



Е.В. Кийкова, Е.Г. Лаврушина

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Учебное пособие



Министерство образования и науки Российской Федерации

Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса (ВГУЭС)

Е.В. КИЙКОВА
Е.Г. ЛАВРУШИНА

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Практикум

Учебное пособие для бакалавров

Владивосток
Издательство ВГУЭС
2017

УДК 519.876.5(075.8)
ББК 22.18
К 38

Рецензент:

Кийкова, Е.В.

К 38 Моделирование систем. Практикум : учебное пособие для бакалавров/ Е.В. Кийкова, Е.Г. Лаврушина ; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2017. – 100 с.

ISBN 978-5-9736-0441-7

Освоить моделирование как рабочий инструмент, его широкие возможности и развивать методологию моделирования можно при овладении приемам и технологией практического решения задач моделирования процессов функционирования систем на ЭВМ – эту цель преследует данное издание. Пособие создано для проведения лабораторных работ по дисциплине «Моделирование систем».

Для студентов специальности 09.03.03 «Прикладная информатика», 09.03.02 «Информационные системы и технологии», может быть полезен всем студентам экономических специальностей при изучении основ имитационного моделирования.

УДК 519.876.5(075.8)
ББК 22.18

ISBN 978-5-9736-0441-7

© ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», 2017

© Кийкова, Е.В., Лаврушина Е.Г., 2017 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время успешная деятельность практически во всех сферах экономики не возможна без моделирования поведения и динамики развития процессов, изучения особенностей развития экономических объектов, рассмотрения их функционирования в различных условиях. Программные и технические средства должны стать здесь первыми помощниками. Вместо того, чтобы учиться на своих ошибках или на ошибках других людей, целесообразно закреплять и проверять познание реальной действительности полученными результатами на компьютерных моделях, экономя при этом силы, средства и время.

Достоинство компьютерных моделей заключается в полной управляемости моделей и условий эксперимента, что невозможно в условиях натурального эксперимента. Недостаток – они субъективнее натуральных моделей. Можно заложить в лабораторную модель нереальные связи, а значит, получить неверные выводы. Но другого инструмента у экономиста практически нет. Риск неадекватности модели остается. И все же компьютерные модели строже отражают основные положения описательных моделей, позволяют быстро манипулировать факторами и связями, видеть и понимать последствия возможных решений или неподконтрольных менеджеру событий.

Имитационное моделирование является наиболее наглядным, используется на практике для компьютерного моделирования вариантов разрешения ситуаций с целью получить наиболее эффективные решения проблем. Имитационное моделирование разрешает осуществить исследование анализируемой или проектируемой системы по схеме операционного исследования, которое содержит взаимосвязанные этапы:

- содержательная постановка задачи;
- разработка концептуальной модели;
- разработка и программная реализация имитационной модели;
- проверка правильности, достоверности модели и оценка точности результатов моделирования;
- планирование и проведение экспериментов;
- принятие решений.

Это позволяет использовать имитационное моделирование как универсальный подход для принятия решений в условиях неопределенности с учетом в моделях трудно формализуемых факторов, а также применять основные принципы системного подхода для решения практических задач.

Широкому внедрению этого метода на практике препятствует необходимость создания программных реализаций имитационных моделей, которые воссоздадут в модельном времени динамику функционирования моделируемой системы.

В отличие от традиционных методов программирования разработка имитационной модели требует перестройки принципов мышления. Недаром принципы, положенные в основу имитационного моделирования, дали толчок к развитию объектного программирования. Поэтому усилия разработчиков программных средств имитации направлены на упрощение программных реализаций имитационных моделей: для этих целей создаются специализированные языки и системы.

Программные средства имитации в своем развитии изменялись на протяжении нескольких поколений, начиная с языков моделирования и средств автоматизации конструирования моделей до генераторов программ, интерактивных и интеллектуальных систем, распределенных систем моделирования. Основное назначение всех этих средств – уменьшение трудоемкости создания программных реализаций имитационных моделей и экспериментирование с моделями.

Одним из первых языков моделирования, облегчающих процесс написания имитационных программ, был язык GPSS, созданный в виде конечного продукта Джеффри Гордоном в фирме IBM в 1962 году. В настоящее время есть трансляторы для операционных систем DOS – GPSS/PC, для OS/2 и DOS – GPSS/H и для Windows – GPSS World. Изучение этого языка и создание моделей позволяют понять принципы разработки имитационных программ и научиться работать с имитационными моделями.

GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения) – язык моделирования, который используется для построения событийных дискретных имитационных моделей и проведения экспериментов с помощью персонального компьютера.

Система GPSS представляет собой язык и транслятор. Как каждый язык он содержит словарь и грамматику, с помощью которых могут быть разработаны модели систем определенного типа. Транслятор языка работает в две фазы. В первой фазе компиляции проверяются синтаксис и семантика написания строк GPSS-программы или всей программы в целом, а во второй (интерпретирующей) – осуществляется продвижение транзактов по модели от блока к блоку.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время машинное моделирование стало достаточно эффективным средством решения сложных задач автоматизации исследований, экспериментов, проектирования. Но освоить моделирование как рабочий инструмент, его широкие возможности и развивать методологию моделирования дальше можно только при полном овладении приемами и технологией практического решения задач моделирования процессов функционирования систем на ЭВМ. Эту цель и преследует данный практикум, в котором основное внимание уделено методам, принципам и основным этапам машинного моделирования в рамках общей методологии моделирования, а также рассматриваются вопросы моделирования конкретных вариантов систем и прививаются навыки использования технологии машинного моделирования при практической реализации моделей функционирования систем. Рассматриваются проблемы систем массового обслуживания, на которых основываются имитационные модели экономических, информационных, технологических, технических и других систем. Изложены методы вероятностного моделирования дискретных и случайных непрерывных величин, которые позволяют учитывать при моделировании экономических систем случайные воздействия на систему.

В основу материала, изложенного в данной работе, положен двадцатилетний опыт работы авторов над разработкой таких дисциплин, как «Имитационное моделирование», «Математическое моделирование экономических процессов», «Теория управления экономическими системами», «Экономико-математические методы и модели», «Имитационное моделирование экономических процессов» для специальностей экономического профиля.

Учебное пособие характеризуется выбором конкретных объектов моделирования и программно-технических средств, используемых для реализации моделей, и ставит перед собой задачу выработки у студентов умения самостоятельно применять знания по моделированию систем на ЭВМ для решения конкретных задач исследования систем, работать с научно-технической, экономической литературой и программной документацией. Данное пособие ориентировано на исследование математических (аналитических и имитационных) моделей и методов, а также на освоение современной технологии автоматизации исследования систем на базе метода моделирования с использованием ЭВМ.

Материал пособия включает семь разделов и блок приложений, необходимых при выполнении лабораторных работ.

Первый раздел посвящен краткому обзору моделей массового обслуживания. Во втором разделе даны рекомендации по практической реализации идей и математических схем в виде машинной модели, ори-

ентированной на использование конкретных программно-технических средств, т.е. алгоритмизации модели. Третий раздел содержит методические рекомендации и правила оформления лабораторных работ. Четвертый раздел содержит описание 12 лабораторных работ. Первые 10 работ имеют по 20 вариантов заданий и дополнительные задания для закрепления материала, что дает возможность преподавателю использовать данное пособие как при проведении занятий в группах с различной численностью студентов, так и при организации самостоятельной работы студентов. В пятом разделе предложены задания для дальнейшего изучения концепций моделирования с применением вычислительной техники. Шестой раздел содержит обзор рекомендуемой литературы. В седьмом разделе приведен список контрольных вопросов для самостоятельной оценки качества освоения дисциплины.

Основным назначением данного учебного пособия является формирование навыков системного анализа экономических ситуаций, развитие умения использовать необходимые программные средства моделирования при рассмотрении проблем, возникающих в различных экономических системах.

1. МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

1.1. Системы массового обслуживания и их характеристики

С системами массового обслуживания (СМО) мы встречаемся повседневно. Любому из нас приходилось когда-то ждать обслуживания в очереди (например, в магазине, на автозаправке, в библиотеке, кафе и т.д.). Аналогичные ситуации возникают при потребности воспользоваться телефонной связью или выполнить свою программу на компьютере. Более того, любое производство можно представить как последовательность систем обслуживания. К типичным системам обслуживания относят также ремонтные и медицинские службы, транспортные системы, аэропорты, вокзалы и другие.

Особое значение приобрели такие системы при изучении процессов в информатике. Это, прежде всего, компьютерные системы, сети передачи информации, ОС, базы и банки данных. Системы обслуживания играют значительную роль в повседневной жизни. Опыт моделирования разных типов дискретных событийных систем свидетельствует о том, что приблизительно 80% этих моделей основаны на СМО.

Что же характеризует эти системы как СМО? Их можно описать, если задать:

- 1) входящий поток требований или заявок, которые поступают на обслуживание;
- 2) дисциплину постановки в очередь и выбор из нее;
- 3) правило, по которому осуществляется обслуживание;
- 4) выходящий поток требований;
- 5) режимы работы.

Входящий поток. Чтобы задать входящий поток требований, необходимо описать моменты времени их поступления в систему (закон поступления) и количество требований, которое поступило одновременно. Закон поступления может быть детерминированный (например, одно требование поступает каждые 5 мин) или вероятностный (требования могут появляться с равной вероятностью в интервале 5 ± 2 мин). В общем случае входящий поток требований описывается распределением вероятностей интервалов времени между соседними требованиями. Часто предполагают, что эти интервалы времени независимые и имеют одинаковое распределение случайных величин, которые образуют стационарный входящий поток требований. Классическая теория массового обслуживания рассматривает так называемый пуассоновский про-

стейший) поток требований. Для этого потока число требований k для любого интервала времени распределено по закону Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, k \geq 0, t \geq 0, \quad (1)$$

где λ – интенсивность потока требований (число требований за единицу времени).

На практике обоснованием того, что входящий поток требований имеет распределение Пуассона, является то, что требования поступают от большого числа независимых источников за определенный интервал времени. Примерами могут быть вызовы абонентов в телефонной сети, запросы к распределенной базе данных от абонентов сети за некоторое время и другие. Для того чтобы при моделировании задать пуассоновский поток требований в систему, достаточно задать экспоненциальное распределение интервалов времени поступления для соседних требований, графики функций плотности и распределения которых для $\lambda = 1$ показаны на рис. 1.

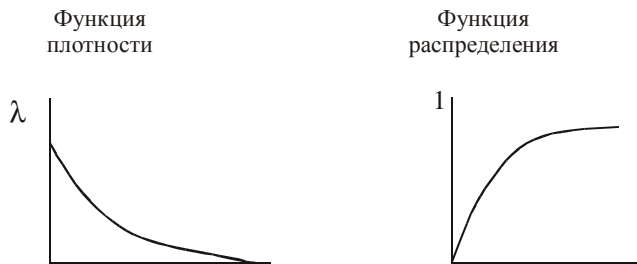


Рис. 1. Графики функций плотности и распределения

Дисциплины постановки в очередь и выбора из нее определяют порядок постановки требований в очередь, если заняты устройства обслуживания, и порядок выбора из очереди, если освобождается обслуживающее устройство. Простейшая дисциплина допускает постановку в очередь в порядке поступления требований. Такую дисциплину называют **«раньше поступил – раньше обслужился»** (в англоязычной литературе FIFO First In – First Out), например, очередь к телефону-автомату.

Организация очереди по правилу **«последний поступил – первый обслужился»** (в англоязычной литературе LIFO Last In – First Out) допускает, что на обслуживание выбираются последние требования из очереди. Это правило также называется «стеком» или «магазином».

Правило выбора из очереди может быть **случайным (RANDOM)**. Возможна также организация выбора из очереди **по параметрам** (например, мужчины в очереди пропускают женщин вперед).

На очередь могут накладываться **ограничения по длине очереди или по времени пребывания в ней**. Например, если в очереди находится более трех требований, то новое требование, которое поступило, покидает систему; или, если время пребывания в очереди более двух минут, то требование покидает систему.

Очередь может быть с ограниченным количеством мест ожидания в ней – это так называемый **буфер** (например бункер, в который поступают заготовки раньше, чем они будут обработаны станком). Для ускорения работы компьютеров используются буферы при обмене информацией между быстрыми и медленными устройствами (буферы ввода-вывода). Информация заранее размещается в буфере, а потом считывается из него. В сетях ЭВМ буферы используются для организации очередей сообщений или пакетов, если линия связи занята.

Правила обслуживания характеризуются длительностью обслуживания (распределением времени обслуживания), количеством требований, которые обслуживаются одновременно, и дисциплиной обслуживания. Время обслуживания бывает детерминированным, или заданным вероятностным законом распределения.

Обслуживание может организовываться с помощью одного устройства (это так называемые **системы с одним устройством (каналом) обслуживания**) или системы с несколькими идентичными устройствами обслуживания. Например, если установлено несколько кабин с телефонами-автоматами. Системы с идентичными устройствами обслуживания называются **многоканальными системами**. Устройства обслуживания могут быть объединены в последовательную цепочку. Это **многофазные системы**, в которых требования последовательно проходят несколько фаз обслуживания, перед тем как покинуть систему. В качестве примера многофазной системы обслуживания можно рассмотреть сборочный конвейер.

Дисциплины обслуживания определяют:

- при каких условиях прекращается обслуживание требований;
- как выбирается для обслуживания следующее требование;
- что делать с частично обслуженным требованием.

Различают следующие дисциплины обслуживания: **бесприоритетные** и **приоритетные**. При неприоритетной порядок обслуживания определяется дисциплиной выбора из очереди, например, FIFO. В компьютерных системах часто используются циклические дисциплины обслуживания, то есть когда требование (программа) многократно использует устройство (процессор) перед тем, как его оставил. После каждого этапа обслуживания требование снова поступает в очередь к устройству.

При приоритетном обслуживании требованию задается некоторый параметр, который определяет его **приоритет**. Этот параметр может задаваться в числовом виде (**статический приоритет**) или в виде функ-

ции, которая зависит от времени пребывания в системе (**динамический приоритет**).

Дисциплины обслуживания могут быть с **относительными** или **абсолютными приоритетами**. Относительный приоритет предусматривает, что поступление требования с более высоким приоритетом не прерывает обслуживание менее приоритетного требования (обслуживание без прерывания). Из требований с одинаковыми приоритетами могут организовываться очереди.

При использовании абсолютного приоритета появление требования с более высоким приоритетом прерывает обслуживание менее приоритетного требования (обслуживание с прерыванием). В таких системах могут происходить вложенные прерывания, если требование, которое вытеснило из обслуживания менее приоритетное требование, само будет прервано более приоритетным требованием и т.д. Поэтому иногда в этих системах ограничивают глубину прерывания. Прерванные требования могут или оставлять систему обслуживания, или снова становиться в очередь для дообслуживания.

Понятно, что дисциплины с абсолютными приоритетами могут использоваться только для систем с одним устройством обслуживания.

Выходящий поток – это поток требований, которые покидают систему, будучи обслуженными и не обслуженными. Структура выходящего потока может иметь большее значение для многофазных систем, где этот поток становится входящим для следующей фазы обслуживания. Распределение требований в выходящем потоке во времени зависит от плотности входящего потока и характеристик работы устройств обслуживания. Из теории массового обслуживания известно, что выходящий поток из СМО с m устройствами, с ожиданием при простейшем входящем потоке с параметром λ , экспоненциальным распределением времени обслуживания с параметром μ есть простейший поток с параметром $\lambda = \min\{\lambda, m\mu\}$. Такое замечание дает возможность построить теорию сложных СМО, где выходящий поток из одних систем обслуживания является входящим в другие. Это так называемые многофазные системы и сети СМО. Во всех других случаях распределение выходящих потоков из СМО имеет более сложную вероятностную природу и может изучаться только путем наблюдений за функционированием этих СМО с помощью моделирования.

По практическим соображениям часто приходится изучать **режимы работы** СМО. Например, устройства обслуживания время от времени могут выходить из строя (режим отказа), в особенности, если с помощью этих систем описывается некоторый производственный или информационный процесс. Есть еще один режим – блокирование обслуживания, – который связан с временным прерыванием процесса обслуживания или с замедлением его. Изменение режима работы СМО

может быть вызвано внешним влиянием (например временным отсутствием деталей в технологическом процессе, ремонтом оборудования и т.п.) или продолжительностью работы (например выходом из строя элемента в компьютере).

