

Федеральное агентство по образованию  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Сибирский федеральный университет"

*Бронов Сергей Александрович*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**Учебное пособие по курсовому проектированию**

Красноярск 2007

УДК 303.094.7  
ББК

Бронов, С. А. Имитационное моделирование : учеб. пособие по курсовому проектированию / С. А. Бронов; ФГОУ ВПО "Сибирский федеральный университет", кафедра "Системы автоматизированного проектирования". — Красноярск: СФУ, 2007. — 35 с.

Представлены методические материалы для выполнения курсового проекта по учебной дисциплине "Имитационное моделирование". Приведены задания для выполнения курсового проекта, рекомендации по его выполнению, пример оформления.

## Содержание

<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Цели и задачи курсового проектирования.....</b>	<b>6</b>
<b>2 Процесс курсового проектирования.....</b>	<b>6</b>
<b>3 Защита курсового проекта и его оценка.....</b>	<b>9</b>
<b>4 Задания на курсовое проектирование.....</b>	<b>9</b>
Задание 1. Проектный отдел.....	9
Задание 2. Турникет на стадионе.....	10
Задание 3. Речной порт.....	10
Задание 4. Автомобильная парковка.....	10
Задание 5. Биатлон.....	11
Задание 6. Канцелярия.....	11
Задание 7. Сборочный цех.....	12
Задание 8. Участок упаковки готовых изделий.....	12
Задание 9. Столовая.....	12
Задание 10. Перекрёсток.....	13
Задание 11. Отдел по обслуживанию посетителей.....	13
Задание 12. Отдел обслуживания.....	13
Задание 13. Выдача заработной платы.....	14
Задание 14. Перевозка грузов.....	14
Задание 15. Летнее кафе.....	14
Задание 16. Подготовка к экзамену.....	14
Задание 17. Автобусная станция.....	15
Задание 18. Осмотр достопримечательностей туристами.....	15
Задание 19. Музей.....	15
Задание 20. Ресторан.....	15
Задание 21. Спортивный зал.....	15
Задание 22. Поездка в автобусе.....	16
Задание 23. Читальный зал библиотеки.....	16
Задание 24. Лифт.....	16
Задание 25. Билетная касса.....	16
Задание 26. Аэропорт.....	17
Задание 27. Супермаркет.....	17
Задание 28. Автозаправочная станция.....	17
Задание 29. Банк.....	18
Задание 30. Автоматизированный участок цеха.....	18
Задание 31. Ремонтный участок.....	18
Задание 32. Сдача курсовой работы в компьютерном классе.....	19
Задание 33. Проведение лабораторных работ.....	19
Задание 34. Локальная компьютерная сеть.....	19
Задание 35. Ателье по ремонту телевизоров.....	19
Задание 36. Аэропорт.....	20

Задание 37. Телефонная станция .....	20
Задание 38. Кафе .....	20
Задание 39. Тренажёрный клуб .....	20
Задание 40. Читальный зал библиотеки .....	20
Задание 41. Лифт в многоэтажном доме .....	21
Задание 42. Турникет на стадионе.....	21
Задание 43. Речной порт .....	21
Задание 44. Канцелярия .....	21
Задание 45. Участок упаковки готовых изделий.....	22
<b>5 Правила оформления курсового проекта .....</b>	<b>22</b>
<b>1 Объект, цели и задачи моделирования .....</b>	<b>27</b>
<b>2 Программная модель .....</b>	<b>28</b>
<b>3 Пояснения к программной модели.....</b>	<b>29</b>
<b>4 План модельного эксперимента .....</b>	<b>31</b>
<b>5 Исследование функционирования модели .....</b>	<b>32</b>
<b>6 Модельный имитационный эксперимент .....</b>	<b>34</b>
<b>Список использованных источников.....</b>	<b>35</b>

## **Введение**

Курсовой проект по учебной дисциплине "Имитационное моделирование" выполняется в 6-м семестре на 3-м курсе и включает разработку имитационной модели организационного или технического объекта на языке GPSS World, проведение простого имитационного эксперимента и оформление результатов моделирования.

## 1 Цели и задачи курсового проектирования

**Целью курсового проектирования** является развитие умения разрабатывать имитационные модели организационных и технических объектов, а также получения практических навыков работы в среде GPSS World, включая программирование и использование встроенных инструментов анализа.

### **Задачи курсового проектирования:**

- 1) представление заданного объекта в виде имитационной модели с выделением внешних воздействий, параметров, внутренних переменных;
- 2) создание программной имитационной модели на языке GPSS World;
- 3) тестирование и отладка разработанной имитационной модели, в том числе в шаговом режиме;
- 4) формулирование цели имитационного эксперимента, выделение варьируемых, постоянных и контролируемых переменных;
- 5) проведение имитационного эксперимента;
- 6) формулирование выводов по результатам эксперимента;
- 7) оформление полученных результатов.

В конечном счёте студент должен на сравнительно простом примере познакомиться с выполнением всех работ, связанных с имитационным моделированием.

## 2 Процесс курсового проектирования

Процесс курсового проектирования разбивается формально на стадии, соответствующие приведённым выше задачам проектирования. Выделяются три укрупнённые стадии:

- 1) получение задания на курсовое проектирование;
- 2) конкретизация задания на курсовое проектирование, разработка вербальной (словесной) имитационной модели, выделение переменных состояния, внешних воздействий и параметров, создание структурной схемы модели;
- 3) создание программной модели, её отладка и модификация;
- 4) проведение имитационного эксперимента, для чего — выделение варьируемых и неизменных переменных модели, задание параметров, прогон модели в шаговом режиме с целью удостовериться в её адекватности;
- 5) оформление полученных результатов.

**На первой стадии курсового проектирования** из приведённого списка заданий студент выбирает то, которое соответствует его номеру в списке группы. Студент создаёт свой шаблон будущего отчёта в соответствии с приведённым ниже внешним видом. Согласно шаблону размещается текст задания, делается его схематическая иллюстрация, происходит первичное оформление будущего отчёта. На этой стадии происходят интенсивные консультации с преподавателем.

**На второй стадии курсового проектирования** разрабатывается структурная схема модели (которая затем, возможно, будет уточняться при написании самой программы). При этом важно выполнять программирование постепенно, разрабатывая программу в нескольких вариантах — от простого к сложному. Первоначально можно упростить задачу, постепенно усложняя её с приближением к условиям самого задания.

**На третьей стадии курсового проектирования** пишется сам код программы, также от простого — к сложному. Все версии разрабатываемых программ следует хранить, чтобы понимать последовательность разработки. Не следует пытаться сразу написать всю программу. Очень мало шансов, что при этом не будет ни одной ошибки, а найти её в только что написанной большой программе невозможно. Поэтому целесообразно проверять работу отдельных фрагментов программы, чтобы убедиться в правильности записи операторов и входных данных. Здесь важно использовать отладочные механизмы GPSS World, в том числе шаговый режим, грамотные комментарии в строках, специальные точки контроля переменных (например, в виде дополнительно вводимых *Сохраняемых величин*). Необходимо менять входные данные и проверять логичность изменения различных показателей. Например, при увеличении скорости поступления транзактов в программу они должны накапливаться в очередях, а при более редком их поступлении — очереди должны рассасываться. Необходимо использовать в полной мере все *Окна GPSS World* как поотдельности, так и в различных комбинациях.

**На четвёртой стадии курсового проектирования** в ходе проведения имитационного эксперимента следует продумать, какие именно переменные в модели необходимо менять и как это должно отразиться на работе программы. Затем следует провести пробные эксперименты, получить результирующие данные, обдумать их и решить, какие именно эксперименты следует оставить и, возможно, повторить. При этом первоначальная программа экспериментальных исследований может измениться. Например, пусть предполагалось варьировать некий параметр модели в широком диапазоне и с большим количеством вариантов значений. Но в процессе пробных имитационных экспериментов оказалось, что влияние данного параметра чрезвычайно слабо, поэтому проводить все запланированные с ним эксперименты не представляет интереса. В результате можно провести несколько прогонов программы, чтобы показать его слабое влияние, и отразить это в отчёте. А все ранее планировавшиеся эксперименты с этим параметром заменить этими несколькими.

