в решении задач, говорящих о потенциальной возможности в последующем более успешно выполнить задания; оценка в 3 балла, как правило, ведет к повторному написанию ответов на вопросы или решению дополнительной задачи, оценка в 2 балла проставляется при полном отсутствии положительных моментов в ответах на вопросы и решении задач и, как правило, ведет к повторному написанию контрольной работы в целом, оценка в 1 балл проставляется, когда неправильные ответы и решения, кроме того, сопровождаются какими-либо демонстративными проявлениями безграмотности или неэтичного отношения к изучаемой теме.

При оценке выполнения домашнего задания (эссе):

10 баллов проставляется в исключительных случаях самостоятельно проведенной работы, которая может в дальнейшем использоваться в учебном процессе или в исследовательской работе студента, 8-9 баллов проставляется при самостоятельно разработанном или удачно адаптированном и отлично представленном исследовании по выбранной тематике, 6-7 баллов проставляется при своевременно выполненном и самостоятельно представленном результате продукте по выбранной тематике, 4-5 баллов проставляется при частичном, несамостоятельном участии в выполнении работ, 2-3 балла проставляется, когда студент не может самостоятельно представить работу; когда работа носит явные признаки заимствований (работу предлагается переделать), 1 балл проставляется при наличии каких-либо демонстративных проявлений безграмотности и неэтичного отношения к работе. На зачете (экзамене), представляющем собой письменный ответ на вопрос и решение задачи с последующим собеседованием, оценка проставляется следующим образом: высшая оценка в 9 баллов (10 баллов проставляется в исключительных случаях) проставляется при отличном выполнении заданий: полных, с примерами и возможными обобщениями ответах на вопросы, при правильном решении задачи и детальном ее представлении, почти отличная оценка в 8 баллов проставляется при полностью правильных ответах и решении задач, но при отсутствии какого-либо из выше перечисленных отличительных признаков, как, например: примеров и обобщений, детального представления решаемой задачи, оценка в 7 баллов проставляется при правильных ответах на вопросы и правильном решении задачи, но при отсутствии пояснений, примеров, без представления алгоритма решения задач, оценка в 6 баллов проставляется при наличии отдельных неточностей в ответах на вопросы или непринципиальных неточностях в решении задачи (описки и случайные ошибки арифметического характера), оценка в 4-5 баллов проставляется в случаях, когда в ответах и в решении задачи имеются существенные неточности и ошибки, свидетельствующие о недостаточном понимании проблематики, оценка в 2-3 балла проставляется при наличии лишь отдельных положительных моментов в ответах на вопросы и в решении задачи и ведет к повторному написанию ответов на вопросы или решению задачи, оценка в 1 балл проставляется, когда неправильные ответы и решения, кроме того, сопровождаются какими-либо демонстративными проявлениями безграмотности или неэтичного отношения к учебному процессу.

**По результатам устного собеседования с преподавателем выполненной на итоговом собеседовании работы возможны корректировки оценки в ту или иную сторону.**

Автор программы, профессор

Крылов В.В.