Для СМО любого вида справедлив закон Литтла: для любого распределения времени между двумя событиями поступления требований, любого распределения времени их обслуживания, любого количества устройств обслуживания и любой дисциплины обслуживания среднее количество требований \bar{N} в СМО определяется через интенсивность поступления λ и среднее время пребывания требований в системе T , то есть

$$\bar{N} = \lambda T \quad (2)$$

Интуитивное доказательство формулы Литтла основано на том, что требование, которое входит в систему, застанет в ней среднее количество требований \bar{N} (такое же как и в момент, когда оно покидает систему). Это свидетельствует о том, что СМО находится в состоянии равновесия или стационарном состоянии, другими словами, требования не остаются в системе бесконечно долго и всегда покидают систему. Таким образом, на вид СМО не накладываются никакие ограничения. Можно, например, представить, что СМО состоит только из одной очереди или только из одного устройства обслуживания.

1.2. Системы с одним устройством обслуживания

Рассмотрим одноканальную (с одним устройством обслуживания) СМО, показанную на рис. 2.

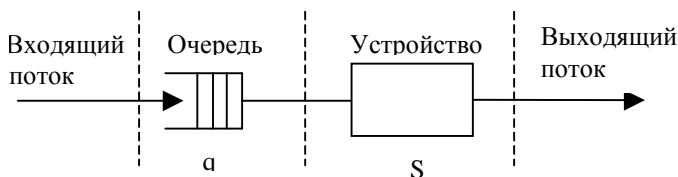


Рис. 2. Одноканальная СМО

Если обозначить среднее время пребывания требований в очереди w и рассматривать СМО как очередь q , то, используя формулу Литтла, можно найти среднее количество требований в очереди:

$$\bar{N}_q = \lambda w. \quad (3)$$

Если обозначить среднее время обслуживания в устройстве x и рассматривать СМО как устройство S , то, используя формулу Литтла, можно найти среднее количество требований в устройстве:

$$\bar{N}_S = \lambda \bar{x} \quad (4)$$

Всегда имеет место уравнение $T = w + X$, где T – среднее время пребывания требований в СМО с одним устройством обслуживания.

Коэффициент загрузки ρ определяет, какую часть времени устройство было занято на протяжении всего времени наблюдения за СМО.

Для обозначения СМО используются три переменные для первых трех параметров: $X/Y/Z$, где X – распределение времени поступления; Y – распределение времени обслуживания; Z – число обслуживающих устройств.

В теории СМО некоторые аналитические решения были получены для систем вида $D/D/1$, $M/M/1$ и $M/G/1$. Для других значений параметров систем обслуживания аналитические решения не были получены, значит, эта проблема мотивирует использование моделирования.

Самая известная модель – это так называемая СМО типа $M/M/1$, где M – марковские процессы распределения времени поступления и обслуживания с одним устройством. Например, в системе $M/M/1$ время между двумя поступлениями в систему требований и время обслуживания имеют экспоненциальные распределения. Такая СМО иногда используется как модель для одного процессора компьютерной системы или как стандартное устройство ввода-вывода (например магнитный диск). Система $D/D/1$ – детерминированная система, тогда как $D/M/1$ – смешанная. Если о системе мало известно, это обозначается как $G/G/m$ (система с произвольными распределениями и устройствами).

Изучая любую систему, важно оценить характер ее рабочей нагрузки (например, при моделировании компьютерной системы важно знать, когда новые программы (задачи) поступают в систему; сколько времени нужно процессору для выполнения любой из них; как часто программа обращается к устройству ввода-вывода). Этот процесс можно отобразить графиком работы системы (графический метод моделирования), на котором показаны входы задач в систему, ресурсы, к которым они обращаются, как долго задачи их используют и т.д.

Если описанный сценарий зафиксирован соответствующим графиком и часто возникает в моделируемой системе, то тогда он целиком отвечает выборке, которая получена методом измерений при наблюдении за работой компьютера. Тем не менее, моделирование при использовании такого описания рабочей нагрузки только воссоздает результаты работы этого специфического сценария. Этого недостаточно для выполнения системой других сценариев. Даже незначительное несоответствие заданному сценарию может привести к нежелательным последствиям работы компьютера.

Часто рабочая нагрузка на систему определяется одним или несколькими распределениями вероятностей в отличие от заданных сценариев. Например, можно бросать монету каждые 15 мин на протяжении операции исследования системы, и если монета падает лицевой стороной, то новая задача поступает в систему в этот момент времени. Если монета падает обратной стороной, то никакая задача не поступает в систему. Это пример метода розыгрыша случайной величины (метод Монте-Карло), который используется для моделирования вероятностных систем.

В компьютерном моделировании «бросание монеты» можно генерировать методом случайных чисел. Если выявлены статистические закономерности и используются соответствующие распределения вероятностей для определения рабочей нагрузки на систему, а также применяются соответствующие статистические методы анализа результатов моделирования, то полученные результаты относятся к более широкому диапазону рабочих нагрузок, чем подход с использованием определенного сценария.

Введем коэффициент вариации C как отношение стандартного отклонения к среднему:

$$C = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}, \quad (5)$$

где $\sigma_{\bar{x}}$ – среднеквадратичное отклонение для \bar{x} .

Для экспоненциального закона распределения $C = 1$, поскольку \bar{x} и $\sigma_{\bar{x}}$ для этого закона равняются λ . Для регулярного детерминированного закона распределения $C = 0$ ($\sigma_{\bar{x}} = 0$).

Для системы $G/G/1$ среднее количество требований определяется как

$$\bar{N} = \rho + \frac{\rho^2(1+C^2)}{2(1-\rho)}. \quad (6)$$

Используя результат Хинчина-Полячека, можно получить среднее время пребывания в одноканальной СМО по формуле

$$T = \bar{x} \left[1 + \frac{\rho(1+C^2)}{2(1-\rho)} \right]. \quad (7)$$

Основной результат (7) состоит в том, что среднее время пребывания требования в системе зависит только от математического ожидания и стандартного отклонения времени обслуживания. Таким образом, время ожидания определяется как

$$w = \frac{\bar{x}\rho(1+c^2)}{2(1-\rho)} \quad (8)$$

Обычно интересуются нормированным временем ожидания:

$$\frac{w}{\bar{x}} = \frac{\rho(1+c^2)}{2(1-\rho)}. \quad (9)$$

Для системы $M/M/1$

$$\frac{w}{\bar{x}} = \frac{\rho}{(1-\rho)}. \quad (10)$$

Для системы $M/D/1$

$$\frac{w}{\bar{x}} = \frac{\rho}{2(1-\rho)}. \quad (11)$$

Таким образом, система с регулярным обслуживанием характеризуется средним временем ожидания вдвое меньшим, чем система с показательным обслуживанием. Это закономерно, поскольку время пребывания в системе и количество требований в ней пропорциональны дисперсии времени обслуживания.

1.3. Основы дискретно-событийного моделирования СМО

Определим основные понятия и термины, используемые в моделировании.

Система – множество объектов (люди и машины), которые взаимодействуют одновременно для достижения одной или большего количества целей.

Модель – абстрактное представление системы, обычно содержит структурные, логические или математические отношения, которые описывают систему в терминах, обозначающих состояние, объекты и их свойства, множества, процессы, события, действия и задержки.

Состояние системы – множество переменных, которые содержат всю информацию, необходимую для описания свойств системы в любое время.

Объект – любой элемент или компонент в системе, который должен быть представлен в модели в явном виде (например, обслуживающее устройство, клиент, машина).

Свойство или **атрибут** – свойства данного объекта (например, приоритет ожидающего клиента, маршрут процесса выполнения работ в цеху).

Список – множество (постоянное или временное) связанных объектов, упорядоченное некоторым логическим способом (например, все клиенты, находящиеся в настоящее время в очереди ожидания, упорядочены по принципу «раньше прибыл, раньше обслужился» или по приоритету).

Событие – мгновенно возникающее изменение состояния системы (например прибытие нового требования).

Уведомление о событии – запись события, которое произойдет в потоке событий или в некотором будущем времени наряду с любыми связанными данными, необходимыми для обработки события (запись всегда включает тип события и время события).

Список событий (известный также как список будущих событий (СБС) – список намеченных будущих событий, упорядоченных по времени возникновения).

Действие – продолжительность времени указанного промежутка (например время обслуживания или время между поступлениями заявок), для которого известно, когда оно начинается и заканчивается (хотя оно может быть определено в терминах статистического распределения).

Задержка – продолжительность времени неопределенного промежутка, для которого неизвестно заранее, когда он заканчивается (например задержка клиента в очереди по правилу «последний пришел – первый обслужился», так как начало обслуживания зависит от будущих поступлений).

Модельное время – неотрицательная возрастающая величина, отражающая течение времени в имитационной модели.

Часы – переменная, отражающая протекание времени моделирования, называется в примерах ЧАСЫ (CLOCK).

Дискретно-событийное моделирование – моделирование системы в дискретные моменты времени, когда происходят события, отражающие последовательность изменения состояний системы во времени. В дальнейшем такое моделирование будем называть имитационным. Рассматриваемые здесь системы динамические, то есть изменяемые во времени. Поэтому состояние системы, свойства объекта и число активных объектов, параметров, действий и задержек – это функции времени, которые постоянно изменяются в процессе моделирования.

Для СМО с одним устройством обслуживания событиями являются поступление требования и конец его обслуживания устройством. Начало обслуживания – это условное событие, которое зависит от состояния прибора (занят или свободен) и числа требований, находящихся в очереди. Задержку иногда называют **условным ожиданием**, в то время как действие называют **безусловным ожиданием**. Действия – это время между поступлениями требований и время обслуживания прибором. Завершение действия – событие, часто называемое **первичным событием**, для управления которым в СБС помещается уведомление о событии. Напротив, управление задержками связано с помещением объекта в другой список, возможно представляющий очередь ожидания до того времени, когда системные условия разрешат обработку требования. Окончание задержки иногда называют **условным** или **вторичным событием**, но такие события не представлены в соответствующих уведомлениях о событиях и не появляются в СБС.

1.4. Многоканальные системы массового обслуживания

Многоканальная СМО (с несколькими одинаковыми устройствами обслуживания) изображена на рис. 3. В отличие от одноканальных СМО многоканальные системы рассчитать сложнее. Теория массового обслуживания позволяет получать аналитические зависимости для расчетов характеристик работы многоканальных СМО в стационарном режиме работы, однако эти зависимости можно получить только для системы $M/M/m$.

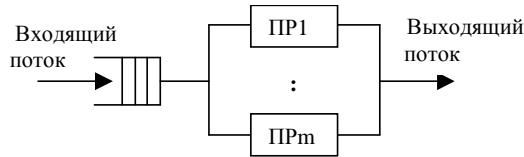


Рис. 3. Многоканальная СМО

Если система имеет m одинаковых устройств, то

$$\rho = \frac{\lambda \bar{x}}{m} \quad (12)$$

Для многоканальных СМО ρ можно трактовать, как математическое ожидание части занятых устройств.

Рассмотрим диаграмму работы многоканальной СМО (рис. 4) с двумя устройствами (ПР1 и ПР2) и двумя позициями для ожидания в очереди (поз.1 и поз.2). Время поступления и время, когда требование покинуло систему, показаны рядом с номером требования в нижней и верхней частях рис. 3, соответственно. Время наблюдения за СМО (T_n) составляет 55 мин.

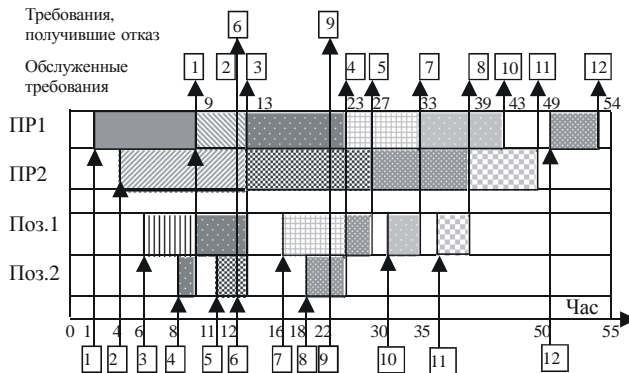


Рис. 4. Диаграмма работы многоканальной СМО

Рассчитаем по диаграмме некоторые оценки характеристик работы СМО:

1. Вероятность обслуживания требования:

$$P_{об} = \frac{N_{об}}{N} = \frac{10}{12} = 0,83,$$

где $N_{об}$, N – количество обслуженных требований и общее количество требований, соответственно.

2. Пропускная способность СМО в требованиях в минуту:

$$X = \frac{N_{об}}{T_n} = \frac{10}{55} = 0,18,$$

где T_n – время наблюдения за системой.

3. Вероятность отказа в обслуживании:

$$P_{отк} = \frac{N_{отк}}{N} = \frac{2}{12} = 0,166,$$

где $N_{отк}$ – количество требований, которым отказано в обслуживании.

4. Вероятность того, что требование застанет оба устройства свободными:

$$P_0 = \frac{T_{св}}{T_n} = \frac{3}{55} = 0,05,$$

где $T_{св}$ время, на протяжении которого оба устройства были свободными.

5. Вероятность того, что обслуживанием занято только одно устройство из двух:

$$P_1 = \frac{T_3^1 + T_3^2}{T_n} = \frac{7+6}{55} = 0,236,$$

где T_3^1 , T_3^2 – время, когда было занято только первое или только второе устройство соответственно.

6. Вероятность того, что обслуживанием заняты оба устройства:

$$P_2 = \frac{T_3^{1+2}}{T_n} = \frac{39}{55} = 0,709,$$

где T_3^{1+2} – время, когда были заняты оба устройства.

7. Среднее количество занятых устройств:

$$N_{np} = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + 2 \cdot P_2 = 1 \cdot \frac{13}{55} + 2 \cdot \frac{39}{55} = 1,654.$$

8. Вероятность того, что в очереди нет требований:

$$P_{оч}^0 = \frac{T_{оч}^0}{T_n} = \frac{(6-0) + (16-13) + (30-27) + (35-33) + (55-39)}{55} = \frac{30}{55} = 0,545,$$

где $T_{оч}^0$ – время, на протяжении которого в очереди не было требований.

9. Вероятность того, что в очереди есть только одно требование:

$$P_{оч}^1 = \frac{T_{оч}^1}{T_n} = \frac{(8-6) + (11-9) + (18-16) + (27-23) + (33-30) + (39-35)}{55} = \\ = \frac{17}{55} = 0,309,$$

где $T_{оч}^1$ – время, когда в очереди было только одно требование.

10. Вероятность того, что в очереди два требования:

$$P_{оч}^2 = \frac{T_{оч}^2}{T_n} = \frac{(9-8) + (13-11) + (23-18)}{55} = \frac{8}{55} = 0,145,$$

где $T_{оч}^2$ – время, на протяжении которого в очереди было два требования.

11. Среднее количество требований в очереди:

$$N_{оч} = 0 \cdot P_{оч}^0 + 1 \cdot P_{оч}^1 + 2 \cdot P_{оч}^2 = 1 \cdot \frac{17}{55} + 2 \cdot \frac{8}{55} = 0,6.$$

12. Среднее время пребывания в очереди:

$$t_{оч} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i^{оч}}{N_{об}} = \frac{0+0+3+5+2+7+9+3+11+0}{10} = \frac{40}{10} = 4,$$

где $t_i^{оч}$ – время пребывания i -го требования в очереди ($i = 1, 2, \dots$).

13. Среднее время пребывания в очереди без учета требований, которые не ждали:

$$t_{оч} = \frac{\sum_{i=1}^7 t_i^{оч}}{N_{об}(-0)} = \frac{3+5+2+7+9+3+11}{7} = \frac{40}{7} = 5,714,$$

где $N_{об}(-0)$ – количество требований, которые не ждали в очереди.

14. Среднее время обслуживания требования в устройствах:

$$t_{об} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_i^{об}}{N_{об}} = \frac{92}{10} = 9,2,$$

где $t_i^{об}$ – время обслуживания i -го требования в СМО ($i = 1, 2, \dots$).