**На пятой стадии курсового проектирования** выполняет оформление пояснительной записки и текста программы. Следует ясно понять, что оформление является важнейшим этапом разработки любой программы, так как она, как правило, создаётся разработчиком не для самого себя, а для других пользователей. При написании программы следует записать полный текст задания и показать в комментариях назначение и особенности про-

граммы. В построчных комментариях следует исходить из того, что они выполняют, как минимум, две функции. Во-первых, они, как и все комментарии, разъясняют просматривающему программу назначение конкретных операторов и операндов. Во-вторых, построчные комментарии отображаются в шаговом режиме при отладке программы. Поэтому они в своей совокупности должны представлять связный рассказ о событиях в программе. Следует учесть также то обстоятельство, что в строках очень мало места. Продление комментариев далеко вправо может привести к тому, что они не будут помещаться в лист бумаги при распечатке листингов. Перенос комментариев в нижние строки возможен, но следует помнить, что записанные в них части комментария не будут отображаться в шаговом режиме. В целом текст программы следует хорошо структурировать и дать каждому отдельному фрагменту своё название, отражающее выполняемые фрагментом программы операции. Важно помнить, что в GPSS World последовательность работы операторов определяется не только их расположением "сверху вниз", но и воздействием на них транзактов. Во многих случаях перемещение фрагмента программы вверх или вниз не сказывается на её работе. Этим можно воспользоваться, выстраивая тело программы наиболее рациональным для восприятия образом. Следует также помнить о необходимости распечатки листингов и предусмотреть такую длину строки, чтобы она помещалась в стандартный лист бумаги при стандартном кегле шрифта. При оформлении пояснительной записки в неё вставляется листинг программы, при этом может возникнуть много мелких неурядиц. Например, в GPSS World каждый элемент строки (метка, оператор, операнд, комментарий) располагаются через определённое значение табуляции. Эти табуляции, оказавшись внутри текста MS Word, могут вызывать смещение элементов строки по сравнению с оригинальным листингом. Вообще, в пояснительной записке для отображения листинга следует использовать моноширинный шрифт, например, Courier. Оформление пояснительной записки должно выполняться с применением встроенных средств автоматизации MS Word. В частности, автоматическая нумерация разделов, страниц и рисунков. Ссылки на рисунки необходимо делать также с применением средств автоматизации. Необходимо использовать также в полной мере механизм стилей MS Word для того, чтобы выделить в тексте соответствующие элементы — операторы, операнды и т. д. При описании работы программы следует в полной мере использовать эти возможности оформления. В данном случае студент получает не только навыки составления текста, но и его оформления. Количество таких выделений небольшое, а потому данная работа вполне уместна и не займёт у студента много времени. В то же время, наработка таких оформительских навыков положительно сказывается на повышении производительности труда инженера.

### 3 Защита курсового проекта и его оценка

Защита курсового проекта включает три этапа его оценивания преподавателем.

**Первый этап оценивания** проходит в форме консультаций, когда студент вправе показывать преподавателю проект с ошибками. На этом этапе допускается исправление ошибок, улучшение программы. Преподаватель может подсказывать студенту общие идеи решений, но студент сам должен находить пути их реализации. На этом этапе преподаватель старается оценить способность студента к самостоятельной работе, умение самообучаться, читать литературу, находить интересные решения.

**Второй этап оценивания** связан с получением результатов моделирования. В данном случае оценивается грамотность постановки задачи имитационного моделирования, умение использовать различные встроенные инструменты. Студент должен показать работу программы, объяснить смысл принятых им программистских решений, продемонстрировать работу программы в различных режимах. На этом этапе оценивается конечный результат программирования, способность студента получать требуемые результаты, используя соответствующие встроенные инструменты GPSS World (окна и т. д.).

**Третий этап оценивания** связан с предоставлением отчёта в бумажной копии. В данном случае, после всех "доводок" проекта на первом этапе, проверяется правильность оформления, грамотность формулировок, соответствие оформлению студентам. На этом этапе происходит, собственно, защита курсового проекта с предъявлением комиссии (или преподавателю) отчёта в бумажной форме, демонстрацией программы, кратким докладом и ответами на вопросы. Здесь оценивается способность представить свою работу, умение сделать доклад, качество ответов на вопросы. Вопросы могут касаться как практики программирования в GPSS World (применительно к заданию на курсовое проектирование), так и некоторых общетеоретических вопросов, связанных с имитационным моделированием в целом.

Общая оценка складывается из частных оценок, полученных на всех трёх этапах.

### 4 Задания на курсовое проектирование

Задание на курсовое проектирование выбирается из ниже следующих заданий в соответствии с указаниями преподавателя и с учётом своего номера по порядку в списке группы.

#### Задание 1. Проектный отдел

В проектном отделе разрабатывают новые изделия. Этим занимаются 4 проектировщика, каждый из которых специализируется на своём этапе проектирования. Весь процесс проектирования можно разбить на 4 этапа, за каждый из которых отвечает отдельный проектировщик. Задания на проекти-

рование поступают через каждые  $A \pm B$  дней. Проектирование на каждом этапе занимает  $C_k \pm D_k$  дней, где  $k$  — номер проектировщика (номер этапа). Обычно проектирование протекает от 1-го этапа ко 2-му и т. д. Но может прийти срочный заказ и тогда необходимо выполнить в первую очередь его. 1-й проектировщик откладывает выполнявшийся ранее проект и начинает тот час заниматься новым, а остальные пока продолжают заниматься прежними проектами. Когда материалы срочного проекта доходят до очередного проектировщика, он начинает заниматься им, откладывая предыдущую работу. После окончания срочной работы каждый проектировщик возвращается к своей прежней работе и заканчивает её. Проанализировать работу на 10 проектах, из которых 2 оказываются срочными (выбор — случайным образом). Два последовательных срочных проекта выстраиваются в очередь.

### **Задание 2. Турникет на стадионе**

На стадион болельщики проходят через турникет (три прохода) и двери (2 двери). Между турникетом и дверями имеется коридор, в котором могут скапливаться люди (не более 20 человек). Если коридор заполнен, то контролёр прекращает пропуск людей через турникет. Имеется также некоторое количество (10% от входящих), которые проходят через турникет без очереди, а в двери — по очереди. Интервал появления болельщиков — через каждые  $A \pm B$  секунд, время прохождения через турникет —  $C \pm D$  секунд, время прохождения по коридору —  $E \pm F$  секунд. Промоделировать поток болельщиков в течение 10 минут, оценить возможность образования очередей перед турникетом и перед дверями.

### **Задание 3. Речной порт**

Речной порт имеет 4 места для причаливания (4 причала). В порт заходят различные речные суда — некоторые из них небольшие (60% от общего количества судов) и занимают только 1 причал, другие — средние (30% от общего количества судов) и занимают 2 причала, есть также большие суда (10% от общего количества судов), которые одновременно занимают три причала. Суда заходят в порт через каждые  $A \pm B$  часов. Небольшие суда обслуживаются в течение  $C \pm D$  часов, средние суда обслуживаются в течение  $E \pm F$  часов, большие суда обслуживаются  $G \pm H$  часов. При этом  $A < E < G$ . Если судну некуда причалить (не хватает нужного количества причалов), оно ждёт на рейде порта в очереди. Порт работает круглосуточно. Проанализировать процесс обслуживания 40 судов.

### **Задание 4. Автомобильная парковка**

Перед административным зданием расположена автомобильная парковка, разделённая на 3 зоны с общим количеством мест 55: для руководства учреждения (5 мест), для рядовых сотрудников (30 мест) и для прочих граждан (20 мест). К зданию в течение всего рабочего подъезжают автомобили, из которых 10% принадлежат руководителям учреждения, 20% — сотрудникам

учреждения, 70% — прочим гражданам. При наличии свободных мест в зоне для прочих граждан могут парковаться все подъехавшие, в зоне для сотрудников — только сотрудники и руководители, в зоне для руководителей — только руководители. Время появления нового автомобиля  $A \pm B$  минут, время занимания зоны для руководства  $C \pm D$  минут, время занимания зоны для сотрудников  $E \pm F$  минут, время занимания зоны для прочих граждан  $G \pm H$  минут, причём  $G < C < E$  (прочие граждане, видимо, клиенты, постоянно приезжают и отъезжают, руководители также время от времени уезжают и возвращаются, рядовые сотрудники уезжают редко, в основном приезжают). В середине рабочего дня на время обеденного перерыва въезд для прочих граждан закрывается на 1 час. Автомобили, не имевшие возможности припарковаться, уезжают. Проанализировать работу парковки. Необходимо подобрать такие параметры (число мест в каждой зоне), чтобы руководство и сотрудники могли всегда припарковаться.

### **Задание 5. Биатлон**

Биатлонисты выходят на старт вчетвером и стартуют с интервалом 1 мин. Трасса позволяет бежать сразу 4 биатлонистам. Имеется 2 огневых рубежа, между которыми нужно бежать на лыжах. Чтобы добежать до первого рубежа, требуется время (у каждого биатлониста — своё)  $A \pm B$  минут. На первом огневом рубеже биатлонисты задерживаются на время  $C \pm D$  минут, делая выстрелы. Каждый биатлонист может выстрелить точно, а может промахнуться. За каждый промах ему нужно бежать круг, на что может уйти  $E \pm F$  минут. Время до второго огневого рубежа составляет  $G \pm H$  минут и там тоже возможны промахи и у каждого биатлониста возможен штрафной круг со временем  $I \pm J$ . До финиша время занимает  $K \pm L$  минут. Незадолго до финиша один из биатлонистов (случайным образом) выбывает из гонки (травма, поломка лыж и т. п.). Требуется определить распределение мест на финише (какой биатлонист какое место займёт).

### **Задание 6. Канцелярия**

В канцелярию учреждения поступает корреспонденция для 5 подразделений: 20% корреспонденции для подразделения 1, 10% — для подразделения 2, 30% — для подразделения 3, 25% — для подразделения 4, 15% — для подразделения 5. Обработкой корреспонденции занимаются 2 сотрудника. Корреспонденция поступает сразу вся (например, 100 почтовых отправок) в 8:00 и затем обрабатывается: регистрируется одним человеком в течение  $A \pm B$  минут, сортируется другим в течение  $C \pm D$  минут по подразделениям. Когда накапливается 10 почтовых отправок для одного подразделения, второй сотрудник прекращает заниматься сортировкой и относит эти 10 почтовых отправок в соответствующее подразделение, что занимает некоторое время  $E \pm F$  минут. Затем он возвращается на своё место и продолжает сортировать почтовые отправления. Продолжительность рабочего дня 8 часов. Времена обработки задать самостоятельно, исходя из оценки реальных

операций. Требуется определить общее время, необходимое для раздачи всей корреспонденции по подразделениям; сколько нерозданных почтовых отправок останется к концу рабочего дня при выбранных параметрах, какое количество почтовых отправок может обработать канцелярия за день.