15. Общее среднее время пребывания требования в СМО:

$$T = t_{об} + t_{оч} = 4 + 9,2 = 13,2 .$$

16. Среднее количество требований в системе обслуживания:

$$\bar{N} = N_{пр} + N_{оч} = 1,654 + 0,6 = 2,254 .$$

На рисунке 5 изображена гистограмма для времени поступления требований в СМО и аппроксимация ее экспоненциальным законом распределения. Из гистограммы видно, что количество требований, которое поступило в систему, недостаточно для статистической оценки. Поэтому гипотезу про экспоненциальный закон распределения поступления требований в СМО необходимо отклонить.

Рассчитанные числовые значения характеристик имеют иллюстративный характер и позволяют определиться, каким образом необходимо собирать статистические данные о работе СМО при ее моделировании.

Переменная VAR1, экспоненциальное распределение
Значение критерия Колмогорова-Смирнова: $d=0,1345275$

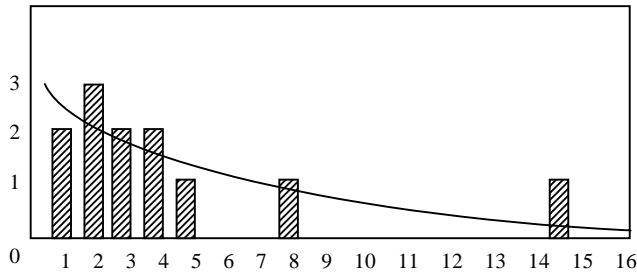


Рис. 5. Время поступления требований в СМО

Приведем основные формулы для расчетов СМО вида М/М/м.

1. Вероятность того, что все устройства обслуживания свободны:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda \bar{x})^k}{k!} + \frac{(\lambda \bar{x})^m}{(m-1)!(m-\lambda \bar{x})}} , \text{ при } \lambda \bar{x} < 1 . \quad (13)$$

2. Вероятность того, что занято обслуживанием k -е устройство или в системе находится k требований:

$$P_k = \frac{(\lambda \bar{x})^k}{k!} P_0 , 1 \leq k < m . \quad (14)$$

3. Вероятность того, что все устройства заняты ($k \geq m$). Обозначим эту вероятность через π :

$$\pi = \frac{(\lambda\bar{x})^m P_0}{(m-1)!(m-\lambda\bar{x})}, \frac{\lambda\bar{x}}{m} < 1. \quad (15)$$

4. Вероятность того, что все устройства заняты обслуживанием и s требований находится в очереди:

$$P_{m+s} = \frac{(\lambda\bar{x})^{m+s}}{m!m^s} P_0, \quad s > 0 \quad (16)$$

5. Вероятность того, что время пребывания требований в очереди превышает некоторую величину t :

$$P(w > t) = \pi e^{-\frac{1}{x}(m-\lambda\bar{x})t}. \quad (17)$$

6. Средняя длина очереди:

$$\bar{N}_q = \frac{\lambda\bar{x}P_m}{m\left(1 - \frac{\lambda\bar{x}}{m}\right)^2} \quad (18)$$

7. Среднее количество свободных от обслуживания устройств:

$$N_{св} = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{m-k}{k!} (\lambda\bar{x})^k P_0 \quad (19)$$

8. Среднее количество занятых обслуживанием устройств:

$$N_{np} = m - N_{св} \quad (20)$$

9. Среднее время, которое требование проводит в ожидании до начала обслуживания в системе:

$$w = \frac{\pi\bar{x}}{m-\lambda\bar{x}}, \quad \frac{\lambda\bar{x}}{m} < 1 \quad (21)$$

Приведенные формулы позволяют выполнять расчеты для СМО вида М/М/т и сравнивать их с полученными результатами имитационного моделирования.

2. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ И ЕЕ МАШИННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Данный процесс относится ко второму этапу моделирования системы, когда математическая модель, сформированная на первом этапе, превращается в конкретную машинную модель. Второй этап моделирования представляет собой практическую деятельность, направленную на реализацию идей и математических схем в виде машинной модели, ориентированной на использование конкретных программно-технических средств.

Удобной формой представления логической структуры моделей процессов функционирования систем является схема. На различных этапах моделирования составляются обобщенные и детальные логические схемы моделирующих алгоритмов, а также схемы программ.

Обобщенная схема модели (укрупненная) задает общий порядок действий без каких-либо уточняющих деталей. Она показывает, что необходимо выполнить на очередном шаге.

Детальная схема модели содержит уточнения, отсутствующие в обобщенной схеме, и показывает не только, что следует выполнить на очередном шаге, но и как это выполнить.

Логическая схема моделирующего алгоритма представляет собой логическую структуру модели процесса функционирования системы. Логическая схема указывает упорядоченную последовательность операций, связанных с решением задачи моделирования.

Схема программы отображает порядок программной реализации моделирующего алгоритма с использованием математического обеспечения конкретной ЭВМ и представляет собой интерпретацию логической схемы моделирующего алгоритма разработки программы.

Различие между этими схемами заключается в том, что логическая схема отражает логическую структуру модели процесса функционирования системы, а схема программы – логику машинной реализации модели с использованием конкретных средств программной реализации модели.

Рассмотрим подэтапы, выполняемые при алгоритмизации и программировании модели, обращая внимание на задачи каждого подэтапа и методы их решения:

1. Построение логической схемы модели. Рекомендуется строить модель по блочному принципу. Построение модели системы из блоков обеспечивает необходимую гибкость модели в процессе эксплуатации, а также дает ряд преимуществ на стадии ее машинной отладки. При построении блочной модели проводится разбиение процесса функционирования системы на отдельные достаточно автономные подпроцессы. Блоки модели бывают основные и вспомогательные. Каждый основной

блок соответствует некоторому подпроцессу, имеющему место в моделируемой системе, а вспомогательные блоки представляют лишь составную часть машинной модели и необходимы только для машинной реализации модели, фиксации, обработки результатов моделирования.

2. *Получение соотношений модели.* Одновременно с построением логической схемы модели необходимо, где это возможно, получить математические соотношения в виде явных функций. Схема машинной модели должна представлять собой полное отражение концепции, заложенной в модели, и иметь описание всех блоков модели с их наименованиями; единую систему обозначений и нумерацию блоков; отражение логики модели, задание математических соотношений в явном виде.

3. *Проверка достоверности модели системы.* Проверка модели на рассматриваемом подэтапе должна дать ответ на вопрос, насколько логическая схема модели и используемые соотношения отражают ее замысел. При этом проверяются возможность решения поставленной задачи, точность отражения замысла в логической схеме, полнота логической схемы модели, правильность используемых математических соотношений.

4. *Выбор вычислительных средств для моделирования.* Необходимо сделать выбор средств ВТ для реализации модели на основе следующих требований: наличие необходимого математического обеспечения; доступность выбранной ЭВМ для разработчика модели.

5. *Составление плана выполнения работ по программированию.* Такой план помогает разработчику при программировании модели учесть оценки объема программы и трудозатрат на ее составление. Он должен включать в себя обоснование языка программирования модели, указание типа используемой ЭВМ, оценку примерного объема необходимой памяти, ориентировочные затраты времени на программирование и отладку программы на ЭВМ.

6. *Построение схемы программы.* Наличие логической схемы модели позволяет построить схему программы. Это одна из основных задач на этапе машинной реализации модели.

7. *Проверка достоверности схемы программы.* Проводится проверка соответствия каждой операции, представленной в схеме программы, аналогичной ей операции логической схемы.

8. *Проведение программирования модели.* При достаточно подробной схеме программы, отражающей все операции логической схемы модели, можно приступить к программированию модели. Часто переход от схемы к программе является чисто формальным шагом, так как заключается в записи пространственной структуры в линейном виде.

9. *Проверка достоверности программы.* Эта проверка должна проводиться либо путем обратного перевода программы в ее схему, либо проверкой отдельных частей программы при решении тестовых задач,

либо объединением всех частей программы и проверкой ее в целом. Необходимо также уточнить оценки затрат машинного времени на моделирование.

10. Составление технической документации по проделанному этапу. Техническая документация по данному этапу содержит логическую схему модели и ее описание, схему программы и принятые обозначения, полный текст программы, перечень входных и выходных величин с пояснениями, инструкцию по работе с программой, оценку затрат машинного времени на моделирование.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Прежде чем приступить к моделированию какого-либо процесса необходимо ознакомиться с основными понятиями построения моделей, методами и законами моделирования, а также изучить основы работы со средой моделирования.

Данный лабораторный практикум ориентирован на использование в качестве моделирования процессов функционирования систем среды GPSS World.

Стандарты для записи примеров моделирования

1. Постановка задачи. Она включает детальное описание задачи.
 2. Таблица определений. Таблица определений является списком различных элементов GPSS, используемых в модели, с краткой характеристикой тех частей системы, которые описываются этими элементами.
В начале этой таблицы записывается принятая в модели единица времени. Затем записывается представление транзактов. Далее в алфавитном порядке описываются все прочие элементы модели и части моделируемой системы.
 3. Блок-схема. В определённом смысле блок-схема и есть модель. Подробная блок-схема может оказаться трудно читаемой, поэтому рядом с блоками в блок-схеме пишут комментарии.
 4. Текст программы.
 5. Статистика.
 6. Вывод.
- Пример оформления работы представлен в приложении 8.

4. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1 Моделирование систем с одним прибором и очередью

Цель работы: освоение принципов моделирования процессов функционирования систем, получение и закрепление навыков построения имитационных моделей.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Ознакомьтесь с системами массового обслуживания и их характеристиками (п. 1.1). Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО (п. 1.3). Проверьте моделирование одноканальных СМО, ознакомьтесь с основными характеристиками работы одноканальной СМО (п. 1.2). Освойте среду моделирования GPSS/W (прил. 5). Изучите принципы построения имитационных программ (прил. 1). Ознакомьтесь с правилами записи программы (прил. 3). Ознакомьтесь с объектами и типами операторов GPSS/W. Изучите операторы GPSS/W (прил. 6):

GENERATE – внесение транзактов в модель;

TERMINATE – удаление транзактов из модели;

SEIZE и RELEASE – элементы, отображающие одноканальные устройства;

ADVANCE – реализация задержки во времени;

QUEUE и DEPART – сбор статистики при ожидании.

Ознакомьтесь со стандартной статистикой по очередям (прил. 4).

Варианты индивидуальных заданий

1. Промоделировать работу врача терапевта. Интервалы приходов пациентов распределены равномерно в интервале a . Время приёма b также распределено равномерно. Пациенты принимаются в порядке «первым пришёл – первым обслужен». Модель работы врача должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу врача в течение c часов.

Варианты заданий приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ варианта	a	b	c
1	15±10	15±5	6
2	17±7	16±4	3
3	16±8	17±8	4
4	14±6	17±7	5

2. Промоделировать работу библиотекаря. Интервалы прихода читателей распределены равномерно в интервале a . Время работы b с читателями также распределено равномерно. Читатели обслуживаются в порядке «первым пришёл – первым обслужен». Модель работы библиотекаря на GPSS должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу библиотекаря в течение c часов. Варианты заданий приведены в табл. 2

Таблица 2

№ варианта	a	b	c
1	10±5	8±4	8
2	15±10	10±7	7
3	12±8	11±4	6
4	13±7	15±5	5

3. Промоделировать работу билетной кассы аэрофлота. Интервалы прихода пассажиров распределены равномерно, в интервале a . Время обслуживания b также распределено равномерно. Пассажиры обслуживаются в порядке «первым пришёл – первым обслужен».

Необходимо промоделировать работу кассы в течение c часов. Варианты заданий приведены в табл. 3

Таблица 3

№ варианта	a	b	c
1	8±4	8±3	10
2	10±6	9±4	12
3	9±5	10±3	9
4	11±3	11±4	8

4. В пункте обмена валюты имеется 1 касса. Интервалы прихода клиентов распределены равномерно, a минут. Время обслуживания также равномерно распределено по b минут. Клиенты обслуживаются в порядке «первым пришёл – первым обслужен».

Модель работы обменного пункта должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу пункта в течение часов.

Варианты заданий приведены в табл. 4.

Таблица 4

№ варианта	a	b	c
1	10 ± 4	7 ± 4	5
2	9 ± 3	6 ± 5	6
3	12 ± 5	9 ± 4	4
4	14 ± 6	8 ± 3	7

5. На почте имеется 1 окно приема телеграмм. Интервалы прихода клиентов распределены равномерно в интервале a минут. Время приема телеграмм так же распределено равномерно b минут. Обслуживание ведется в порядке «первым пришел – первым обслужен».

Модель работы окна приема телеграмм должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу окна приема телеграмм в течение c часов.

Варианты заданий приведены в табл. 5.

Таблица 5

№ варианта	a	b	c
1	12 ± 6	6 ± 4	12
2	20 ± 3	7 ± 3	24
3	15 ± 7	9 ± 3	10
4	19 ± 8	8 ± 5	8

Дополнительные задания к лабораторной работе

1. Используя среднее значение интервала времени приходов, определите, сколько клиентов может прийти в течение c часов. Сравните это число с фактическим числом приходов.

2. Используя среднее значение интервала времени приходов и среднее значение времени обслуживания, подсчитайте нагрузку врача (библиотекаря, билетной кассы, обменного пункта, окна приема телеграмм).

Сравните её со статистическим значением нагрузки.

3. Рабочие приходят в кладовую через каждые 300 ± 250 с. Здесь они получают детали для неисправных станков. Кладовщику требуется 280 ± 150 с. на поиск необходимой детали для одного рабочего.

3.1) Напишите модель на GPSS для этого случая, выполните моделирование на интервале 8-часового модельного времени. Стоимость потерь из-за поломки станка и простоя рабочего в очереди составляет 0,5 цента в секунду (т.е. 18 долларов в час).

Каков в этом случае ущерб предприятию в течение восьмичасового рабочего дня в модели?

3.2) Предположим, что кладовщик получает 4 доллара в час. Он может быть заменен другим кладовщиком, получающим 4,5 доллара в час, но зато выполняющим заявки рабочих за 280 ± 50 с.

Выполните моделирование и рассчитайте ущерб из-за простоев рабочих в этом случае.

Что лучше: оставить старого или нанять нового кладовщика?

Насколько точен в данном случае результат сравнения двух решений?

Какие меры следует предпринять, чтобы сделать более точный вывод?

Лабораторная работа № 2

Исследование с помощью имитационной модели процесса расширения системы обслуживания с одним прибором и очередью

Цель работы: освоение принципов моделирования процессов функционирования систем, получение и закрепление навыков построения имитационных моделей.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Ознакомьтесь с системами массового обслуживания и их характеристиками (п. 1.1). Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО (п. 1.3). Проведите моделирование одноканальных СМО. Ознакомьтесь с основными характеристиками работы одноканальной СМО (п. 1.2). Освойте среду моделирования GPSS/W (прил. 5). Изучите принципы построения имитационных программ (прил. 1). Ознакомьтесь с правилами записи программы (прил. 3). Ознакомьтесь с объектами и типами операторов GPSS/W. Изучите операторы GPSS/W (прил. 6):

GENERATE – внесение транзактов в модель;

TERMINATE – удаление транзактов из модели;

SEIZE и RELEASE – элементы, отображающие одноканальное устройство;

ADVANCE – реализация задержки во времени;

QUEUE и DEPART – сбор статистики при ожидании.

Ознакомьтесь со стандартной статистикой по очередям (прил. 4).

Варианты индивидуальных заданий

1. На прием к врачу терапевту приходят пациенты двух типов: 1) имеют карту болезней на руках и время их прихода распределено равномерно в интервале a ; 2) пришли на прием в первый раз, время их прихода через b минут. Время приёма пациентов первого типа c минут, а второго типа – d минут.

Модель работы врача должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу врача в течение e часов.

Варианты заданий приведены в табл. 6.

Таблица 6

№ варианта	a	b	c	d	e
1	10±5	15±7	11±4	16±9	4
2	11±7	17±5	12±3	18±7	5
3	12±4	16±4	13±3	19±6	6
4	10±7	18±3	14±2	20±5	3

2. В библиотеку приходят читатели двух типов: пришедшие в библиотеку в первый раз и повторно. Интервалы прихода читателей первого типа распределены равномерно через a минут, второго – b минут. Время работы с читателями первого типа c минут, второго типа – d минут. Модель работы библиотекаря должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу библиотекаря в течение e часов.

Варианты заданий приведены в табл. 7

Таблица 7

№ варианта	a	b	c	d	e
1	25±3	35±15	20±10	13±8	6
2	23±7	27±17	22±13	14±9	7
3	26±7	23±17	23±11	15±6	5
4	27±4	33±11	20±13	16±4	4

3. В билетную кассу аэрофлота приходят пассажиры двух типов: первого типа – приобретающие авиабилеты; второго типа – меняющие

имеющиеся у них авиабилеты. Приход пассажиров первого типа распределен равномерно в интервале a минут, второго типа тоже распределен равномерно в интервале b минут. Время обслуживания пассажиров первого типа – c минут, а второго – d минут. Модель работы билетной кассы аэрофлота должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу кассы в течение e часов.

Варианты заданий приведены в табл. 8.

Таблица 8

№ варианта	a	b	c	d	e
1	5 ± 3	25 ± 20	7 ± 5	14 ± 6	8
2	6 ± 4	30 ± 27	9 ± 3	18 ± 4	9
3	7 ± 5	22 ± 17	10 ± 4	15 ± 2	10
4	8 ± 4	20 ± 15	11 ± 5	16 ± 7	7

4. В пункт обмена валюты приходят клиенты двух типов: 1) купить валюту, интервалы прихода клиентов распределены равномерно, a минут; 2) сдать одну валюту и купить другую, их приход через b минут. Время обслуживания клиентов первого типа равномерно распределено по c минут, второго типа – по d минут. Модель работы обменного пункта должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу пункта в течение e часов.

Варианты заданий приведены в табл. 9.

Таблица 9

№ варианта	a	b	c	d	e
1	15 ± 8	55 ± 25	10 ± 3	15 ± 8	4
2	13 ± 9	50 ± 30	12 ± 4	17 ± 7	5
3	12 ± 7	45 ± 20	8 ± 2	20 ± 5	3
4	14 ± 6	52 ± 32	9 ± 3	16 ± 6	6

5. На почту с одним окном для приема телеграмм приходят клиенты двух типов: 1) дать телеграмму в пределах страны, интервалы прихода клиентов распределены равномерно в интервале a минут; 2) дать телеграмму за рубеж, их приход через b минут. Время приема телеграмм у клиентов первого типа распределено равномерно по c минут, второго типа – по d минут. Модель работы окна приема телеграмм должна обеспечить сбор статистики об очереди.

Необходимо промоделировать работу окна приема телеграмм в течение e часов.

Варианты заданий приведены в табл.10.

Таблица 10

№ варианта	a	b	c	d	e
1	5 ± 4	55 ± 25	5 ± 3	10 ± 6	14
2	6 ± 5	50 ± 35	7 ± 4	12 ± 5	15
3	7 ± 5	50 ± 30	8 ± 3	11 ± 5	10
4	8 ± 6	45 ± 25	7 ± 2	9 ± 4	12

Дополнительные задания к лабораторной работе

Рабочие трех типов приходят в кладовую за запасными частями. Интервалы их прихода и времени обслуживания: 1 тип – 30 ± 10 и 12 ± 5 ; 2 тип – 20 ± 8 и 6 ± 3 ; 3 тип – 15 ± 5 и 3 ± 1 (время в минутах). В кладовой работает только один кладовщик. Напишите на GPSS модель работы такой кладовой. Затем выполните моделирование до события прихода 16-го рабочего первого типа в кладовую. Модель должна быть такой, чтобы обеспечить раздельный сбор статистических данных по каждому типу рабочих.

Сопоставьте результаты, полученные для очередей всех типов. Сравните также нагрузку прибора, полученную на ЭВМ и вручную.

Лабораторная работа № 3 Исследование на имитационной модели процесса изменения дисциплины обслуживания в системе с одним прибором и очередью

Цель работы: освоение принципов приоритетного моделирования процессов функционирования систем, получение и закрепление навыков построения имитационных моделей.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Ознакомьтесь с системами массового обслуживания и их характеристиками. Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО (п. 1.3). Проведите моделирование одноканальных СМО. Основные характеристики работы одноканальной СМО (п. 1.2). Проверьте моделирование одноканальных СМО средствами GPSS/W – блоки

SEIZE и RELEASE (прил. 6). Изучите дисциплины постановки в очередь и выбора из неё (п. 1.1). Ознакомьтесь с правилами обслуживания и дисциплинами обслуживания. Осуществите сбор статистики при ожидании – блоки QUEUE и DEPART (прил. 6). Определите приоритет с помощью оператора GENERATE (прил. 6). Ознакомьтесь со стандартной статистикой по очередям и приборам (прил. 4). Рассчитайте экономические потери (какая стандартная статистическая информация для этого необходима).

Варианты индивидуальных заданий

На вокзале имеется одна касса по продаже билетов. Пассажиры делятся на два типа: 1) приобретающие билеты на отходящий транспорт, интервал времени их прихода a минут, время обслуживания b минут; 2) приобретающие билеты заблаговременно, интервал времени их прихода c минут, время обслуживания d минут.

Билеты продаются независимо от типа пассажиров. Задержка в обслуживании пассажиров, стоящих в очереди, приводит к экономическим потерям со стороны кассира, которые в расчете на одного необслуженного пассажира составляют e центов. Стоимостные потери могут быть сокращены за счет введения приоритетности обслуживания пассажиров: продажа билетов осуществляется в первую очередь пассажирам, покупающим билеты на отходящий транспорт по принципу «первым пришел – первым обслужен» внутри приоритетного типа.

Необходимо создать модель работы билетной кассы для обеих дисциплин обслуживания очереди и выполнить моделирование для каждой из них в течение f часов. Уменьшится ли среднее число ожидающих пассажиров? Обосновано ли с экономической точки зрения введение приоритетного обслуживания пассажиров?

Варианты заданий приведены в табл. 11.

Таблица 11

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	2	3	4	5	6	7
1	4±2	4±2	10±5	5±3	.25	6
2	5±3	4±3	11±4	6±2	.3	5
3	5±2	5±3	9±5	5±2	.27	7
4	6±3	4±2	10±4	6±3	.32	8
5	5±4	4±1	11±3	7±1	.28	5
6	6±2	5±1	11±2	6±1	.35	6

1	2	3	4	5	6	7
7	6±1	5±1	10±3	7±2	.23	9
8	4±3	5±2	9±4	7±3	.26	8
9	5±1	4±3	11±1	6±1	.29	7
10	5±2	6±1	9±6	6±3	.33	6
11	5±3	4±2	11±2	6±3	.35	6
12	6±2	4±3	10±3	7±1	.23	5
13	6±3	5±3	9±4	6±1	.26	7
14	5±4	4±2	11±1	7±2	.29	8
15	5±1	4±1	9±6	7±3	.33	5
16	4±2	5±1	10±5	5±3	.25	6
17	4±3	5±1	11±4	6±2	.3	9
18	6±4	5±2	9±5	5±2	.27	8
19	6±3	4±3	10±4	6±1	.32	7
20	6±5	6±1	11±3	6±3	.28	6

Дополнительные задания к лабораторной работе

В дополнительном задании к лабораторной работе № 2 парикмахер работает 480 мин без перерыва.

Покажите, как изменится модель этого примера для учета следующих свойств:

Предположим, что парикмахер открывается в 8 ч 30 мин, а закрывается в 17 ч 00 мин. У парикмахера есть перерыв на обед в 12 ч 00 мин, или после этого срока, но как можно раньше (после обслуживания клиента). Клиенты, которые приходят в парикмахерскую в течение перерыва, ждут его возвращения.

Какова при этом нагрузка парикмахера?

Предположим, что парикмахер открывается в 8 ч 00 мин, а закрывается в 17 ч 00 мин. У парикмахера есть несколько перерывов: перерыв на кофе 10.00 – 10.15; обед 12.00 – 12.30; перерыв на кофе 15.00 – 15.15.

Если клиенты приходят во время перерыва, они ждут возвращения парикмахера.

Выполните необходимые изменения и подсчитайте нагрузку парикмахера.

Лабораторная работа № 4 **Моделирование систем обслуживания с прибором, очередью и обратной связью**

Цель работы: моделирование процессов функционирования систем и нахождение оптимального варианта работы.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО (п. 1.3). Проведите моделирование одноканальных СМО. Основные характеристики работы одноканальной СМО. Проверьте моделирование одноканальных СМО средствами GPSS/W – блоки SEIZE и RELEASE (прил. 6). Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W TRANSFER (прил. 6). Выберите необходимый режим работы этого оператора для построения модели работы бригад. В ходе выполнения лабораторной работы необходимо менять количество бригад, для этого используется один из операндов GENERATE (прил. 6). Ознакомьтесь со стандартной статистикой по очередям и приборам (прил. 4). Рассчитайте прибыльности предприятия (какая стандартная статистическая информация для этого необходима?).

Варианты индивидуальных заданий

В целях экономии денежных средств несколько строительных бригад хотели бы использовать одну бетономешалку, емкость которой рассчитана на производство раствора, необходимого для нормальной работы только одной бригады.

При соглашении порционный разлив бетона бригадами не предусмотрен. Таким образом, каждая бригада имеет следующие возможности: работать с имеющимся бетоном; ожидать новой партии бетона (возможность использования бетономешалки); непосредственно пользоваться бетономешалкой для производства раствора.

Время расхода бригадами очередной партии бетона находится в пределах a минут. Изготовление раствора занимает b минут. Стоимость работы бетономешалки составляет c \$ за d часов, а цена материала одного замеса – e \$. Общий заработок бригады в час равен f \$.

Необходимо построить модель описанного процесса и на ее основе определить оптимальное число участвующих в соглашении бригад из расчета общей прибыльности данного мероприятия.

Варианты заданий приведены в табл. 12.

Таблица 12

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	25±5	14±2	12000\$	35	250\$	60\$
2	27±3	14±3	13000\$	38	300\$	50\$
3	28±2	15±3	12800\$	46	270\$	70\$
4	28±3	13±2	14200\$	42	320\$	80\$
5	26±4	14±1	12800\$	37	280\$	50\$
6	29±2	15±1	13600\$	32	350\$	60\$
7	30±1	13±1	15000\$	49	230\$	90\$
8	28±1	15±2	14300\$	50	240\$	80\$
9	29±1	12±3	12500\$	41	290\$	70\$
10	25±2	16±1	13200\$	39	330\$	60\$
11	25±5	15±1	14200\$	41	250\$	50\$
12	27±3	13±1	12800\$	39	300\$	60\$
13	28±2	15±2	13600\$	49	270\$	80\$
14	28±3	12±3	15000\$	50	320\$	70\$
15	26±4	16±1	14300\$	32	280\$	60\$
16	29±2	14±2	12000\$	37	350\$	50\$
17	30±1	14±3	13000\$	46	230\$	80\$
18	28±1	15±3	12800\$	42	240\$	90\$
19	29±1	13±2	12500\$	35	290\$	60\$
20	25±2	14±1	13200\$	38	330\$	70\$

Дополнительные задания к лабораторной работе

В авторемонтной мастерской стоит одна полировочная машина для полирования некоторой детали мотора машины. Для этого необходимо выполнить следующие этапы:

- вынуть деталь (12±3 мин);
- установить её в полировочной машине (10±4 мин);
- фаза 1 полирования (80±20 мин);

- поворот детали в машине для продолжения полирования (15 ± 7 мин);
- фаза 2 полирования (110 ± 30 мин);
- достать отполированную деталь из машины (10 ± 4 мин);
- установить деталь на прежнее место (12 ± 3 мин) и перейти к этапу 1.

Деталь слишком тяжела, для того чтобы её мог поднять один оператор полировочной машины. Требуется подъёмный кран, помогающий ему в работе. В частности, подъёмный кран нужно использовать на этапах 1, 2, 4, 6 и 7. Имеется только один подъёмный кран. Краном пользуется оператор полировочной машины, его используют и на других работах в мастерской. Для других видов работ может потребоваться кран через каждые 39 ± 10 мин. Время, на которое забирают кран, равно 25 ± 10 мин.

Проведите моделирование для 400 ч модельного времени. Обеспечьте сбор данных о времени, которое проводит оператор полировочной машины в ожидании освобождения крана. Разделите сбор данных об ожидании на этапе 4 и этапе 6.

Лабораторная работа № 5

Исследование процессов управления производством на имитационной модели

Цель работы: рассмотрение принципов построения имитационных моделей процессов управления производством, анализ результатов моделирования.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование одноканальных СМО. Основные характеристики работы одноканальной СМО. Проверьте моделирование одноканальных СМО средствами GPSS/W – блоки SEIZE и RELEASE (прил. 6). Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W TRANSFER. Выберите необходимый режим работы этого оператора для построения вашей модели. Какая стандартная статистическая информация необходима для ответа на поставленный в лабораторной работе вопрос (прил. 4)?

Варианты индивидуальных заданий

1. Производственно-технологическая цепочка состоит из нескольких технологических узлов. В узлах первого типа происходят собственно процессы создания и наладки изготавливаемой продукции, узлы второго типа осуществляют контроль за качеством выходной продукции различных цехов, а узлы третьего типа предназначены для устранения де-

фектов у забракованной продукции. Назовем эти узлы соответственно R, S, T. Транспортировка продукции между узлами производится в специальных контейнерах.

Рассмотрению предлагается некоторый участок данного технологического процесса, состоящий из одного узла типа S и одного узла типа T. Узел S оснащен двумя рабочими местами, а узел T – одним. Поступление нового контейнера для проверки качества происходит каждые a минут. Обработка же контейнера в узле S занимает у одного рабочего b минут, а у другого – c минут. Примерно $d\%$ контейнеров проходят проверку и попадают на другие узлы производственно-технологической цепи. Контейнеры с продукцией, не прошедшей контроль качества (она составляет $e\%$ от общего числа контейнеров) поступают из данного узла S в узел T, где в течение f минут ведется устранение их дефектов одним специалистом.

Необходимо сформировать модель функционирования данного участка технологического производства и определить оптимальное количество контейнеров, необходимых для бесперебойной работы исследуемых производственно-технологических узлов.

Варианты заданий приведены в табл. 13.

Таблица 13

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	14±7	10±3	16±3	78%	22%	35±5
2	17±3	11±2	13±6	82%	18%	32±7
3	13±5	15±1	14±2	85%	15%	37±3
4	18±2	13±2	15±2	90%	10%	38±3
5	16±4	14±1	13±3	87%	13%	36±4
6	14±7	13±2	13±6	82%	18%	32±5
7	17±3	14±1	14±2	85%	15%	35±7
8	13±5	10±3	16±3	90%	10%	38±3
9	18±2	11±2	13±3	87%	13%	37±3
10	16±4	15±1	15±2	78%	22%	35±4

2. Некоторая фирма занимается терморегулировкой холодильников и морозильных камер. Первичный осмотр, диагностика и исправление мелких дефектов производится одним наладчиком-рефрижераторщиком, более же серьезный ремонт оборудования ведется двумя масте-

рами-наладчиками, один из которых специализируется на ремонте холодильников, а другой – морозильных камер.

Таким образом, поступившее морозильное оборудование может находиться либо на профилактическом осмотре, либо на ремонте, либо в ожидании осмотра или ремонта. Отрегулированные холодильники и морозильные камеры проходят осмотр и диагностику повторно. После одной или нескольких проверок производится отправка оборудования по месту назначения.

Поступление холодильников и морозильных камер для первичного осмотра происходит каждые a минут. На проверку и диагностику морозильного оборудования уходит до b минут и около $c\%$ холодильников и $d\%$ морозильных камер готовы после этого к отправке. Остальное оборудование проходит более существенный ремонт, занимающий для наладки холодильников e минут, а для морозильных камер f минут.

Напишите модель функционирования данной фирмы. Оцените сколько мест для хранения необходимо предусмотреть при первичной диагностике и наладке оборудования, а сколько для ремонта вида морозильного оборудования.

Варианты заданий приведены в табл. 14.