### **Задание 7. Сборочный цех**

С сборочном цехе имеются два участка для сборки двух различных агрегатов из готовых деталей: агрегата 1 и агрегата 2. Поступают детали шести типов: деталь 1, деталь 2, деталь 3, деталь 4, деталь 5, деталь 6. Для агрегата 1 используются детали (деталь 1, деталь 2, деталь 3, деталь 4), для агрегата 2 используются детали (деталь 1, деталь 2, деталь 5, деталь 6), т. е. часть деталей — одинакова (деталь 1 и 2, а часть — различные). Время поступления деталей различное, хотя детали 1 и 2 в целом поступаю чаще, так как их нужно больше. Последовательность монтажа деталей значения не имеет. После комплектации агрегата он отправляется на склад готовой продукции. Одновременно могут собираться только по одному экземпляру агрегата 1 и агрегата 2. Требуется проанализировать процессы сборки. Время появления различных деталей задать самостоятельно.

### **Задание 8. Участок упаковки готовых изделий**

В цехе имеется участок упаковки готовых изделий четырёх типов в ящики. Изделия поступают на участок упаковки случайным образом: некоторая доля из них — изделия первого вида, некоторая — второго, некоторая — третья, некоторая — четвёртого (доли задать самостоятельно). Возможна упаковка изделий различного типа в один и тот же ящик, но только в следующих сочетаниях: изделия 1 и 2, изделия 2 и 3, изделия 3 и 4, изделия 1 и 3. Т. е. преимущественно упаковываются детали одного и того же типа, но возможно "доложить" в каждый ящик изделие "сочетаемого" с ним типа, чтобы быстрее заполнить ящики, чтобы, например, отправить их затем заказчику. Требуется проанализировать процесс упаковки, заполнения. Вместимость ящиков задать самостоятельно (может быть разная), время поступления изделий также задать самостоятельно.

### **Задание 9. Столовая**

Имеется заводская столовая с раздаточным участком в форме длинного прилавка, вдоль которого движется очередь, а в её конце имеется касса. Имеется четыре модуля: для первых блюд, вторых, третьих и дополнительных (газированная вода, пиво и т. п.). В конце располагается касса. Все посетители встают в очередь и двигаются в ней от начала очереди к кассе. Некоторые из них берут все составляющие обеда (первое, второе, третье и прочее). Некоторые — только первое и второе, некоторые — только второе и третье и т. д. во всех возможных комбинациях. Известны вероятностные характеристики (процент): сколько посетителей берут первое, сколько второе, сколько третье: из задать самостоятельно. Известно время получения первого (нали-

вают в тарелку), второго (кладут в тарелку несколько ингредиентов — например, котлету и гарнир, поливают соусом), третьего (просто берётся стакан с компотом, чаем или т. п.), дополнительных продуктов (требуется время для выбора). Требуется определить среднее количество посетителей, которые могут быть обслужены в течение 3 часов (интенсивность появления посетителей известна, её следует задать самостоятельно), наличие очередей перед каждым модулем участка. Варьировать время задержки на каждом модуле и относительно количество желающих получить различные вида блюд.

### **Задание 10. Перекрёсток**

В городе имеется перекрёсток двух улиц (улица 1 и улица 2) с односторонним движением без светофора: одна из них имеет две полосы, а вторая — три полосы для движения. Проезд регулируется знаками дорожного движения: преимуществом пользуются автотранспортные средства, движущиеся по улице 1 (главная дорога). Интенсивность появления автомобилей по каждой полосе задаётся самостоятельно. Движение автомобилей по главной дороге существенно ниже, чем по второстепенной (иначе с второстепенной дороги никто никогда не проедет перекрёсток). Проанализировать работу перекрёстка.

### **Задание 11. Отдел по обслуживанию посетителей**

В отделе имеется 4 сотрудника. Каждый работает со своей скоростью (влияет сложность вопроса) и занимается только своим вопросом: вопрос 1, вопрос 2, вопрос 3 и вопрос 4. Входящие посетители делятся на тех, у которых только 1 вопрос или 2 вопроса (в различных сочетаниях). Какие именно вопросы — задаётся случайным образом. Проанализировать работу отдела, возникновение очередей, количество обслуживаемых посетителей за 1 рабочий день (8 часов).

### **Задание 12. Отдел обслуживания**

В отделе реализован "конвейер" обслуживания посетителей в виде 4 последовательных столов (перед каждым — своя очередь). Вначале посетители встают в общую очередь к первому столу и получают указание, куда идти дальше. У следующего стола они получают указание на дальнейшее продвижение — и так далее, пока не обойдут все четыре стола. Таким образом, траектории движения у каждого — свои, но все должны пройти все четыре стола. проанализировать работу отдела. Самостоятельно задать время обслуживания за каждым столом, вероятность выбора следующего стола, интенсивность появления посетителей. Проанализировать работу отдела, возникновение очередей, количество обслуживаемых посетителей за 1 рабочий день (8 часов).

**Задание 13. Выдача заработной платы**

Имеется три окошечка кассы для выдачи заработной платы (три кассы). В каждой кассе имеется отдельный кассир. Получающие заработную плату могут вставать в любую кассу, формируя очередь. В каждой кассе выдают заработную плату любому (имеется общий список получающих заработную плату на все кассы). Но каждый кассир работает со своей скоростью. Время выдачи заработной платы зависит от её размера (чем больше сумма, тем дольше её считать). Каждый вновь подходящий старается встать в ту очередь, которая меньше. Время работы кассиров (разные) задаются самостоятельно, время получения и пересчёта денег (в зависимости от полученной суммы) разное и задаётся самостоятельно. Требуется проанализировать время работы каждой кассы при выдаче заработной платы заданному количеству работников, возможность выдачи всей заработной платы всем работникам за 4 часа (в послеобеденное время), количество работников, которое можно обслужить за 4 часа.

**Задание 14. Перевозка грузов**

Необходимо перевозить поступающие грузы различными автомобилями с различной грузоподъёмностью (автомобиль 1, автомобиль 2, автомобиль 3). В каждый автомобиль вмещается различное количество грузов. Грузы упакованы в стандартные ящики одинакового размера. Каждый автомобиль везёт грузы в определённое место, а затем возвращается. Каждый груз имеет своё назначение (поступление грузов и место их назначения задаётся случайным образом). Автомобили начинают движение после того, как будут полностью загружены или после того, как простоят некоторое количество времени (если в них всё-таки попало какое-то количество груза), чтобы успеть вернуться в течение рабочего дня. Проанализировать работу автомобилей.

**Задание 15. Летнее кафе**

Имеется кафе с 8 столиками по 4 посадочных места за каждым. Входят посетители и случайным образом усаживаются за столики. Каждый столик обслуживается своим официантом. Каждый посетитель делает свой заказ и поэтому время нахождения его за столиком своё. Официант может быть занят и принимает заказы только, когда освободится (т. е. может быть задержка в принятии им заказа). Требуется проанализировать работу кафе.

**Задание 16. Подготовка к экзамену**

Студенты готовятся к экзамену, используя несколько источников: учебник (2 шт.), монография (3 шт.), конспект лекций (5 шт.), методические указания (3 шт.). Имеется определённая последовательность чтения материала: первоначально должны читаться лекции, затем монография или учебник, затем — методические указания. Время изучения вопроса не зависит от студента, но только от вида источника. Проанализировать ход подготовки к экзамену группы из 15 человек.

### **Задание 17. Автобусная станция**

На автобусную станцию через заданные интервалы времени прибывает очередной автобус из дальнего населённого пункта. Автобусная станция имеет 6 посадочных зон для высадки и посадки. По каждому маршруту работает несколько автобусов, т. е. возможны очереди на занятие посадочной зоны. Любой автобус может использовать любую посадочную зону. Время высадки и посадки пассажиров различное для различных маршрутов (так как количество желающих ехать зависит от мест назначения). Проанализировать работу автобусной станции.

### **Задание 18. Осмотр достопримечательностей туристами**

В городе с 4 достопримечательностями появляются туристические группы. Время осмотра для каждой группы — различное (в зависимости от проявляемого интереса). время прибытия групп также различное. Последовательность осмотра — случайная, но с учётом того, что каждую достопримечательность могут одновременно осматривать не более двух групп. Проанализировать процесс осмотра.

### **Задание 19. Музей**

В музее имеется несколько залов с экспонатами: один основной зал и 8 залов ответвлений (радиальная архитектура). В основном зале одновременно может находиться любое количество посетителей, а в боковых залах — не более 5. Последовательность посещения боковых залов — произвольная, время посещения — произвольное с возвратом посетителя в основной зал для перехода в другой боковой. Каждый посетитель осматривает только те залы, которые ему интересны (случайное число залов). Новые посетители запускаются в основной зал только при условии, что в нём число посетителей не более заданного количества (например, 40). Требуется проанализировать работу музея.