Таблица 14

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	15±3	24±2	85%	90%	22±5	24±6
2	17±3	24±3	83%	86%	24±3	23±4
3	18±2	25±3	75%	90%	25±2	27±3
4	18±3	23±2	80%	78%	23±4	26±2
5	16±3	24±1	87%	82%	26±3	25±5
6	15±3	24±3	87%	90%	25±2	26±2
7	17±3	24±1	80%	86%	23±4	25±5
8	18±2	25±2	85%	90%	26±3	24±6
9	18±3	23±3	83%	78%	22±5	23±4
10	16±3	24±2	75%	82%	24±3	27±3

Дополнительные задания к лабораторной работе

В парикмахерской имеются только три кресла для ожидающих клиентов. Клиенты приходят в парикмахерскую каждые 14 ± 5 мин, но оста-

ются только в том случае, если есть хотя бы одно свободное кресло для ожидания. В противном случае они уходят. Постройте модель. Моделирование проведите для 8 ч модельного времени.

1. Добавьте в модель следующее условие: 40% клиентов, ушедших из парикмахерской ввиду нехватки мест в очереди, через 15 ± 5 мин возвращаются. Если и на этот раз приход безуспешен, они уходят окончательно.

2. Видоизмените модель следующим образом: около 20% клиентов, пришедших в парикмахерскую, остается только в том случае, если их сразу могут обслужить. Остальные присоединяются к очереди, если в ней есть свободные места.

Лабораторная работа № 6

Исследование процесса контроля производственной линии на имитационной модели

Цель работы: рассмотрение принципов построения имитационных моделей для нахождения варианта с минимальной стоимостью эксплуатации системы.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО (п 1.3). Проведите моделирование многоканальных СМО (п. 1.4). Основные характеристики работы многоканальной СМО. Проверьте моделирование многоканальных устройств средствами языка GPSS/W. Используйте блоки ENTER и LEAVE (прил. 6). Определите ёмкость многоканального устройства – оператор STORAGE. Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W TRANSFER (прил. 6). Выберите необходимый режим работы этого оператора для построения вашей модели. Ознакомьтесь со стандартной статистикой по многоканальному устройству (прил. 4). Найдите минимальную стоимость эксплуатации системы (какая стандартная статистическая информация необходима для этого?).

Варианты индивидуальных заданий

1. В операционном зале товарно-сырьевой биржи находится 20 персональных компьютеров, имеющих ежемесячную временную наработку около a часов. Как известно, любой компьютер может неожиданно выйти из строя. В этом случае он должен быть заменен имеющимся в резерве компьютером, причем эта замена должна состояться как можно скорее. Недействующий компьютер восстанавливается, после чего он становится резервным и ожидает своей очереди на эксплуатацию. Всего в

системе задействовано 25 персональных компьютеров (из расчета: 20 в работе; 1 – в ремонте; 2 – ждут ремонта; 2 – готовых к работе).

Необходимо исследовать создающуюся ситуацию работы в операционном зале биржи и определить оптимальное количество запасных компьютеров и число служащих, занятых наладкой вышедших из строя ПЭВМ. Средняя оплата служащего за терминалом в операционном зале составляет $b\$$ в час. Стоимость компьютеров, находящихся в запасе – $c\$$ в час. Почасовой убыток при использовании меньшего числа ПЭВМ в зале – $d\$$ за одну машину. Наладка персонального компьютера длится до e часов, а среднее время наработки до отказа составляет f часов.

В ходе моделирования системы предлагается сопоставить расходы при различном числе задействованных в работе ПЭВМ и найти вариант с минимальной стоимостью эксплуатации системы.

Варианты заданий приведены в табл. 15

Таблица 15

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	300±20	2	8	9	30±5	2400±600
2	270±30	3	8	8	48±3	2300±400
3	280±20	2	7	9	45±2	2700±300
4	280±30	3	7	7	43±4	2600±200
5	270±40	2	9	8	40±3	2500±500
6	290±40	3	9	10	42±3	2500±600
7	270±50	2	8	9	42±5	2600±500
8	280±40	3	7	8	38±3	2300±300
9	270±20	2	9	10	39±4	2400±200
10	290±30	3	7	8	37±2	2500±300

2. Автобусный парк города имеет 47 автобусов, а для обеспечения всех городских маршрутов необходимо 42 автобуса. Таким образом, при поломке автобус может быть заменен и доставлен в гараж на ремонт. Ежемесячная наработка каждого автобуса до a часов.

Администрация желает знать, сколько механиков необходимо для работы в гараже, какое количество машин следует держать в резерве, чтобы можно было держать на линии все 42 автобуса, и какую арендную плату за это надо внести при минимальных денежных издержках. Заработная плата одного механика составляет $b\$$ в час, а оплата одного

резервного автобуса – $c\$$ в час. Убыток автобусного парка при работе на городских маршрутах менее 42 машин составляет $d\$$ на одну машину. Среднее время работы автобуса без поломок составляет e часов. Ремонт сломанной машины занимает f часов.

Построить модель данной системы и проанализировать на ней расходы при различном числе арендуемых автобусов для нахождения такого их количества, которое минимизирует стоимость эксплуатации системы.

Варианты заданий приведены в табл. 16

Таблица 16

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	250±30	2	85	90	220±50	24±6
2	270±30	2	83	86	240±30	23±4
3	280±20	2	75	90	250±20	27±3
4	280±30	2	80	78	230±40	26±2
5	260±30	2	87	82	260±30	25±5
6	270±30	2	80	90	250±20	23±4
7	250±30	2	87	78	230±40	27±3
8	280±30	2	83	82	260±30	26±2
9	280±20	2	75	90	220±50	25±5
10	260±30	2	85	86	240±30	24±6

Дополнительные задания к лабораторной работе

На заставе, где взимается подорожный сбор, находится семь касс. Каждая из них может обслужить автомобиль за 15 ± 3 с. Предположим, что в 15 ч 00 мин дня открыты четыре кассы и ни один автомобиль не стоит в очереди. Средняя дневная пропускная норма автомобилей через заставу возрастает после полудня и падает вечером. При увеличении потока автомобилей для уменьшения простоев в 16 ч 30 мин открывают пятую кассу, а в 17 ч 00 мин открывают оставшиеся две кассы.

Промоделируйте эту ситуацию. Определите максимальное и среднее число автомобилей, ожидающих в очереди на заставе. Как вы считаете, следует моделировать эту систему как систему обслуживания с одной очередью и устройством многоканального обслуживания или же как систему с несколькими очередями и многоканальным обслуживанием? Какой из этих двух систем обслуживания отвечает ваша модель?

Лабораторная работа № 7

Моделирование экспоненциального распределения интервалов времени обслуживания

Цель работы: рассмотрение принципов моделирования различных законов распределения.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование многоканальных СМО (п. 1.4). Основные характеристики работы многоканальной СМО. Проведите моделирование непрерывных случайных величин (п. 1.5). Проведите моделирование экспоненциального и нормального распределения случайной величины. Проведите моделирование вероятностных функций распределения в GPSS/W (прил. 7). Проведите моделирование многоканальных устройств средствами языка GPSS/W. Блоки ENTER и LEAVE (прил.5). Определите ёмкость многоканального устройства – оператор STORAGE. Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W TRANSFER (прил. 6). Выберите необходимый режим работы этого оператора для построения вашей модели. Ознакомьтесь со стандартной статистикой по многоканальному устройству (прил. 4). Рассчитайте прибыльности предприятия (какая стандартная статистическая информация необходима для этого?).

Варианты индивидуальных заданий

1. В небольшое бистро «КИЛ» ежедневно согласно нормальному закону распределения с интервалом в a минут приходят посетители. Пребывание же их в кафе подчинено пуассоновскому закону распределения со значением среднего интервала b минут. Время работы бистро d часов в день. В случае, когда в зале нет посадочных мест, посетитель не ожидает своей очереди на обслуживание, а идет в другое кафе. Работа кафе быстрого обслуживания считается прибыльной, если обслуживается до $c\%$ от общего числа пришедших посетителей.

Необходимо составить модель работы бистро и проанализировать ее при наличии в нем от e до f посадочных мест, а также оценить долю посетителей, оставшихся для обслуживания, и сравнить для каждой конфигурации системы.

Доля обслуженных посетителей вычисляется по формуле

$$D = 1 - \left(\frac{1 - P}{1 - P^{M+1}} \right) P^M,$$

где M – число на 1 больше чем число мест;

P – отношение среднего времени обслуживания к среднему значению интервала поступления.

Варианты заданий приведены в табл. 17.

Таблица 17

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	2	24	85%	9	6	8
2	3	25	83%	8	7	9
3	2	25	75%	9	8	10
4	4	23	80%	7	6	8
5	3	24	87%	8	8	10
6	4	23	83%	9	9	11
7	2	25	75%	8	10	12
8	3	24	80%	9	11	13
9	4	22	85%	7	12	14
10	2	23	87%	8	9	11

2. Необходимо решить, сколько мест для ожидания в сельском переговорном пункте нужно предусмотреть для посетителей, ожидающих переговоров. Приход посетителей является пуассоновским со значением среднего интервала, равным a минут. Время переговоров распределено экспоненциально со значением среднего, равным b минут. Если посетители приходят и не застают свободного места для ожидания, то они уходят. Время работы c часов в день.

Необходимо написать модель и использовать ее для исследования системы при использовании одного, двух, трех мест. По результатам моделирования необходимо оценить долю клиентов, оставшихся для обслуживания, и сравнить это число с теоретически вычисленной долей.

Доля обслуженных посетителей вычисляется по формуле

$$D = 1 - \left(\frac{1 - P}{1 - P^{M+1}} \right) P^M,$$

где M – число на 1 больше чем число мест;

P – отношение среднего времени обслуживания к среднему значению интервала поступления.

Варианты заданий приведены в табл. 18.

Таблица 18

№ варианта	a	B	c
1	10	5	12
2	9	6	10
3	8	7	8
4	11	8	24
5	7	9	20
6	8	5	8
7	11	6	10
8	7	7	12
9	10	9	6
10	9	8	14

Дополнительные задания к лабораторной работе

На фабрике имеются две кладовые, в каждой из которых работает один кладовщик. Один кладовщик обслуживает механиков, работающих с большими станками, а другой – всех прочих механиков. Входящий в каждую кладовую поток является пуассоновским со значением интенсивности, равным 20 механикам в час. Время обслуживания механиков распределено по экспоненциальному закону со значением среднего, равного 2 мин.

Ввиду того, что механики очень долго ждут обслуживания, было сделано предложение объединить две кладовые так, чтобы любой кладовщик мог обслужить любой запрос механиков. Предполагается, что интенсивность прихода в такую вдвоенную кладовую также удвоится и будет составлять в среднем 40 механиков в час, а среднее время обслуживания по-прежнему останется равным 2 мин.

Оцените оба варианта с точки зрения общего числа механиков, находящихся в кладовой, и ожидаемого среднего времени простоя каждого из них.

Лабораторная работа № 8 Исследование влияния длины очереди на среднюю интенсивность обслуживания с помощью машинной имитации

Цель работы: рассмотрение принципов имитационного моделирования производственных систем, анализ полученных результатов.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование одноканальных СМО (п. 1.2). Основные характеристики работы одноканальной СМО. Проведите моделирование непрерывных случайных величин (п. 1.5). Проведите моделирование экспоненциального и нормального распределения случайной величины. Проведите моделирование вероятностных функций распределения в GPSS/W (прил. 7). Определите функции в GPSS/W. Используйте функцию в блоках GENERATE и ADVANCE (прил. 7). Ознакомьтесь со стандартными числовыми атрибутами (прил. 2). Проверьте моделирование одноканальных устройств средствами языка GPSS/W. Блоки SEIZE и RELEASE (прил. 6). Стандартная статистика по приборам (одноканальным устройствам).

Варианты индивидуальных заданий

1. Прием ведет один врач. Интервалы прихода пациентов имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 4-х приходов в час. Время обслуживания является экспоненциальным, среднее время обслуживания зависит от числа пациентов, находящихся в очереди к врачу.

Необходимо построить модель системы и с её помощью оценить фактическое среднее время обслуживания. Время моделирования в секундах.

Варианты заданий приведены в табл. 19.

Таблица 19

1-й вариант		2-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	20	0	19
1–2	19,5	1–4	18,5
3–7	19	5–8	18
8 и более	18,5	9 и более	17,5
3-й вариант		4-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	21	0	22
1–3	20,5	1–5	21,5
4–8	20	6–9	21
9 и более	15,5	10 и более	20,5

2. В библиотеке имеется один библиотекарь. Интервалы прихода читателей имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 5-ти приходов в час. Время обслуживания также является экспоненциальным, среднее время обслуживания зависит от числа читателей, находящихся в очереди к библиотекарю.

Необходимо построить модель системы и с её помощью оценить фактическое среднее время обслуживания. Время моделирования в секундах.

Варианты заданий приведены в табл. 20.

Таблица 20

1-й вариант		2-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	13	0	14
1–2	12,5	1–3	13,5
3–5	12	4–6	13
6 и более	11,5	7 и более	12,5
3-й вариант		4-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	12	0	15
1–2	11,5	1–4	14,5
3–7	11	4–8	14
8 и более	10,5	9 и более	13,5

3. На вокзале имеется 1 билетная касса. Интервалы прихода пассажиров имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 16 приходов в час. Время обслуживания также является экспоненциальным, среднее время обслуживания зависит от числа пассажиров, находящихся в очереди к кассе.

Необходимо построить модель системы и с её помощью оценить фактическое среднее время обслуживания. Время моделирования в секундах.

Варианты заданий приведены в табл. 21.

Таблица 21

1-й вариант		2-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	12	0	13
1–3	11,5	1–4	12,5
4–7	11	5–8	12
8 и более	10,5	9 и более	11,5
3-й вариант		4-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	14	0	15
1–2	13,5	1–5	14,5
3–7	13	6–8	14
8 и более	12,5	9 и более	13,5

4. В пункте обмена валюты имеется 1 касса. Интервалы прихода клиентов имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 14 приходов в час. Время обслуживания также является экспоненциальным, среднее время обслуживания зависит от числа клиентов, находящихся в очереди к кассе.

Необходимо построить модель системы и с её помощью оценить фактическое среднее время обслуживания. Время моделирования в секундах.

Варианты заданий приведены в табл. 22.

Таблица 22

1-й вариант		2-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	11	0	10
1–2	10,5	1–3	9,5
3–6	10	4–7	9
7 и более	9,5	8 и более	8,5
3-й вариант		4-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	12	0	9
1–5	11,5	1–4	8,5
6–9	11	5–8	8
10 и более	10,5	9 и более	7,5

5. На почте имеется 1 окно приема телеграмм. Интервалы прихода клиентов имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 15 приходов в час. Время приема телеграмм также является экспоненциальным, среднее время обслуживания зависит от числа клиентов, находящихся в очереди к окну.

Необходимо построить модель системы и с её помощью оценить фактическое среднее время обслуживания. Время моделирования в секундах.

Варианты заданий приведены в табл. 23.

Таблица 23

1-й вариант		2-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	10	0	9,5
1–2	9	1–3	9
3–5	8,5	4–6	8,5
6 и более	8	7 и более	8
3-й вариант		4-й вариант	
Длина очереди	Среднее время	Длина очереди	Среднее время
0	12	0	13
1–2	11,5	1–4	12,5
3–8	11	5–9	12
9 и более	10,5	10 и более	11,5

Дополнительные задания к лабораторной работе

Прибор с экспоненциальным обслуживанием имеет свойство уменьшать интенсивность своей работы в течение 8-часового рабочего дня. В течение первых двух часов дня ему требуется в среднем 12 мин для выполнения обслуживания. В течение последующих 2 ч среднее время обслуживания составляет 15 мин. В течение пятого, шестого и седьмого часа каждое обслуживание в среднем занимает 17 мин. Обслуживание, начатое в течение восьмого часа, требует в среднем 20 мин для завершения. Предполагая, что единицей времени в модели является 0,1 мин.

Определите функцию, значения которой давали бы среднее время, требуемое прибору для выполнения обслуживания. Проведите моделирование 8-часового рабочего дня.