### **Задание 20. Ресторан**

В ресторане один официант обслуживает 3 столика. К этим столикам подходят клиенты через каждые  $A \pm B$  минут. Официант сразу подходит к новому клиенту, если не занят с предыдущими. Первоначально клиенты делают заказ, что занимает  $C \pm D$  минут (в это время официант занят). Затем официант приносит клиентам заказанные блюда (выполнение заказа занимает  $E \pm F$  минут). Проанализировать работу официанта время пустого ожидания клиентов (перед заказом и при ожидании выполнения заказа) в течение 8 часов.

### **Задание 21. Спортивный зал**

В спортивном зале имеются 5 типов тренажёров. Клиенты появляются через каждые  $A \pm B$  минут. Некоторые хотят заниматься только на одном из тренажёров, некоторые — на нескольких (1+2+3, 3+4+5, 2+3+5). Время занятия каждого тренажёра различается, различно для каждого клиента и состав-

ляет  $C_k \pm D_k$  минут, где  $k$  — номер тренажёра. Если необходимы тренажёр занят, то клиент ждёт. Проанализировать очереди клиентов к соответствующим тренажёрам. Моделировать процессы в течение 8 часов работы.

### **Задание 22. Поездка в автобусе**

Автобус едет по маршруту. Число мест в автобусе 20, а пассажиров может быть больше, не более 30. На каждой остановке в автобус входит и из автобуса выходит некоторое количество пассажиров. Количество входящих пассажиров зависит от времени движения автобуса между остановками: чем больше время поездки, тем больше на следующую остановку успеет прийти потенциальных пассажиров и тем больше их войдёт в автобус. Это моделируется приходом на каждую остановку пассажиров с интервалом появления  $A \pm B$  минут. Выходит пассажиров  $C \pm D$ . Всего 10 остановок. Время поездки между остановками разное и составляет  $E \pm F$  минут. Проанализировать колебания количества пассажиров в автобусе и наличие в нём свободных сидячих мест.

### **Задание 23. Читальный зал библиотеки**

В библиотеке читатель вначале встаёт в очередь, чтобы сделать заказ на необходимую литературу. Каждый читатель появляется через  $A \pm B$  минут. Приём заказа длится  $C \pm D$  минут. Затем читатель ждёт выполнения заказа, что может занять  $E \pm F$  минут, и работает с литературой в течение  $G \pm H$  минут. Имеется 20 столов, за которыми может работать читатель. Если столики заняты, то читатель не может работать с литературой (но может стоять в очереди, чтобы сделать заказ, или ожидать выполнения заказа). Проанализировать работу библиотеки в течение 10 часов. Библиотекарь уходит на обед в середине дня на 30 минут. Очередь не расходуется и ожидает его возвращения.

### **Задание 24. Лифт**

Лифт едет между этажами в 5-этажном доме. На любом из этажей может появиться жилец, желающий ехать в лифте, и вызвать его (через каждые  $A_k \pm B_k$  минут, где  $k$  — номер этажа). В лифт вмещается до 4 человек. Если есть пустое место, новый пассажир входит, если нет, то ждёт нового прихода лифта. Время движения лифта между соседними этажами  $C \pm D$  минут. Все пассажиры едут с верхнего этажа на нижний. Лифт вызывается с нижнего этажа на самый верхний, даже если есть вызовы с других этажей. Проанализировать работу лифта в течение нескольких часов (выбрать самостоятельно).

### **Задание 25. Билетная касса**

На железнодорожном вокзале имеется 3 кассы: 2 обычные и 1 для военных. Пассажиры появляются через каждые  $A \pm B$  минут. Время обслуживания в кассах зависит от обстоятельств и составляет  $C_k \pm D_k$  минут, где  $k$  — номер кассы. 10% пассажиров — военные, которые идут обслуживаться в военную

кассу. Гражданские пассажиры обслуживаются в двух других кассах, но если военная касса пуста, то они могут обслуживаться в ней в порядке очереди. Если появляется военный, то он обслуживается вне очереди, но только в военной кассе. Проанализировать работу касс в течение 8 часов.

### **Задание 26. Аэропорт**

В аэропорт через каждые  $A \pm B$  минуты прибывает самолёт. Аэропорт имеет 4 взлётно-посадочные полосы. Через каждые  $C \pm D$  минут из аэропорта взлетает самолёт. При посадке самолёт занимает полосу в течение  $E \pm F$  минут, а при взлёте  $G \pm H$  минут. Если все полосы заняты, то самолёты занимают очередь на посадку или взлёт. Проанализировать процессы в аэропорту, очереди на взлёт и посадку при различных временах появления самолётов и фиксированных временах занятия ими взлётно-посадочной полосы. Время анализа выбрать самостоятельно.

### **Задание 27. Супермаркет**

В магазине имеется 4 отдела и 2 кассы. Посетители появляются через каждые  $A \pm B$  минуты. Часть из посетителей посещает только один из отделов (любой — случайным образом), часть — 2 любых отдела, часть — 3 любых отдела, часть — все отделы. В каждом отделе покупатель задерживается на  $C_k \pm D_k$  минут, где  $k$  — номер отдела. Кассы обслуживают покупателей в течение  $E_j \pm F_j$  минут, где  $j$  — номер кассы. Если очередь в отдел больше 4 человек, то покупатель идёт дальше (в зависимости от типа покупателя — в следующий отдел или на выход). Если очередь в кассу больше, чем 10 человек, то покупатель не проходит в магазин. Самостоятельно задать времена, вероятности распределения покупателей по отделам. Моделировать процессы в течение 1 рабочего дня (8 часов). Исследовать появление очередей в отделах и в кассе в зависимости от времени обслуживания в кассе и времён обслуживания в отделах.

### **Задание 28. Автозаправочная станция**

Автозаправочная станция имеет 4 автозаправочные колонки — каждая со своим видом топлива (дизельное, А80, А93, А96). С интервалом  $A \pm B$  минут к станции подъезжает новый автомобиль. Заправка продолжается в течение  $C_k \pm D_k$  минут, где  $k$  — номер колонки. С некоторой вероятностью автомобили распределяются по видам топлива, которым они хотят заправиться. Если у соответствующей колонки — очередь из двух автомобилей (один заправляется и один ждёт), то новый автомобиль уезжает без заправки. Необходимо подсчитать, сколько автомобилей будет заправлено, а сколько — нет. Времена появления автомобилей и продолжительность заправки у каждой колонки задать самостоятельно. Промоделировать 10 часов работы станции.

**Задание 29. Банк**

В банке имеются 3 окошечка и два банкомата. Посетители приходят, чтобы выполнить две операции — снять деньги (в банкомате или одном из окошечек), а также для решения других вопросов (только в окошечках). Если банкомат свободен, то деньги снимают в нём (так как за это не берётся плата). Если банкоматы заняты, то клиенты встают в очередь. Если очередь больше 2 человек, то клиенты идут к одному из окошечек, где очередь меньше. Клиенты появляются через каждые  $A \pm B$  минут, обслуживаются в банкомате в течение  $C \pm D$  минут, обслуживаются в окошечках  $E \pm F$  минут. Промоделировать работу банка в течение рабочего дня (8 часов).

**Задание 30. Автоматизированный участок цеха**

В цехе производится обработка деталей на 3 различных станках с числовым программным управлением (каждый станок настроен на выполнение определённых автоматических операций). Часть деталей обрабатывается только на 1 станке, часть на 2 станках (последовательно), часть на всех 3 станках. Порядок обработки деталей на 1 или на 2 станках не имеет значения, но на третьем станке деталь должна быть обработана только после того, как будет обработана на первых двух станках. Время поступления заготовки через каждые  $A \pm B$  минут, время обработки на каждом станке  $C_k \pm D_k$  минут, где  $k$  — номер станка. Задать времена поступления заготовок и обработки и на соответствующих станках, а также доли деталей, которые обрабатываются только на 1 станке, на 2 станках и на 3 станках. Промоделировать работу автоматизированного участка цеха в течение 8 часов. Исследовать процесс образования очередей при перемещении заготовки между станками.

**Задание 31. Ремонтный участок**

На ремонтном участке имеются 2 различных измерительно-диагностических комплекса, с помощью которых выявляются дефекты в ремонтируемом изделии. Имеется также ремонтное оборудование 4 типов. Если обнаружен дефект 1-го типа, то ремонт происходит на оборудовании 1 и 3, если дефект 2-го типа — то на оборудовании 1, 2 и 4. Заранее не известно, какие именно дефекты будут обнаружены в ремонтируемом изделии. Изделия поступают через каждые  $A \pm B$  минут. Их пропускают через один из измерительно-диагностических комплексов (всё равно какой). Если дефект выявлен, то изделие направляется на обработку на соответствующее ремонтное оборудование. Если дефект не выявлен, то изделие направляется на другое ремонтное оборудование. Если дефектов нет, то изделие не ремонтируется. Время занятия ремонтного оборудования  $C_k \pm D_k$ , где  $k$  — номер оборудования. Самостоятельно задать времена поступления изделия и занятия оборудования, вероятности наличия одного, второго или отсутствия дефектов. Промоделировать работу ремонтного участка в течение рабочего дня (8 часов).

**Задание 32. Сдача курсовой работы в компьютерном классе**

Имеется группа студентов 20 человек. Необходимо сдать курсовую работу по программированию, продемонстрировав работу программы на компьютере. В классе имеется 6 компьютеров. Время прихода студентов — через каждые  $2 \pm 1$  минуты. Время установки программы на компьютер  $3 \pm 1$  минуты. Время демонстрации работы программы  $5 \pm 1$  минуты. Через 30 минут преподаватель, принимающий курсовую работу, уйдёт и вернётся через 20 минут. Смоделировать процесс, исследовать очередь студентов, определить общее время сдачи курсовой работы.