Лабораторная работа № 9

Исследование работы системы массового обслуживания средствами имитационного моделирования

Цель работы: анализ результатов имитационного моделирования в СМО.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование одноканальных и многоканальных СМО. Основные характеристики работы одноканальной и многоканальной СМО. Проведите моделирование непрерывных случайных величин (п. 1.5). Проведите моделирование экспоненциального и нормального распределения случайной величины. Проведите моделирование вероятностных функций распределения в GPSS/W (прил. 7). Определите функции в GPSS/W. Используйте функцию в блоках GENERATE и ADVANCE (прил. 7). Проверьте моделирование одноканальных и многоканальных устройств средствами языка GPSS/W. Блоки SEIZE и RELEASE, ENTER и LEAVE (прил. 6). Параметры транзакта. Измените значения параметров – блок ASSIGN (прил. 6). Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W TRANSFER. Выберите необходимый режим работы оператора TRANSFER для построения вашей модели. Соберите данные статистики об ожидании – блоки QUEUE и DEPART. Осуществите сбор стандартной статистики по приборам (одноканальным устройствам), очередям и многоканальным устройствам (прил. 4).

Варианты индивидуальных заданий

1. Небольшой продовольственный магазин состоит из 3-х прилавков и одной кассы на выходе из магазина. Покупатели приходят в магазин, входной поток имеет пуассоновский характер, причём среднее значение интервала прихода составляет a секунд. Войдя в магазин, каждый покупатель берет корзинку и может обойти один или несколько прилавков, отбирая продукты. Вероятность обхода конкретного прилавка b . Время, требуемое для обхода прилавка c , и число покупок, выбранных у прилавка d .

После того как товар отобран, покупатель становится в конец очереди к кассе.

Уже стоя в очереди, покупатель может захотеть сделать еще e покупки. Время обслуживания покупателя в кассе пропорционально числу сделанных покупок, на одну покупку уходит f секунды проверки. После оплаты продуктов покупатель оставляет корзинку и уходит.

Постройте модель, описывающую процесс покупок в продовольственном магазине. Проведите моделирование 8-часового рабочего дня и определите нагрузку кассира и максимальную длину очереди перед кассой. Зная, что число корзинок не ограничено, определите максимальное число корзинок, находящихся у покупателей одновременно.

Варианты заданий приведены в табл. 24.

Таблица 24

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	75	0,75	120±60	3±1	2±1	3
2	78	0,80	120±40	4±2	3±1	4
3	80	0,85	130±50	3±2	2±1	5
4	85	0,70	145±45	4±1	3±1	3
5	70	0,77	125±35	5±2	2±1	4
6	75	0,85	120±40	4±1	2±1	5
7	78	0,70	130±50	5±2	3±1	3
8	80	0,77	125±35	3±1	2±1	4
9	85	0,75	120±60	4±2	3±1	5
10	70	0,80	145±45	3±2	2±1	3

2. Информационный центр располагает 3 стеллажами с различной литературой (книгами, брошюрами, документацией и т.д.). Приход посетителей имеет экспоненциальный характер с интервалом a минут. Каждый посетитель может обойти один или несколько стеллажей, отбирая необходимую ему литературу. Вероятность обхода конкретного стеллажа b , время, требуемое для его обхода c , число отобранной литературы у данного стеллажа d . На выходе происходит регистрация выбранной посетителем литературы. Она пропорциональна числу выбранной литературы и составляет e сек. на 1 книгу. При ожидании своей очереди регистрации любой посетитель может подобрать еще f интересных его брошюр. Время обхода стеллажей и количество отобранной литературы подчинены равномерному закону распределения.

Постройте модель, описывающую данный процесс при 6-часовом режиме работы, и определите максимальную длину очереди для регистрации, нагрузку регистратора и максимальное количество посетителей, находящихся в информационном центре одновременно.

Варианты заданий приведены в табл. 25.

Таблица 25

№ варианта	a	b	c	d	e	f
1	60	0,65	125±60	4±1	10	2±1
2	65	0,60	130±40	3±2	15	3±1
3	70	0,70	140±40	4±2	20	2±1
4	80	0,75	155±35	3±1	25	3±1
5	90	0,80	135±35	5±2	30	2±1
6	70	0,60	125±60	4±1	10	3±1
7	80	0,70	130±40	3±2	15	2±1
8	90	0,75	140±40	3±1	20	3±1
9	60	0,80	155±35	5±2	25	2±1
10	65	0,65	135±35	4±2	30	3±1

Дополнительные задания к лабораторной работе

Используя статистику вашего индивидуального задания:

1. Подсчитайте, какая часть покупателей (посетителей) сделала покупки у первого прилавка (выбрала книги у первого стеллажа);
2. Выполните п. 1 для второго прилавка (стеллажа);
3. Подсчитайте, сколько покупателей (посетителей) находилось у первого, второго и третьего прилавков (стеллажей), соответственно, в момент завершения моделирования.

Лабораторная работа № 10 Сравнение альтернативных систем обслуживания

Цель работы: построение имитационной модели системы обслуживания, анализ полученных данных, выработка рекомендаций для ЛПП (лиц, принимающих решение).

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование одноканальных и многоканальных СМО. Основные характеристики работы одноканальной и многоканальной СМО. Проведите моделирование непрерывных случайных величин

(п. 1.5). Проведите моделирование экспоненциального и нормального распределения случайной величины. Проведите моделирование вероятностных функций распределения в GPSS/W (прил. 7). Определите функции в GPSS/W. Используйте функцию в блоках GENERATE и ADVANCE (прил. 7). Проверьте моделирование одноканальных и многоканальных устройств средствами языка GPSS/W. Блоки SEIZE и RELEASE, ENTER и LEAVE. Параметры транзакта. Блок ASSIGN (прил. 6). Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W PRIORITY (прил. 6). Выберите необходимый режим работы оператора TRANSFER для построения вашей модели. Соберите статистику об ожидании – блоки QUEUE и DEPART. Ознакомьтесь с работой оператора SELECT (прил. 6). Стандартная статистика по приборам (одноканальным устройствам), очередям и многоканальным устройствам (прил. 3).

Варианты индивидуальных заданий

1. Прием ведут 3 врача. Интервалы прихода пациентов имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 10 приходов в час. К каждому врачу стоит очередь. Если в момент прихода пациента хотя бы один врач свободен, пациент идет к этому врачу. В противном случае пациент присоединяется к любой очереди, которая на текущий момент является самой короткой. Прием ведется по принципу «первым пришел – первым обслужен». Пациенты могут быть двух типов. Относительная частота их прихода и соответствующее среднее время приема приведены в табл. 26. Время обслуживания каждого типа имеет экспоненциальное распределение.

Необходимо построить модель системы с отдельными очередями и общей очередью. Причем событие «завершение обслуживания» пациента обрабатывается первым, потом только событие «приход пациента». Необходимо собрать информацию об очередях при 6-часовом рабочем дне.

Варианты заданий приведены в табл. 26.

Таблица 26

№ варианта	Виды пациентов			
	1		2	
	частота	ср. время	частота	ср. время
1	0,2	22	0,8	15
2	0,3	25	0,7	12
3	0,4	20	0,6	10
4	0,6	25	0,4	30

2. В библиотеке имеется 4 библиотекаря. Интервалы прихода читателей имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 15 приходов в час. К каждому библиотекарю стоит очередь. Если в момент прихода читателя хотя бы один библиотекарь свободен, читатель идет к этому библиотекарю. В противном случае читатель присоединяется к любой очереди, которая на текущий момент является самой короткой. Прием ведется по принципу «первым пришел – первым обслужен». Читатели могут быть двух видов. Относительная частота их прихода и соответствующее среднее время обслуживания приведены в табл. 27. Время обслуживания каждого типа имеет экспоненциальное распределение.

Необходимо построить модель системы с отдельными очередями и общей очередью. Причем событие «завершение обслуживания» читателя обрабатывается первым, потом только событие «приход читателя». Необходимо собрать информацию об очередях при 8-часовом рабочем дне.

Варианты заданий приведены в табл. 27.

Таблица 27

№ варианта	Виды читателей			
	1		2	
	частота	ср. время	частота	ср. время
1	0.4	12	0.6	18
2	0.7	19	0.3	13
3	0.2	20	0.8	17
4	0.3	22	0.7	18

3. На вокзале имеется 5 билетных касс. Интервалы прихода пассажиров имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 50 приходов в час. К каждой кассе стоит очередь. Если в момент прихода пассажиров хотя бы одна из касс свободна, пассажир идет к этой кассе. В противном случае он присоединяется к любой очереди, которая на текущий момент является самой короткой. Прием ведется по принципу «первым пришел – первым обслужен». Пассажиры могут быть двух видов. Относительная частота прихода этих двух видов и соответствующее среднее время обслуживания приведены в табл. 28. Время обслуживания каждого типа имеет экспоненциальное распределение.

Необходимо построить модель системы с отдельными очередями и общей очередью. Причем первым обрабатывается событие «завершение обслуживания» пассажира, а затем событие «приход пассажира».

Необходимо собрать информацию об очередях при 12-часовом режиме работы кассы.

Варианты заданий приведены в табл. 28.

Таблица 28

№ варианта	Виды пассажиров			
	1		2	
	частота	ср. время	частота	ср. время
1	0,2	10	0,8	5
2	0,4	5	0,6	7
3	0,3	5	0,7	7
4	0,5	6	0,5	8

4. В пункте обмена валюты имеется 3 кассы. Интервалы прихода клиентов имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 20 приходов в час. К каждой кассе стоит очередь. Если в момент прихода клиента хотя бы одна из касс свободна, клиент идет к этой кассе. В противном случае он присоединяется к любой очереди, которая на текущий момент является самой короткой. Прием ведется по принципу «первым пришел – первым обслужен». Клиенты могут быть двух видов. Относительная частота их прихода и соответствующее среднее время обслуживания приведены в табл. 29. Время обслуживания каждого типа имеет экспоненциальное распределение.

Необходимо построить модель системы с отдельными очередями и общей очередью. Причем событие «завершение обслуживания» клиентов обрабатывается первым, потом только событие «приход клиента». Необходимо собрать информацию об очередях при 5 часах.

Варианты заданий приведены в табл. 29.

Таблица 29

№ варианта	Виды пассажиров			
	1		2	
	частота	ср. время	частота	ср. время
1	0,5	14	0,5	6
2	0,6	11	0,4	8
3	0,8	8	0,2	12
4	0,7	9	0,3	14

5. На почте имеется 4 окна приема телеграмм. Интервалы прихода клиентов имеют пуассоновский характер распределения с интенсивностью 30 приходов в час. К каждому окну стоит очередь. Если в момент прихода клиента хотя бы одно из окон свободно, клиент идет к этому окну. В противном случае он присоединяется к любой очереди, которая на текущий момент является самой короткой. Прием ведется по принципу «первым пришел – первым обслужен». Клиенты могут быть двух видов. Относительная частота их прихода и соответствующее среднее время обслуживания приведены в табл. 30. Время обслуживания каждого типа имеет экспоненциальное распределение.

Необходимо построить модель системы с отдельными очередями и общей очередью. Причем событие «завершение обслуживания» клиентов обрабатывается первым, а затем событие «приход клиента». Необходимо собрать информацию об очередях при 24-часовом режиме работы почты.

Варианты заданий приведены в табл. 30.

Таблица 30

№ варианта	Виды пассажиров			
	1		2	
	частота	ср. время	частота	ср. время
1	0,8	8	0,2	10
2	0,5	6	0,5	11
3	0,7	7	0,3	9
4	0,6	6	0,4	10

Дополнительные задания к лабораторной работе

Напишите блоки SELECT для выполнения следующих действий:

1. Просмотреть очереди 1–7, выяснив, какая из них в качестве значения счетчика «число нулевых входов» имеет ноль. Если такая очередь есть, её номер следует поместить значением седьмого параметра соответствующего транзакта. При любом исходе транзакт должен из блока SELECT перейти в следующий по порядку блок.

2. Просмотреть многоканальные устройства 1–8 и определить, есть ли среди них хотя бы одно, текущее содержимое которого было бы меньше чем 3. Если да, то номер такого устройства записать значением параметра 1 транзакта (в этом случае он должен пойти в следующий по порядку блок). Если ни одно из многоканальных устройств этому условию не отвечает, транзакт должен перейти в блок с именем RUTE.

3. Среди приборов с номерами 4–9 необходимо отыскать такой, нагрузка которого была бы наименьшей. Номер такого прибора надо записать в P1.

Лабораторная работа № 11

Моделирование систем массового обслуживания

Цель работы: закрепление навыков построения имитационных моделей СМО, проведение экспериментов, поиск оптимального варианта работы системы.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование одноканальных и многоканальных СМО. Основные характеристики работы одноканальной и многоканальной СМО.

Проведите моделирование функций распределения определяемых пользователем в GPSS/W (прил. 7). Используйте функцию в блоках GENERATE и ADVANCE (прил. 7). Используйте сохраняемые величины – блок SAVEVALUE (прил. 7). Проверьте моделирование одноканальных и многоканальных устройств средствами языка GPSS/W. Блоки SEIZE и RELEASE, ENTER и LEAVE. Выберите необходимый режим работы оператора TRANSFER для построения вашей модели. Параметры транзакта. Блок ASSIGN (прил. 6). Ознакомьтесь с работой блока SPLIT. Ознакомьтесь с работой оператора SELECT (прил. 6). Стандартная статистика по приборам (одноканальным устройствам), очередям и многоканальным устройствам (прил. 3).

Варианты индивидуальных заданий

1. В цех на участок обработки поступают партии деталей по три в каждой. Интервалы между приходом партий – случайные величины, равномерно распределенные в интервале $a \pm b$ минут. Первичная обработка деталей происходит на одном из двух типов станков. Деталь поступает на обработку на станок с меньшей очередью. Станок первого типа обрабатывает деталь за t_1 минут и допускает k_1 процентов брака, второго типа – соответственно, t_2 минут и k_2 процентов брака. Все бракованные детали возвращаются на повторную обработку на свой станок. Детали, которые были забракованы дважды, считаются отходами и отправляются на утилизацию. После первичной обработки детали поступают в накопитель, а из него – на вторичную обработку, которую проводят два параллельно работающих станка за время, распределенное по экспоненциальному закону со средним t_3 минут на одну деталь каждый. Причем второй станок подключается к работе, только если в накопителе

находится более трех деталей. Затраты на содержание станков первого и второго типов составляют, соответственно, s_1 и s_2 единиц стоимости в час, независимо от того, используется станок или нет. Цена реализации готовой детали составляет s_3 единиц стоимости, а стоимость покупки необработанной детали – s_4 единиц стоимости. Есть возможность повысить качество первичной обработки деталей. Уменьшение уровня брака в работе станков на r процентов требует дополнительных затрат $r*5$ единиц стоимости на каждую деталь. Действия по повышению эффективности качества первичной обработки могут проводиться для обоих типов станков независимо друг от друга.

Определить, сколько станков первого и второго типов необходимо иметь и в каком объеме проводить мероприятия по повышению качества первичной обработки, чтобы достичь максимума прибыли за единицу времени. Варианты заданий приведены в табл. 31.

Таблица 31

№ варианта	Параметры									
	$a \pm b$	k_1	k_2	t_1	t_2	t_3	s_1	s_2	s_3	s_4
1	50±10	5	10	40±10	60±15	25	4	1,5	200	45
2	60±10	4	11	45±12	80±20	30	6	2	300	50
3	70±10	6	15	50±15	100±20	40	6	2,5	250	65
4	65±10	5	20	50±12	85±20	35	5	2,2	350	60
5	55±10	4	17	42±8	70±15	27	4	1,5	220	30
6	60±8	5	13	47±12	70±20	30	6	2	280	32
7	70±12	6	18	54±11	98±20	35	7	2,7	300	40
8	65±9	7	22	48±9	87±18	33	5	1,8	200	30
9	50±8	4	19	39±11	75±20	25	4	1,2	270	60
10	55±11	5	13	45±13	85±15	28	5	1,9	230	50

2. На регулировочный участок цеха через случайные интервалы времени поступают по два агрегата через каждые t_1 минут. Первичная регулировка проводится для двух агрегатов одновременно и занимает t_2 минут. Если в момент поступления агрегатов операция регулировки занята, агрегаты на первичную регулировку не принимаются и поступают в промежуточный накопитель, в котором ждут дальнейшей обработки. Агрегаты, которые прошли первичную регулировку, поступают

попарно на вторичную регулировку, которая выполняется за t_3 минут (в результате получаем агрегаты первого сорта). Агрегаты, не прошедшие первичную регулировку, с промежуточного накопителя поступают по одному на частичную регулировку (время регулировки $-t_4$ минут для каждого агрегата), В результате получают агрегаты второго сорта. Величины t_2 , t_3 и t_4 заданы в табл. 2 своими средними значениями. Они распределены по экспоненциальному закону распределения. Прибыль от реализации одного агрегата первого сорта составляет s_1 единиц стоимости, второго сорта – s_2 единиц стоимости. Уменьшение на одну минуту средней длительности первичной, вторичной и частичной регулировок требует, соответственно, дополнительных затрат – s_3 , s_4 , s_5 единиц стоимости на каждую деталь. Изменение длительности регулировок можно выполнять независимо друг от друга.