**Задание 33. Проведение лабораторных работ**

По учебной дисциплине необходимо выполнить 5 лабораторных работ на специальных установках (каждая установка предназначена для выполнения лабораторной работы одного типа). Продолжительность выполнения работы зависит от квалификации студента и может составлять  $A_k \pm B_k$  минут, где  $k$  — номер лабораторной работы. Группа состоит из 20 студентов. Продолжительность одного занятия 90 минут. Если время выполнения лабораторной работы не укладывается во время занятий, то лабораторная работа выполняется с начала на следующем занятии. Необходимо определить, сколько занятий потребуется, чтобы все студенты выполнили все лабораторные работы. Времена задать самостоятельно.

**Задание 34. Локальная компьютерная сеть**

Имеется сервер и 3 подключенных к нему локальных компьютера. Один из компьютеров имеет более высокий приоритет по сравнению с другими. Компьютер с более высоким приоритетом требует услуги сервера через каждые  $10 \pm 2$  секунды, остальные компьютеры — через каждые  $5 \pm 3$  секунды. При подключении компьютера с более высоким приоритетом остальные подключенный компьютер временно отключается, а затем подключается вновь. Проанализировать работу сети и наличие очередей. Варьировать времена работы локальных компьютеров.

**Задание 35. Ателье по ремонту телевизоров**

В ателье по ремонту телевизоров поступают в течение дня телевизоры через каждые  $A \pm B$  минуты. В ателье работают 3 мастера, каждый из которых специализируется на той или иной неисправности. Входной контроль устанавливает, какая именно неисправность (всего их может быть 3) имеется у телевизора и он направляется для ремонта соответствующему мастеру. У телевизора может быть первая, вторая, третья, первая и вторая, первая и третья, вторая и третья или все 3 неисправности. Соответственно этому он должен ремонтироваться у соответствующих мастеров. Время ремонта различается для каждого телевизора и у каждого мастера составляет  $C_k \pm D_k$  минут, где  $k$  — номер мастера. Проанализировать работу ателье в течение рабочей недели (5 рабочих дней по 8 часов).

**Задание 36. Аэропорт**

В аэропорт через каждые  $A \pm B$  минуты прибывает самолёт. Аэропорт имеет 4 взлётно-посадочные полосы. Через каждые  $C \pm D$  минут из аэропорта взлетает самолёт. При посадке самолёт занимает полосу в течение  $E \pm F$  минут, а при взлёте  $G \pm H$  минут. Если все полосы заняты, то самолёты занимают очередь на посадку или взлёт. Проанализировать процессы в аэропорту, очереди на взлёт и посадку при различных временах появления самолётов и фиксированных временах занятия ими взлётно-посадочной полосы. Время анализа выбрать самостоятельно.

**Задание 37. Телефонная станция**

Имеется офисная телефонная станция с 4 линиями, к которым подключено несколько телефонов (количество задать самостоятельно). От каждого телефона поступают вызовы с некоторой интенсивностью, каждый разговор занимает некоторое количество минут. Если все линии заняты, то соответствующий абонент начинает дозваниваться (т. е. встаёт в очередь) или отказывается от звонка (поведение абонента — случайное). Проанализировать работу телефонной станции в течение некоторого промежутка времени.

**Задание 38. Кафе**

В ресторане один официант обслуживает 3 столика. К этим столикам подходят клиенты через каждые  $A \pm B$  минут. Официант сразу подходит к новому клиенту, если не занят с предыдущими. Первоначально клиенты делают заказ, что занимает  $C \pm D$  минут (в это время официант занят). Затем официант приносит клиентам заказанные блюда (выполнение заказа занимает  $E \pm F$  минут). Проанализировать работу официанта время пустого ожидания клиентов (перед заказом и при ожидании выполнения заказа) в течение 8 часов.

**Задание 39. Тренажёрный клуб**

В тренажёрном клубе имеются 6 типов тренажёров. Клиенты появляются через каждые  $A \pm B$  минут. Некоторые хотят заниматься только на одном из тренажёров, некоторые — на нескольких ( $1+2+3$ ,  $3+4+6$ ,  $2+3+6$ ). Время занятия каждого тренажёра различается, различно для каждого клиента и составляет  $C_k \pm D_k$  минут, где  $k$  — номер тренажёра. Если необходимы тренажёр занят, то клиент ждёт. Проанализировать очереди клиентов к соответствующим тренажёрам. Моделировать процессы в течение 8 часов работы.

**Задание 40. Читальный зал библиотеки**

В библиотеке читатель вначале встаёт в очередь, чтобы сделать заказ на необходимую литературу. Каждый читатель появляется через  $A \pm B$  минут. Приём заказа длится  $C \pm D$  минут. Затем читатель ждёт выполнения заказа, что может занять  $E \pm F$  минут, и работает с литературой в течение  $G \pm H$  минут. Имеется 20 столов, за которыми может работать читатель. Если столики заняты, то читатель не может работать с литературой (но может стоять в оче-

реди, чтобы сделать заказ, или ожидать выполнения заказа). Проанализировать работу библиотеки в течение 10 часов. Библиотекарь уходит на обед в середине дня на 30 минут. Очередь не расходуется и ожидает его возвращения.

#### **Задание 41. Лифт в многоэтажном доме**

Лифт едет между этажами в 9-этажном доме. На любом из этажей может появиться жилец, желающий ехать в лифте, и вызвать его (через каждые  $A_k \pm B_k$  минут, где  $k$  — номер этажа). В лифт вмещается до 4 человек. Если есть пустое место, новый пассажир входит, если нет, то ждёт нового прихода лифта. Время движения лифта между соседними этажами  $C \pm D$  минут. Все пассажиры едут с верхнего этажа на нижний. Лифт вызывается с нижнего этажа на самый верхний, даже если есть вызовы с других этажей. Проанализировать работу лифта в течение нескольких часов (выбрать самостоятельно).

#### **Задание 42. Турникет на стадионе**

На стадион болельщики проходят через турникет (три прохода) и двери (2 двери). Между турникетом и дверями имеется коридор, в котором могут скапливаться люди (не более 20 человек). Если коридор заполнен, то контролёр прекращает пропуск людей через турникет. Имеется также некоторое количество (10% от входящих), которые проходят через турникет без очереди, а в двери — по очереди. Интервал появления болельщиков — через каждые  $A \pm B$  секунд, время прохождения через турникет —  $C \pm D$  секунд, время прохождения по коридору —  $E \pm F$  секунд. Промоделировать поток болельщиков в течение 10 минут, оценить возможность образования очередей перед турникетом и перед дверями.

#### **Задание 43. Речной порт**

Речной порт имеет 4 места для причаливания (4 причала). В порт заходят различные речные суда — некоторые из них небольшие (60% от общего количества судов) и занимают только 1 причал, другие — средние (30% от общего количества судов) и занимают 2 причала, есть также большие суда (10% от общего количества судов), которые одновременно занимают три причала. Суда заходят в порт через каждые  $A \pm B$  часов. Небольшие суда обслуживаются в течение  $C \pm D$  часов, средние суда обслуживаются в течение  $E \pm F$  часов, большие суда обслуживаются  $G \pm H$  часов. При этом  $A < E < G$ . Если судну некуда причалить (не хватает нужного количества причалов), оно ждёт на рейде порта в очереди. Порт работает круглосуточно. Проанализировать процесс обслуживания 40 судов.

#### **Задание 44. Канцелярия**

В канцелярию учреждения поступает корреспонденция для 5 подразделений: 20% корреспонденции для подразделения 1, 10% — для подразделения 2, 30% — для подразделения 3, 25% — для подразделения 4, 15% — для

подразделения 5. Обработкой корреспонденции занимаются 2 сотрудника. Корреспонденция поступает сразу вся (например, 100 почтовых отправок) в 8:00 и затем обрабатывается: регистрируется одним человеком в течение  $A \pm B$  минут, сортируется другим в течение  $C \pm D$  минут по подразделениям. Когда накапливается 10 почтовых отправок для одного подразделения, второй сотрудник прекращает заниматься сортировкой и относит эти 10 почтовых отправок в соответствующее подразделение, что занимает некоторое время  $E \pm F$  минут. Затем он возвращается на своё место и продолжает сортировать почтовые отправления. Продолжительность рабочего дня 8 часов. Времена обработки задать самостоятельно, исходя из оценки реальных операций. Требуется определить общее время, необходимое для раздачи всей корреспонденции по подразделениям; сколько нерозданных почтовых отправок останется к концу рабочего дня при выбранных параметрах, какое количество почтовых отправок может обработать канцелярия за день.

#### **Задание 45. Участок упаковки готовых изделий**

В цехе имеется участок упаковки готовых изделий четырёх типов в ящики. Изделия поступают на участок упаковки случайным образом: некоторая доля из них — изделия первого вида, некоторая — второго, некоторая — третья, некоторая — четвёртого (доли задать самостоятельно). Возможна упаковка изделий различного типа в один и тот же ящик, но только в следующих сочетаниях: изделия 1 и 2, изделия 2 и 3, изделия 3 и 4, изделия 1 и 3. Т. е. преимущественно упаковываются детали одного и того же типа, но возможно "доложить" в каждый ящик изделие "сочетаемого" с ним типа, чтобы быстрее заполнить ящики, чтобы, например, отправить их затем заказчику. Требуется проанализировать процесс упаковки, заполнения. Вместимость ящиков задать самостоятельно (может быть разная), время поступления изделий также задать самостоятельно.

### **5 Правила оформления курсового проекта**

Курсовой проект содержит программную часть и пояснительную записку.

Программная часть представляется в электронном виде и демонстрируется при защите курсового проекта.

Пояснительная записка представляется в электронном и бумажном вариантах. Пояснительная записка выполняется в соответствии с действующими стандартами на оформление в СФУ для технических специальностей. Пояснительная записка содержит:

- 1) титульный лист;
- 2) задание на курсовое проектирование;
- 3) Содержание
- 4) Объект, цели и задачи моделирования
- 5) Программная модель

- 6) Пояснения к программной модели
  - 7) План модельного эксперимента
  - 8) Исследование функционирования модели
  - 9) Модельный имитационный эксперимент
- Список использованных источников

Титульный лист содержит информацию об организации (в данном случае — СФУ), разработчике и преподавателе. На бумажной версии пояснительной записки должна быть подпись студента. Здесь же проставляется оценка и подпись преподавателя.

На втором листе имеется основная надпись в соответствии со стандартами. Её необходимо заполнить. Записываются две фамилии без инициалов:

Разработал — фамилия студента;

Проверил — фамилия преподавателя.

Студент должен расписаться рядом со своей фамилией.

В основной надписи размещаются также: тема курсового проекта, номер группы, номер страницы и общее число страниц.

Строка в основной надписи: **190500 ДФ 230104.62 КП05 ПЗ** имеет следующий смысл:

190500 — код кафедры САПР по внутреннему кодификатору (каждое подразделение имеет свой код);

ДФ — дневной факультет;

230104 — номер направления подготовки;

.62 — бакалавры;

КП — "курсовой проект";

05 — номер варианта задания;

ПЗ — "пояснительная записка".

На последующих листах располагаются другие основные надписи, предназначенные для идентификации курсового проекта, к которому они относятся — этому служит строка кода курсового проекта.

Электронная версия пояснительной записки должна быть подготовлена в MS Word.

Листы пояснительной записки должны быть скреплены степлером (в левом поле — не менее двух скоб) или вставлены в скоросшиватель. Не допускается вложение в прозрачный файл, скрепление скрепкой, передача в нескреплённом виде.

Федеральное агентство по образованию  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Кафедра "Системы автоматизированного проектирования"

## **Курсовой проект**

### **Имитационное моделирование пешеходного перехода**

Учебная дисциплина:  
"Имитационное моделирование "

Выполнил студент гр. 7-1 \_\_\_\_\_ И. И. Иванов

Проверил профессор \_\_\_\_\_ П. П. Петров

Красноярск — 2007

## Задание

Смоделировать процессы с помощью программы GPSS World (студенческая бесплатная версия) для указанной задачи.

В процессе выполнения задания:

а) выявить особенности моделируемого объекта (процесса), разработать структуру программы, выбрать необходимые операторы GPSS, приёмы программирования;

б) написать текст программы в виде нескольких последовательно усложняющихся вариантов программы, начиная с простейших условий, и заканчивая учётом всех заданных условий;

в) составить план модельного эксперимента, включающий описание процесса моделирования (цель моделирования, задаваемые параметры, выбор окон для просмотра результатов, выводимые в них результаты, возможные выводы);

г) провести моделирования в соответствии с разработанным планом;

д) выполнить оценку результатов моделирования (наличие или отсутствие очередей, коэффициент использования различных устройств и др.);

е) оформить отчёт о выполнении задания.

Моделируемый объект: пешеходный переход.

**Условия задачи:** Имеется автомобильная дорога с односторонним движением, одной полосой (может проезжать одновременно только один автомобиль) и пешеходным переходом, снабжённым светофором (светофор один, направления синхронной работы светофоров — для автомобиля и пешехода). Автомобили подъезжают через каждые  $30 \pm 25$  секунд, пешеходы подходят через каждые  $20 \pm 15$  секунд. Автомобили проезжают через переход в течение  $10 \pm 2$  секунды, пешеходы проходят через переход в течение  $12 \pm 1$  секунды. Пешеходы и водители автомобилей дисциплинированы: проезжают и проходят только, если переход свободен и с соответствующей стороны горит зелёный свет.

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. инв №

Подпись и дата

Име. № подл.

**190500 ДФ 230104.62 КП05 ПЗ**

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Разработ.	Иванов			
Проверил	Петров			
Н.контр.				
Утвердил				

Имитационное  
моделирование  
пешеходного перехода.  
Отчет

Литера	Лист	Листов
	2	35

**7-1**

## Содержание

1 Объект, цели и задачи моделирования .....	4
2 Программная модель .....	5
3 Пояснения к программной модели .....	6
4 План модельного эксперимента .....	8
5 Исследование функционирования модели .....	9
6 Модельный имитационный эксперимент .....	11
Список использованных источников.....	12

Име. № подл.						190500 ДФ 230104.62 КП05 ПЗ	Лист
Подпись и дата							26
Взам. инв №							
Име. № дубл.							
Подпись и дата							
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

# 1 Объект, цели и задачи моделирования

## Объект моделирования

Пешеходный переход (Рисунок 1) располагается на автомобильной дороге с односторонним движением автомобилей по одной полосе. Имеется светофор, который работает синхронно в сторону автомобилей и в сторону пешеходов: когда в сторону автомобилей горит красный свет, в сторону пешеходов — зелёный, и наоборот. Жёлтый свет горит одновременно в обе стороны. Со стороны пешеходов одновременно через переход может проходить только один пешеход, со стороны автомобилей — проезжать только один автомобиль. Пешеходы и автомобилисты — дисциплинированные люди. Они двигаются только при условии, если для них горит зелёный свет и на переходе никого нет.

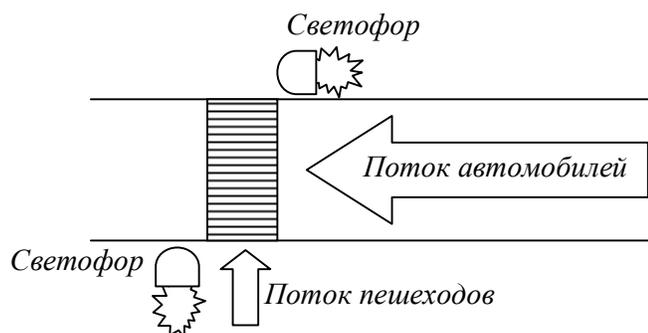


Рисунок 1 — Пешеходный переход

## Цель моделирования:

Исследование функционирования пешеходного перехода и анализ влияния времени горения светофора (зелёного и красного света) на очереди автомобилей и пешеходов.

## Задачи моделирования:

- выявить, какие окна GPSS и каким образом могут быть полезны для отражения информации о моделировании с учётом содержания модели и её программной реализации;
- проследить алгоритм функционирования модели пешеходного перехода с помощью окна Blocks Window и других окон программы GPSS;
- варьируя время горения зелёного и красного света светофора, определить статистику очередей автомобилей и пешеходов для каждого случая;
- сделать выводы по полученным результатам моделирования о целесообразном времени горения светофора (зелёного и красного света).

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. име №

Подпись и дата

Име. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2 Программная модель

Текст программы на GPSS имеет вид:

```

*=====
* GPSS World - Perehod.gps
*-----
* Вариант 11. Пешеходный переход
*-----
* Группа ИЭ21. Студент Иванов С.А.
*-----
* Дорога с односторонним движением и пешеходным переходом. Одновременно может
* подъехать только 1 автомобиль и подойти только 1 пешеход. Имеется светофор для
* автомобиля и пешехода.
*-----
* Поток автомобилей
*-----
GENERATE 30,25 ; Подъехал автомобиль
QUEUE Ocher_Avto ; Автомобиль встал в очередь перед переходом
TEST E X$Svet_Avto,F$Perehod ; Светофор автомобиля зелёный, переход пуст?
SEIZE Perehod ; Автомобиль поехал через переход
DEPART Ocher_Avto ; Автомобиль покинул очередь перед переходом
ADVANCE 10,2 ; Автомобиль едет по переходу
RELEASE Perehod ; Автомобиль освободил переход
TERMINATE 1 ; Проехавший автомобиль удаляется из модели
*-----
* Поток пешеходов
*-----
GENERATE 20,15 ; Подошёл пешеход
QUEUE Ocher_Pesh ; Пешеход встал в очередь перед переходом
TEST E X$Svet_Pesh,F$Perehod ; Светофор пешехода зелёный, переход пуст?
SEIZE Perehod ; Пешеход пошёл через переход
DEPART Ocher_Pesh ; Пешеход покинул очередь перед переходом
ADVANCE 12,1 ; Пешеход идёт по переходу
RELEASE Perehod ; Пешеход прошёл переход и освободил его
TERMINATE 1 ; Прошедший пешеход удаляется из модели
*-----
* Светофор
*-----
GENERATE , , , 1 ; Переключается светофор
Met1 SAVEVALUE Svet_Pesh,Jelt ; Жёлтый свет для пешехода включился
SAVEVALUE Svet_Avto,Jelt ; Жёлтый свет для автомобиля включился
ADVANCE J_Time ; Жёлтый свет горит
SAVEVALUE Svet_Pesh,Krasn ; Красный свет для пешехода включился
SAVEVALUE Svet_Avto,Zelen ; Зелёный свет для автомобиля включился
ADVANCE Z_Time ; Зелёный свет для автомобиля горит
SAVEVALUE Svet_Pesh,Jelt ; Жёлтый свет для пешехода включился
SAVEVALUE Svet_Avto,Jelt ; Жёлтый свет для автомобиля включился
ADVANCE J_Time ; Жёлтый свет горит
SAVEVALUE Svet_Pesh,Zelen ; Зелёный свет для пешехода включился
SAVEVALUE Svet_Avto,Krasn ; Красный свет для автомобиля включился
ADVANCE K_Time ; Красный свет для автомобиля горит
TRANSFER ,Met1 ; Переключение светофора (к метке Met1)
Z_Time EQU 200 ; Время зелёного света для автомобиля
K_Time EQU 200 ; Время красного света для автомобиля
J_Time EQU 50 ; Время жёлтого света
Zelen EQU 0 ; Условное значение зелёного света (0)
Krasn EQU 100 ; Условное значение красного света (не 0)
Jelt EQU 50 ; Условное значение жёлтого света (не 0)