Определить наиболее выгодную с точки зрения экономической эффективности длительность первичной, вторичной и частичной регулировок. Варианты заданий приведены в табл. 32.

Таблица 32

№ варианта	Параметры								
	t_1	t_2	t_3	t_4	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
1	30 ± 10	30	60	50	300	200	5	3	8
2	40 ± 8	40	80	60	500	220	7	4	7
3	45 ± 10	45	90	65	600	300	8	3	9
4	35 ± 8	35	70	55	450	210	6	4	6
5	28 ± 12	28	56	46	300	210	5	3	6
6	30 ± 9	30	60	50	310	200	6	4	7
7	42 ± 10	42	84	70	510	250	7	3	8
8	37 ± 8	37	74	59	470	220	6	4	9
9	33 ± 13	33	66	55	330	200	5	3	6
10	44 ± 9	44	88	70	450	190	8	4	7

Дополнительные задания к лабораторной работе

Контейнеры с керамическими изделиями поступают в цех обжига (входной поток пуассоновский с параметром $1/20$). Каждый контейнер содержит партию из 100 изделий, которые требуют одинакового време-

ни обжига. Время обжига – равномерно распределенная величина в интервале 20 ± 8 . В цехе находится печь, в которую одновременно загружают три контейнера. Время обжига соответствует наибольшему из времен, необходимых для обжига изделий из этих трех контейнеров. Прибыль от обжига каждого изделия составляет 5 единиц стоимости. Один час работы печи требует 10 единиц стоимости (учитывается только «чистое» время работы печи). Сравните экономическую эффективность следующих дисциплин обслуживания:

А. Контейнеры загружаются в печь по три по принципу FIFO. Для поддержки функционирования очереди необходимо 11 единиц стоимости в час.

В. Контейнеры разделяются на две очереди: очередь с большим временем обжига и очередь с меньшим временем обжига изделий в печи. В печь загружаются по три контейнера из каждой очереди выбор осуществляется по принципу FIFO. Для поддержки этих двух очередей необходимо $k_1 * 11$ единиц стоимости.

С. Контейнеры разделяются на три очереди: с «большим», «средним» и «меньшим» временем обжига изделий в печи. В печь загружаются по три контейнера из каждой очереди, выбор осуществляется по принципу FIFO. Для поддержки функционирования этих трех очередей необходимо $k_2 * 11$ единиц стоимости. Оценить интервалы значений k_1 и k_2 при которых дисциплины В и С становятся невыгодными

Лабораторная работа 12

Моделирование систем массового обслуживания

Цель работы: закрепление навыков построения имитационных моделей многоканальных СМО, проведение экспериментов, поиск оптимального варианта работы системы

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование многоканальных СМО. Основные характеристики работы многоканальной СМО. Проведите моделирование непрерывных случайных величин.

Проведите моделирование пуассоновского распределения случайной величины. Проведите моделирование вероятностных функций распределения в GPSS/W (прил. 7). Определите функции в GPSS/W. Используйте функцию в блоках GENERATE и ADVANCE (прил. 7). Используйте сохраняемые величины – блок SAVEVALUE (прил. 7). Проверьте моделирование многоканальных устройств средствами языка GPSS/W. Блоки ENTER и LEAVE. Параметры транзакта. Выберите необходимый режим работы оператора TRANSFER для построения вашей мо-

дели. Ознакомьтесь с работой блока TEST (прил. 6). Стандартная статистика по очередям и многоканальным устройствам (прил. 3).

Варианты индивидуальных заданий

Поток самолетов, требующих посадки в аэропорту, – пуассоновский, с интенсивностью λ самолетов в час. В аэропорту есть n посадочных полос. Самолет, совершив посадку на полосу, освобождает ее через t_1 минут. Если самолет, требующий посадки, застает все полосы занятыми, то он становится в «очередь» самолетов, ожидающих посадки. Через $t_2 \pm t_3$ минут после затребования посадки самолет нуждается в дозаправке, что обходится аэропорту в $s_1 \pm s_2$ ед. стоимости. После t_4 минут безуспешного ожидания самолет отправляется на посадку в другой аэропорт. За каждый самолет, совершивший посадку без ожидания, аэропорт получает прибыль s_3 ед. стоимости. За каждый самолет, севший после ожидания, – $s_4 \pm s_5$ ед. стоимости. Эксплуатация одной посадочной полосы обходится в s_6 ед. стоимости в месяц.

Определить количество n посадочных полос, при котором достигается максимальная экономическая эффективность. Варианты заданий приведены в табл. 33.

Дополнительные задания к лабораторной работе

Поток требований на получение книг в библиотеке – пуассоновский с интенсивностью 20 требований в час. Требования принимает один библиотекарь. Прием требований занимает интервал времени, распределенный по экспоненциальному закону со средним временем 1,1 минут. С вероятностью 0,3 приходят требования на научную литературу, с вероятностью 0,5 – на художественную литературу, с вероятностью 0,2 – на периодические издания. Соответственно типу запросы направляются в отделы научной, художественной литературы и периодических изданий. В этих отделах работают, соответственно, 2, 3 и 2 человек. Время поиска книги составляет 20 ± 5 минут в научном и художественном отделах, а время поиска литературы в отделе периодических изданий – 15 ± 5 минут. Потом заказанная литература приходит в отдел выдачи литературы, где работает 1 библиотекарь. Заказы на периодические издания имеют больший приоритет, нежели на научную и художественную литературу, а заказы на художественную и научную одинаковый приоритет. Время выдачи литературы распределено равномерно в интервале 1–3 минуты.

Найти оценку среднего времени выполнения заказа. Определить количество библиотекарей в каждом отделе, при котором среднее время выполнения требований было бы минимальным, учитывая, что общее количество библиотекарей не должно превышать 12 человек.

Таблица 33

№ варианта	Параметры								
	λ	n	t_1	$t_2 \pm t_3$	$s_1 \pm s_2$	t_4	s_3	$s_4 \pm s_5$	s_6
1	10	2	35	70±10	1000±200	140	2000	1500±100	300000
2	15	4	70	80±15	1200±250	120	2500	1200±200	500000
3	20	4	90	60±5	1300±100	150	2200	1300±100	400000
4	25	3	50	100±10	1100±300	100	2400	1400±150	600000
5	14	3	35	75±15	1050±200	110	2100	1550±100	300500
6	17	4	55	85±10	1250±250	130	2300	1250±200	500500
7	20	3	45	65±10	1350±100	160	2600	1350±100	400500
8	22	4	50	90±10	1150±300	105	2700	1450±150	600500
9	10	2	30	95±15	1050±250	145	2050	1500±150	300000
10	14	3	35	75±10	1250±200	125	2550	1200±250	500000
11	15	3	40	85±15	1350±150	155	2250	1300±150	400000
12	20	4	80	65±15	1150±350	105	2450	1400±150	600000
13	22	4	70	95±20	1000±250	115	2150	1550±150	300500
14	25	4	45	75±5	1200±200	135	2350	1250±250	500500
15	10	3	80	85±5	1300±150	165	2650	1350±150	400500
16	17	4	45	65±5	1100±350	110	2750	1450±160	600500
17	15	3	50	90±20	1100±250	145	2000	1550±150	300000
18	21	4	55	70±5	1150±200	125	2500	1250±250	500000
19	17	4	70	80±5	1250±150	155	2200	1350±150	400000
20	20	3	60	100±5	1000±300	105	2400	1450±150	600000

Лабораторная работа № 13

Цель работы: принятие решений с помощью имитационного моделирования.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование непрерывных случайных величин (п 1.5). Проведите моделирование нормального распределения случайной величины. Проведите моделирование вероятностных функций распределения в GPSS/W (прил. 7). Определите функции в GPSS/W. Используйте функцию в блоках GENERATE и ADVANCE (прил. 7). Параметры транзакта. Измените значения параметров – блок ASSIGN (прил. 6). Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W TEST (прил. 6). Выберите необходимый режим работы оператора TRANSFER для построения вашей модели. Ознакомьтесь с работой блоков TABULATE и SAVEVALUE (прил. 6). Осуществите сбор стандартной статистики по таблицам и сохраняемым величинам (прил. 4).

Задача по управлению запасами

В магазине ежедневная потребность в некоторой продукции распределена нормально с математическим ожиданием и стандартным отклонением, равными 10 и 2 единицам, соответственно. Как только запас магазина падает до (или ниже) уровня заранее определенной величины, называемой точкой восстановления, поставщику посылают заказ на пополнение запаса. Величина пополнения, называемая количеством восстановления, всегда равна 100 единицам. Пополнение приходит в магазин приблизительно между шестым и девятым днем после подачи заказа. Это случайное время между подачей заказа на пополнение и прибытием пополнения в магазин называется приведенным временем. Распределение приведенного времени показано в табл. 34. Требование, возникающее в момент, когда магазин не имеет заказа, теряется. Это означает, что покупатель, чье требование невозможно удовлетворить немедленно, тут же уходит.

Владельцу магазина нужно знать, как установить точку восстановления. Из таблицы 31 ему известно, что приведенное время в среднем составляет 8 дней. Поскольку в среднем запрашивается 10 единиц товара в день, он полагает, что точка восстановления не должна быть ниже 80; в противном случае у него не найдется достаточного количества товара для удовлетворения требований, ожидаемых в период приведенного времени. Владелец полагает, что установление точки восстановления на более высоком уровне (90 или 100) уменьшает возможность потерь

при продаже в период ожидания прибытия пополнения. Кроме того, более высокий уровень точки восстановления означает, что в среднем запас больше; это увеличивает величину вложенного в запас капитала.

Требуется построить GPSS-модель для описания ситуации. В модели следует предусмотреть возможность измерения характеристик распределений двух случайных переменных: «ежедневные потери от не-сделанных покупок» и «число единиц, имеющихся в наличии». Необходимо выполнить прогон модели для оценки этих двух распределений, если число восстановления равно 100, а точка восстановления равна 80, 90 и 100. Для каждой конфигурации следует провести моделирование работы магазина в течение 1000 дней.

Предположим для простоты, что владелец проверяет уровень товара только в конце рабочего дня, а затем либо делает, либо не делает заказ на пополнение. Предположим также, что пополнение прибывает только после закрытия магазина; это означает, что ни одна единица товара из пополнения не может быть использована для удовлетворения требования, возникающего в день прибытия пополнения. Пренебрежем также «проблемами выходных». Такие вопросы возникают, потому что на практике владелец может не открывать магазин в субботу и (или) воскресенье; тем не менее в субботу и воскресенье пополнение продолжает поступать к месту назначения. Отказ от проблемы выходных равносильно тому, что владелец держит магазин открытым семь дней в неделю.

Таблица 34

Приведенное время, дни	6	7	8	9	10
Относительная частота	0,05	0,25	0,30	0,22	0,18

Лабораторная работа № 14

Цель работы: принятие решений с помощью имитационного моделирования.

Методические рекомендации к лабораторной работе

Изучите основы дискретно-событийного моделирования СМО. Проведите моделирование многоканальных СМО (п. 1.4). Основные характеристики работы многоканальной СМО. Проведите моделирование непрерывных случайных величин (п. 1.5). Проведите моделирование экспоненциального распределения случайной величины. Проведите моделирование вероятностных функций распределения в GPSS/W

(прил. 7). Определите функции в GPSS/W. Используйте функций в блоках GENERATE и ADVANCE (прил. 7). Проверьте моделирование многоканальных устройств средствами языка GPSS/W. Блоки ENTER и LEAVE. Параметры транзакта. Измените значения параметров – блок ASSIGN (прил. 6). Ознакомьтесь с работой оператора GPSS/W TEST (прил. 6). Ознакомьтесь с работой блока TABULATE (прил. 6). Ознакомьтесь с матрицами сохраняемых значений и переменными (прил. 1). Осуществите сбор стандартной статистики по многоканальным устройствам, таблицам и сохраняемым величинам (прил. 4).

Модель производственного цеха

Некоторый производственный цех имеет шесть различных групп механизмов. Каждая группа состоит из определенного числа механизмов данного типа. Например, первая группа состоит из 14 отливочных блоков. Внутри каждой группы механизмы идентичны друг другу. Таким образом, не имеет значения, какой именно блок используют для выполнения операции отливки или какой именно фрезерный станок используют для фрезерования и т.д.

В производственном цехе выполняют три различных типа работ. Каждый тип работы требует, чтобы операции выполнялись при участии определенных типов механизмов в заданной последовательности. Общее число и типы работ, а также соответствующая последовательность прохождения показаны в табл. 35. Например, работы типа 1 должны пройти четыре типа обработки. Обрабатывающие механизмы (отливочный блок, строгальный, токарный и шлифовальный станки) перечислены в том порядке, в котором должна проходить обработка. В таблице 35 указано также среднее время, требуемое каждому типу работы на каждую производимую операцию. Например, для типа 1 работы операция отливки занимает в среднем 125 мин. Все времена выполнения распределены экспоненциально.

Работы поступают в цех по закону Пуассона со средним значением 50 работ в восьмичасовой рабочий день; 24% работ принадлежат типу 1, 44% типу 2, а оставшиеся являются работами типа 3. Тип поступающей работы не зависит от того, какого типа работа поступила перед ней.

Постройте GPSS-модель, имитирующую работу производственного цеха. Выполните прогон модели за время, эквивалентное пяти сорокачасовым рабочим неделям. В конце каждой недели необходимо выдать на печать:

- распределение времени пребывания работы в цехе как функцию типа работы;
- распределение общего числа работ в цехе, основанное на наблюдениях, делаемых в конце каждого дня в течение недели.

Вместо того чтобы накапливать статистику, собрать ее нужно так, чтобы она была распределена по неделям. Предположите, что обслуживание в каждой группе механизмов происходит в порядке поступления («первым пришел – первым обслужен») вне зависимости от типа работы. Предположите также, что между последовательными восьмичасовыми рабочими днями нет промежутков.

Таблица 35

Номер группы	Механизмы в группе	Число, шт.
Тип 1	Тип 2	Тип 3
1	Отливочные блоки	14
2	Токарные станки	5
3	Строгальные станки	4
4	Сверлильные станки	8
5	Фрезерные станки	16
6	Шлифовальные станки	4

5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИЗУЧЕНИЯ КОНЦЕПЦИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

1. Бутылки с фруктовым соком поступают на автоматическую линию в соответствии с пуассоновским распределением вероятности со средней интенсивностью десять партий в день. В конце конвейера бутылки закупориваются автоматическим устройством. Установлено, что увеличение производительности на 1 единицу обойдется фирме в 100 долларов в неделю. Задержка в выполнении указанной выше технологической операции приведет к сокращению объема производства; при этом экономические потери из расчета на одну партию бутылок равняются 200 долларов в неделю.

Определите оптимальную скорость работы автомата.

2. Фирма X продает рестораны двух типов, характеризующиеся конкретными проектными решениями (обозначим их соответственно через A и B). Ресторан типа A вмещает 80 посетителей, а ресторан типа B – 100 посетителей. Месячные расходы, связанные с предоставлением услуг в ресторанах типа A и B, равняются соответственно 1000 и 1200 долларов. Другая фирма Y намерена приобрести подходящий ресторан для обслуживания жителей города N. По оценкам фирмы Y посещение ресторана (в случае, если покупка состоится) будет происходить в соответствии с пуассоновским законом распределения вероятностей со средней интенсивностью 30 человек в час. Ресторан типа A способен оказывать услуги со средней интенсивностью 20 человек в час, тогда как ресторан типа B способен оказывать услуги с интенсивностью 35 человек в час. Ясно, что если ресторан (независимо от того, к какому типу он относится) заполнен до отказа, то, как правило, дополнительно поступающие клиенты, не дожидаясь обслуживания, уходят. Стоимостные потери, обусловленные каждым таким актом отказа от ожидания (в расчете на одного необслуженного клиента), по приблизительным оценкам составляют 8 долларов в день. Задержка в обслуживании посетителей, уже разместившихся за столиками ресторана, приводит к экономическим потерям, которые в один час и в расчете на 1 посетителя составляют 0,4 доллара.