```

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. име №

Подпись и дата

Име. № подл.

190500 ДФ 230104.62 КП05 ПЗ

Лист

28

Изм Лист № докум. Подпись Дата

### 3 Пояснения к программной модели

Программа разделена на три фрагмента: поток автомобилей, поток пешеходов, светофор. Расположение фрагментов не имеет значения, так как планировщик событий будет анализировать модельное время и включать нужные операторы в нужном месте.

Так как все события на переходе зависят от работы светофора, рассмотрим первоначально соответствующий фрагмент программы. С помощью операторов **EQU** (в самом конце программы) заданы некоторые параметры: время горения зелёного **Z\_Time**, красного **K\_Time** и жёлтого **J\_Time** света, условный код горения зелёного света **Zelen** (в соответствии с принятым приёмом проверки возможности движения через переход он должен быть 0), красного света **Krasn** (должен отличаться от 0) и жёлтого света **Jelt** (он должен быть, как и красный свет, не 0, но другого значения).

Работа светофора инициируется транзактом, вырабатываемым в первый момент времени оператором **GENERATE , , , 1**. Затем этот транзакт начинает перемещаться в непрерывном цикле между оператором безусловного перехода **TRANSFER , Met1** и меткой **Met1**, каждый раз производя соответствующие действия в операторах тела цикла. Поскольку в этом цикле нет оператора уничтожения транзакта **TERMINATE**, то этот единственный транзакт светофора является вечным и существует до тех пор, пока модель работает.

Модель светофора создана на основе совокупности операторов *Сохраняемых Величин* **SAVEVALUE** и временной задержки **ADVANCE**. В *Сохраняемых Величинах* **Svet\_Pesh** и **Svet\_Avto** записываются условные обозначения соответствующих цветов светофора (0 для зелёного света, 100 для красного и 50 для жёлтого). Алгоритм записи предусматривает синхронное переключение красного света на зелёный и обратно для светофора со стороны пешехода и автомобиля, а также одновременное переключение обоих светофоров на жёлтый свет. После каждого переключения светофора (последовательная пара операторов **SAVEVALUE**) с помощью оператора **ADVANCE** задаётся время горения их в новом состоянии.

В пределах временных интервалов этих состояний происходят различные события на переходе: подъезжают автомобили и подходят пешеходы, те и другие пересекают переход.

Поток автомобилей генерируется оператором **GENERATE 30 , 25**, т. е. новый автомобиль появляется через каждые  $30 \pm 25$  секунд. Затем он попадает в очередь перед переходом, которая имитируется оператором **QUEUE Ocher\_Avto**. Если проезд через переход окажется возможен (об этом Планировщик получит информацию из дальнейшей части программы), то автомобиль, не задерживаясь в очереди, проедет через переход. Если же проезд через переход не возможен, то автомобиль останется в очереди. Чтобы проверить возможность пересечения перехода, используется оператор **TEST E X\$Svet\_Avto, F\$Perehod**, в котором выполняется проверка на равенство значений двух переменных **Svet\_Avto** и **Perehod**. Тот факт, что проверяется именно равенство, определяется символом

Ине. № дубл.	Подпись и дата
Взам. ине №	
Подпись и дата	
Ине. № подл.	

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
-----	------	----------	---------	------

190500 ДФ 230104.62 КП05 ПЗ

Лист

29



#### 4 План модельного эксперимента

В модели имеются следующие параметры, которые можно варьировать для изучения возможности образования очередей пешеходов и автомобилей:

- время появления нового автомобиля;
- время появления нового пешехода;
- время пересечения автомобилем перехода;
- время пересечения пешеходом перехода;
- время горения красного света светофора (в сторону автомобилей);
- время горения зелёного света светофора (в сторону автомобилей);
- время горения жёлтого света светофора.

Общие принципы изменения параметров следующие. Существенным является соотношение между временем горения светофора (как красным, так и зелёным светом для автомобиля) и временем появления нового автомобиля, а также временем появления пешехода. Если автомобили появляются чаще, чем пешеходы, то длительность горения зелёного света для автомобилей должна быть больше, чем длительность горения красного света. Для разного соотношения времён появления автомобиля и пешехода будут разные оптимальные времена горения красного и зелёного света светофора.

Можно оставить постоянными времена появления автомобилей и пешеходов, а варьировать только времена горения красного и зелёного света для автомобилей (что соответствует временам горения, соответственно, зелёного и красного света для пешеходов).

Моделирование проводится согласно следующим этапам:

а) исследование функционирования модели (используется пошаговый режим моделирования с просмотром журнала Journal и окон: Blocks Window, Facilities Window, Queues Window, Savevalues Window);

б) задается число генерируемых транзактов (проехавших автомобилей и прошедших пешеходов в сумме) и просматривается результирующий Стандартный Отчёт (Standard Report);

в) изменяются 3 значения зелёного и 3 значения красного света (всего 9 комбинаций) и выполняются сеансы моделирования;

г) анализируются полученные результаты и составляется таблица, в которую вносятся данные моделирования;

д) делается вывод о наилучшем варианте.

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. име №

Подпись и дата

Име. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

190500 ДФ 230104.62 КП05 ПЗ

Лист

31

## 5 Исследование функционирования модели

Для исследования функционирования модели пешеходного перехода выполняются следующие действия:

- а) вызывается программа GPSS;
- б) считывается программа perehod.gps;
- в) программа perehod.gps транслируется (при этом открывается окно Journal);
- г) открываются последовательно окна Blocks Window, Facilities Window, Queues Window, Savevalues Window, которые располагаются на экране мозаично (Рисунок 2);
- д) с помощью функциональной клавиши F5 задаётся пошаговый режим работы программы GPSS (выполнение каждого последующего оператора);
- е) после каждого шага наблюдаются изменения в открытых окнах;
- ж) определяется правильность функционирования программы и корректное отображение ею процессов в модели.

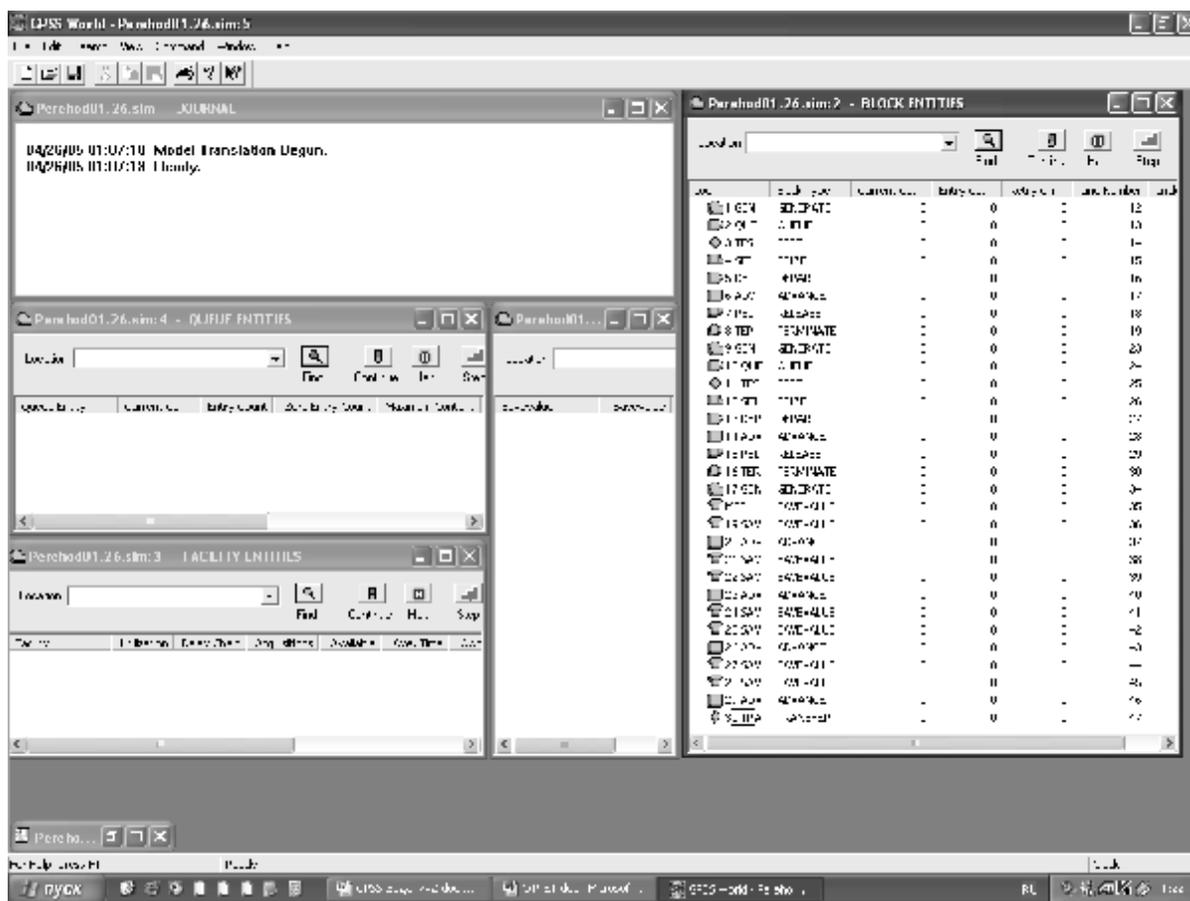


Рисунок 2 — Экран дисплея с окнами GPSS для проведения модельного эксперимента (перед началом моделирования)

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. име №

Подпись и дата

Име. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

190500 ДФ 230104.62 КПО5 ПЗ

После нажатия клавиши F5 несколько раз картина получает вид (Рисунок 3), соответствующий наличию процессов: имеются очереди автомобилей и пешеходов (окно Queues Window), работает обслуживающее устройство — пешеходный переход (окно Facilities Window), переключаются светофоры для автомобилей и пешеходов (окно Savevalues Window).

В журнале Journal фиксируются события, происходящие на переходе. Специально подобранные комментарии способствуют лучшему пониманию происходящих процессов.

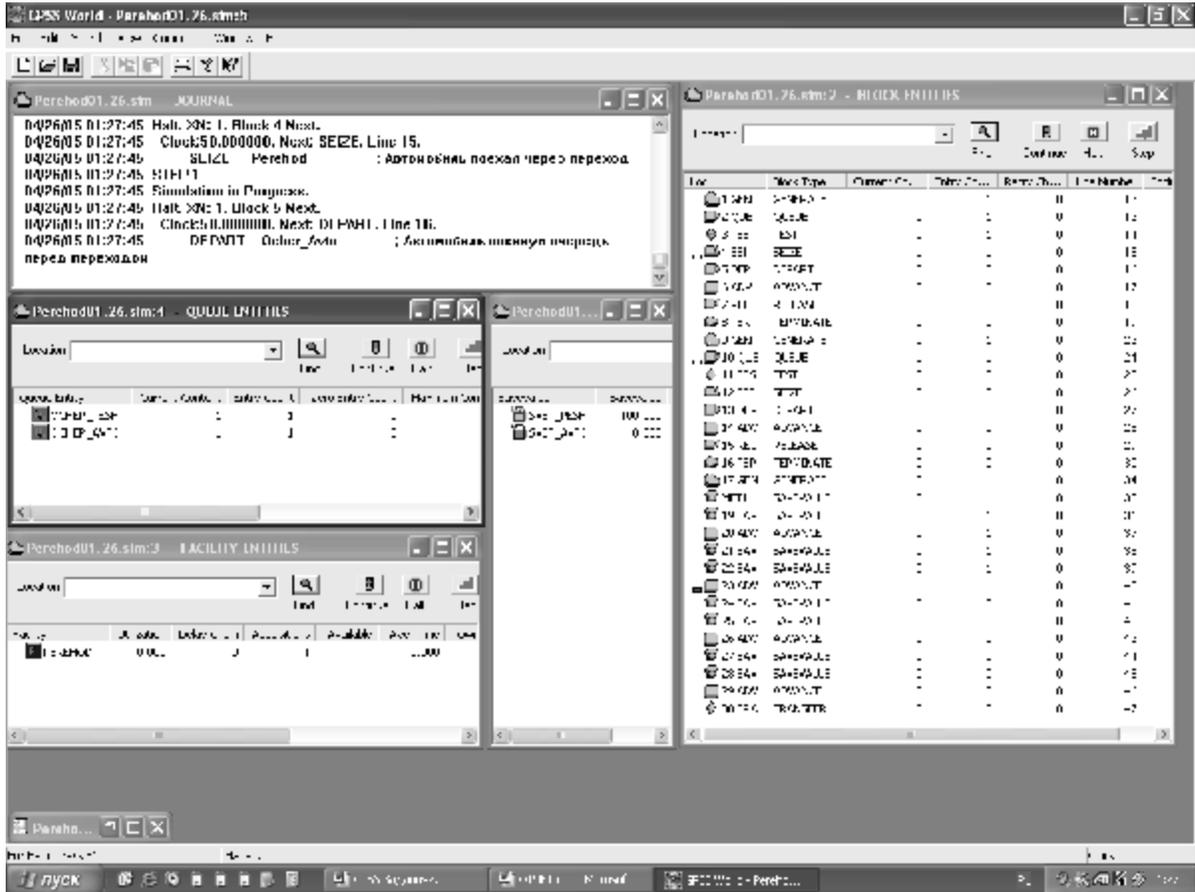


Рисунок 3 — Экран дисплея с окнами GPSS для проведения модельного эксперимента (в процессе моделирования)

Наблюдается скопление автомобилей и пешеходов в очередях перед переходом при горении с соответствующей стороны красного света и их рассасывание при включении соответствующего зелёного света.

Вывод: программа функционирует нормально, в соответствии с заданными условиями.

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. инв №

Подпись и дата

Име. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 6 Модельный имитационный эксперимент

### Анализируемые параметры:

- а) максимальная длина очереди автомобилей;
- б) средняя длина очереди автомобилей;
- в) максимальная длина очереди пешеходов;
- г) средняя длина очереди пешеходов;
- д) коэффициент использования пешеходного перехода.

### Неварьируемые параметры модели:

- а) время появления каждого нового автомобиля  $30 \pm 25$  с;
- б) время появления каждого нового пешехода  $20 \pm 15$  с;
- в) время переезда автомобилем перехода  $10 \pm 2$  с;
- г) время перехода пешеходом перехода  $12 \pm 1$  с;
- д) время горения жёлтого света светофора 50 с.

### Варьируемые параметры модели:

Выбираются 9 возможных сочетаний времён горения зелёного и красного света светофора (для автомобилей), приведённых в таблице (Таблица 1).

В процессе моделирования задаются выбранные сочетания времён горения светофора, транслируется программа и задаётся одинаковое для всех экспериментов 500 транзактов с помощью оператора START, который дописывается в нижней части программы.

При новом задании параметров окна не убираются, в редактор вызывается текст программы и меняются времена горения светофора. Затем программа транслируется (команда Retranslate в меню Command). Данные в окнах обновляются в соответствии с вновь заданными параметрами.

Результаты моделирования берутся из окон и заносятся в таблицу (Таблица 1).

Таблица 1 — Результаты имитационных модельных экспериментов

№ п/п	Зелёный свет, с	Красный свет, с	Макс. очередь авт.	Сред. очередь авт.	Макс. очередь пеш.	Сред. очередь пеш.	Коэф. использ.
1	200	200	15	10	12	7	0.687
2	200	150	13	8	10	7	0.731
3	200	100	12	8	8	5	0.987
4	150	200	16	9	11	7	0.867
5	150	150	14	8	8	8	0.987
6	150	100	13	9	9	8	0.689
7	100	200	15	7	13	12	0.754
8	100	150	16	9	11	11	0.943
9	100	100	13	11	10	7	0.945

### Выводы:

Результаты модельных экспериментов показывают, что оптимальными являются следующие варианты: 3, 5 и 8, так как в этих случаях имеется одинаковый коэффициент использования — наилучший среди других вариантов.

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. име №

Подпись и дата

Име. № подл.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
-----	------	----------	---------	------

## Список использованных источников

1 Система программного обеспечения для имитационного моделирования на языке GPSS (СПО GPSS/PC) [Электронное издание] / Научно-производственное объединение "ЦЕНТРОГРАММСИСТЕМ". — Калинин, 1989. — 183 с.

2 Боев, В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: учеб. пособие / В. Д. Боев. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 368 с. — ISBN 5-94157-515-7.

3 Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 320 с. — (Серия "Проектирование"). — ISBN 5-94074-219-X.

4 Томашевский, В. Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. — М.: Бестселлер, 2003. — 416 с. — ISBN 5-98158-004-6.

5 Емельянов, А. А. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие / А. А. Емельянов, Е. А. Власова, Р. В. Дума; Под ред. А. А. Емельянова. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 368 с. — ISBN 5-279-02572-0.

6 GPSS World. Reference Manual / Minuteman Software. — 4th Edition. — Holly Springs, NC, U.S.A., 2001. — 305 p.

7 GPSS World. Tutorial Manual / Minuteman Software. — Holly Springs, NC, U.S.A., 2001. — 277 p.

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв №	Име. № дубл.	Подпись и дата	190500 ДФ 230104.62 КПО5 ПЗ	Лист
						35
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		