Предполагая, что ресторан будет функционировать 10 часов в сутки, определите, какой тип (A или B) ресторана целесообразно приобрести фирме Y.

3. На должность механика по ремонту оборудования в инструментальном цехе промышленного предприятия претендуют 2 человека. Число однотипных технических устройств, которые в случае поломки нужно ремонтировать, равняется 10. Первому из претендентов, способ-

ному отремонтировать в течение часа 5 технических устройств, придется платить 3 доллара в час, тогда как второму претенденту, который может отремонтировать в течение часа 8 технических устройств, нужно будет платить 5 долларов в час. По оценкам специалистов «простой» одного вышедшего из строя технического устройства эквивалентен потере в прибыли на сумму 8 долларов в час.

Выберите одного из претендентов.

4. Каждый агрегат крупной насосной станции функционирует круглосуточно. Распределение вероятностей появления технических неисправностей в каждом таком агрегате является экспоненциальным со средним значением интервала времени между последовательными возникновениями неисправностей, равным 20 ч. Мастер способен устранять возникающие в агрегате неполадки в среднем за 10 ч при экспоненциальном распределении продолжительности ремонтных работ. Насосная станция располагает 10 агрегатами, которые обслуживаются 2 мастерами, работающими в режиме постоянного ожидания вызова к месту расположения вышедшего из строя агрегата. Каждый мастер получает 7 долларов в час. Потери фирмы, обеспечивающей водоснабжение, в случае сбоя одного насоса равняются 15 долларам в час.

Фирмой рассматривается вопрос о принятии на работу еще одного мастера:

а) определите экономическую выгоду, которую сможет получить фирма (в расчете на ед. времени) в случае принятия на работу еще одного мастера;

б) оцените экономические потери (в долларах), обусловленные возникающими на станции неполадками, в случае, когда все ремонтные работы возлагаются на двух уже работающих мастеров;

в) оцените значение упомянутого в п. б) показателя, в случае, когда число мастеров, обслуживающих насосную станцию, равняется 3.

5. В цехе промышленного предприятия имеется 10 одинаковых станков. Каждый час работы одного станка обеспечивает прибыль, равную 4 долларам. Поломка станка за семичасовой период времени происходит в среднем один раз. Один механик тратит на ремонт станка в среднем 4 часа, хотя фактически наблюдаемые продолжительности ремонта одного станка распределены по экспоненциальному закону. Механик, осуществляющий ремонт станков, получает 6 долларов в час.

Определите:

а) число механиков, обеспечивающих минимизацию суммарных экономических потерь;

б) число механиков, которое необходимо для того, чтобы среднее количество простаивающих из-за неисправности станков было меньше 4-х;

в) число механиков, при котором среднее время простоя станка из-за возникновения в нем неисправности не превышало бы 4-х часов.

6. ОБЗОР РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

С фундаментальными основами теории моделирования можно ознакомиться в учебном пособии: **Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем.** В пособии приводятся определения основных понятий компьютерной имитации, рассматривают подходы к моделированию процессов и явлений в природе и обществе, особое внимание уделяется математическому аппарату формализации процессов в сложных системах, методически последовательно показывается переход концептуальных моделей систем к формальным, приводится методология статистического моделирования систем, обсуждаются проблемы интерпретации полученных с помощью компьютерной модели результатов применения применительно к объекту моделирования, т.е. исследуемой системе.

В изучаемом курсе студент должен приобрести знания и навыки построения моделей и изучить технику моделирования, для этого необходимо обратиться к научному изданию: **Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS.** В книге рассматриваются основы дискретно-событийного моделирования систем и технология имитационного моделирования. Первая и вторая главы охватывают проблемы систем и сетей массового обслуживания, на которых основываются имитационные модели экономических, информационных, технологических, технических и других систем. Рассматриваются принципы построения моделирующих алгоритмов. В третьей главе рассматриваются методы вероятностного моделирования дискретных и случайных непрерывных величин, которые позволяют учитывать при моделировании экономических процессов случайные воздействия на систему. Для практической реализации имитационных моделей систем на ЭВМ студентам необходимо изучить язык GPSS, которому посвящена четвертая глава книги. Возможности языка иллюстрируются конкретными примерами с пояснениями. Вопросы организации, планирования и проведения экспериментов рассмотрены в девятой главе. Примеры принятия решений по результатам имитационного моделирования приведены в десятой главе.

Учебным планом специальностей «Прикладная информатика» и «Информационные системы и технологии» по дисциплине «Моделирование систем» предусмотрено проведение лабораторных работ. В учебном пособии: **Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Практикум: Учеб. пособие для бакалавров** рассматриваются вопросы организации моделирования систем на ПЭВМ, даются рекомендации по методике, основным этапам и технологии машинного моделирования. Существенное место занимают вопросы практической реализации моделей систем на ЭВМ. Для освоения практического использования языка GPSS рекомендуется ознакомиться со второй главой учебного пособия.

С технологиями создания и использования имитационных моделей можно ознакомиться в учебном пособии **Лычкиной Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов**. В пособии описаны базовые концепции структуризации моделируемых сложных систем.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Объекты и категории системы имитационного моделирования GPSS.
2. Понятие транзакта. Группа блоков задержки транзактов по заданному времени в системе GPSS.
3. Атрибуты транзактов. Отображение динамики управляемого процесса, динамики очереди, динамики потока транзактов в системе GPSS.
4. Блоки создания и уничтожения транзактов в системе GPSS.
5. Блоки изменения параметров транзактов в системе GPSS.
6. Группа блоков создания копий транзактов в системе GPSS.
7. Группа блоков синхронизации движения транзактов в системе GPSS.
8. Блоки изменения маршрутов транзактов в системе GPSS.
9. Часы модельного времени.
10. Элементы, символизирующие одноканальные обслуживающие устройства.
11. Реализация задержки во времени.
12. Сбор статистики при ожидании.
13. Переход транзакта в блок отличный от последующего.
14. Моделирование многоканальных устройств.
15. Переменные.
16. Генераторы случайных чисел.
17. Определение функций. Особенности вычисления дискретных и непрерывных GPSS функций.
18. Моделирование неравномерных случайных величин.
19. Моделирование вероятностных функций распределения в GPSS WORLD.
20. Моделирование пуассоновского потока. Экспоненциальный закон распределения.
21. Моделирование нормального закона распределения.
22. Стандартные числовые атрибуты, параметры транзактов.
23. Внутренние атрибуты событий в модели.
24. Изменение приоритета транзактов.
25. Организация обслуживания с прерыванием.
26. Сохраняемые величины.
27. Проверка числовых выражений.
28. Определение и использование таблиц.
29. Косвенная адресация.
30. Списки пользователей.
31. Стандартный выходной отчет системы GPSS.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

Лычкина, Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие для студентов вузов / Н.Н. Лычкина. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 254 с.

Советов, Б.Я. Моделирование систем. Практикум: учеб. пособие для бакалавров / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев; С.-Петербург. гос. электротехн. ун-т. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2013. – 295 с. (Бакалавр. Базовый курс)

Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2001. – 342 с.

Шрайбер, Т.Дж. Моделирование на GPSS / Т.Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.

Дополнительная

Вдовин, В.М. Теория систем и системный анализ / В.М. Вдовин, Л.Е. Суркова, В.А. Валентинов. – 2-е изд. – М.: Дашков и К*, 2012. – 640 с.

Волкова, В.Н. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата. – М.: Юрайт, 2015. – 450 с.

Волкова, В.Н. Моделирование систем и процессов. Практикум: учебник для академического бакалавриата / В.Н. Волкова. – М.: Юрайт, 2015. – 295 с.

Емельянов, А.А. Компьютерная имитация экономических процессов: учебник [для студентов вузов] / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума и др.; под ред. А.А. Емельянова. – М.: Маркет ДС, 2010. – 464 с. (Университетская серия).

Емельянов, А.А. Имитационное моделирование экономических процессов / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума; под ред. А.А. Емельянова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика: ИНФРА-М, 2009. – 416 с.

Качала, В.В. Основы теории систем и системного анализа / В.В. Качала. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 216 с.

Кийкова, Е.В. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. «Прикладная информатика (по областям)» / Е.В. Кийкова, Е.Г. Лаврушина. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2007. – 128 с.: ил.

Колесов, Ю.Б. Моделирование систем: практикум по компьютерному моделированию / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 352 с.

Павловский, Ю.Н. Имитационное моделирование / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский. – М.: Академия, 2008. – 236 с.

Томашевский, В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В.Н. Томашевский, Е.Г. Жданова – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.

Чикуров, Н.Г. Моделирование систем и процессов: учеб. пособие для студентов вузов / Н.Г. Чикуров. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2013. – 398 с. : ил.

Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем / Р. Шеннон. – Искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Принципы построения имитационных программ

Объекты языка GPSS подразделяют на категории и типы.

Наименование категорий: операционная, аппаратная, динамическая, вычислительная, статистическая, запоминающая, группирующая.

Наименование типов объекта: блоки, сообщения, устройства памяти, логические ключи, арифметические и булевские переменные, функции, очереди, таблицы, ячейки, матрицы ячеек, группы, списки.

Блоки. С объектами связаны определенные совокупности блоков, описываемых функционирование самой моделируемой системы либо содержащих дополнительную информацию о порядке моделирования.

Операционная категория. Блоки и сообщения – два основных типа объектов языка GPSS. Практически все изменения состояния модели происходят в результате входа сообщений в блоки и выполнения ими своих функций. С блоками связаны карты, управляющие процессом моделирования.

Карта SIMULATE указывает на необходимость проведения моделирования. При ее отсутствии производится только трансляция программы.

Карта START указывает на получение исходных данных и начало моделирования. Окончание моделирования производится при обнулении счетчиком количества вводимых сообщений, задаваемого в поле А. Поле С определяет интервал выдачи промежуточной статистики.

Аппаратная категория. Язык GPSS оперирует тремя группами оборудования:

- устройствами;
- памятью;
- логическими ключами.

К *группе устройств* относятся блоки SEIZE, RELEASE, PREEMPT, RETURN. Введение в моделирующую программу описания устройства позволяет автоматически регистрировать статистическую информацию.

Группу памяти образуют блоки ENTER, LEAVE и карта описания памяти STORAGE. Введение в моделирующую программу памяти позволяет автоматически регистрировать статистическую информацию.

Для управления *ключами* используется оператор LOGIG. Предусмотрено три режима изменения ключа: сброс в «0»; установка в «1»; инвертирование изменения состояния ключа на противоположное.

Динамическая категория. Динамические объекты – это сообщения (транзакты). В процессе моделирования они создаются и уничто-

жаются. Каждому сообщению соответствует набор параметров, количество которых может быть удовлетворено до 100. Если количество параметров не называется, то оно принимается равным 12. Сообщениям можно присваивать приоритет от 0 до 127; если приоритет не назван, то он принимается равным 0. С динамической категорией объектов связаны блоки, основные из которых можно подразделять на пять групп:

группа задержки состоит из единственного блока ADVANCE;

группа создания – из блоков GENERATE, SPLIT, ASSEMBLE;

группа уничтожения сообщений состоит из единственного блока TERMINATE;

группа изменения маршрутов сообщений – из блоков TRANSFER, LOOP, GATE, TEST. Блок TRANSFER имеет шесть основных режимов использования;

группа синхронизации сообщений включает в себя блоки MATCH и GATHER. Сопряженные блоки MATCH не допускают продвижения сообщения, поступившего первым, пока не поступило второе сообщение.

Вычислительная категория. В вычислительной категории используются объекты трех видов: арифметические переменные, логические (булевские) переменные и функции. Арифметические переменные описываются блоком VARIABLE в режиме целых чисел и FVARIABLE в режиме с плавающей точкой.

При вычислении используется пять алгебраических операций: "+" (сложение); «-» (вычитание); «*» (умножение); «/» (деление с отбрасыванием остатка); деление на нуль не считается ошибкой и дает результат, равный нулю; «_» (деление на модуль, при котором частное отбрасывается и сохраняется остаток, который считается положительным).

Функции описываются с помощью блока FUNCTION. Основные типы функций – кусочно-линейная и кусочно-постоянная.

Статистическая категория. В языке GPSS используются 2 типа статистических объектов:

– очереди;

– таблицы.

Очередь выделяется блоками QUEUE и DEPART. Частоты попадания заданного СЧА регистрируются блоком TABULATE. Характеристики таблиц вводятся блоком TABLE.

Для сохранения в модели числовой информации отводятся специальные ячейки основной памяти SAVEVALUE. Совокупности ячеек можно организовать в матрицы. Для записи информации в ячейки служит блок SAVEVALUE, в матрицы – MSAVEVALUE. Матрица описывается с помощью карты MATRIX. Присвоение начальных значений ячейкам и матрицам осуществляется блоком INITIAL, с помощью которого можно устанавливать также логические ключи в состоянии «1».

Например, блок INITIAL LS3 установит третий логический ключ в состоянии «1».

Для обеспечения гибкости программных моделей можно использовать косвенную адресацию объектов. При записи обозначения * перед числом N индексный номер объекта определяется значением N-го параметра сообщения. Например, запись SEIZE *4 означает поступление сообщения в устройство, номер которого определяется значением четвертого параметра; запись SAVEVALUE *5+1 означает, что к переменной, номер которой определяется значением пятого параметра, прибавляется единица.

Группирующая категория. Из объектов группирующей категории рассмотрим блоки LINK и UNLINK, позволяющие переводить сообщения из списка текущих активных событий в списки пользователя неактивных событий и обратно. Использование списков пользователя позволяет моделировать различные дисциплины обслуживания сообщений.

Синтаксис элементов языка

Алфавит. Алфавит языка GPSS состоит из латинских букв от A до Z; цифр от 0 до 9 и специальных символов.

Русские буквы могут использоваться только в комментариях.

Числа. В языке GPSS различают два типа чисел полные и действительны. Признаком действительного числа является десятичная точка. Числа могут занимать в памяти ЭВМ два байта (полусловные) и четыре байта (полнословные).

Идентификаторы. Они должны содержать не более пяти алфавитно-цифровых символов, причем первые три символа должны быть буквами. Идентификаторы используются для формирования имен объектов и блоков. Именованье объектов в GPSS может выполняться двумя способами в виде числового имени и символического.

Стандартные числовые атрибуты

В процесс моделирования GPSS автоматически регулирует и корректирует определенную информацию различных объектов, используемых в модели. Доступ к этой части информации осуществляется с помощью стандартного числового атрибута. Имя стандартного числового атрибута состоит из двух частей. Первая часть указывает групповое имя. Оно идентифицирует одновременно и тип элемента (т.е. прибор, многоканальное устройство, очередь), и тип информации (например, счетчик занятий прибора, нагрузку многоканального устройства). Вторая часть идентифицирует конкретного члена группы (т.е. какой прибор, какое многоканальное устройство).

Системные СЧА

- RN – число, вычисляемое генератором случайных чисел. При использовании в качестве аргумента функции выдается действительное число в диапазоне 0,000000 – 0,999999, в остальных случаях целое число в диапазоне 000 – 999;
- C1 – значение относительного времени. Автоматически изменяется программой и устанавливается в 0 управляющими операторами CLEAR или RESET;
- AC1 – значение абсолютного времени. Эта величина не меняется под действием управляющего оператора RESET и устанавливается в 0 лишь под воздействием оператора CLEAR;
- TG1 – текущее значение счетчика завершений;
- XN1 – номер активного сообщения;
- Z1 – размер свободной оперативной памяти в битах;
- M1 – время пребывания в модели транзакта, обрабатываемого программой в данный момент, эта величина может изменяться блоком MARK;
- PR – значение приоритета транзакта, обрабатываемого в данный момент. Эта величина может изменяться блоками PRIORITY и ASSIGN. По умолчанию приоритет равен 0.

СЧА транзактов

- Pj – значение j параметра текущего транзакта;
- MPj – значение времени, равное разности относительного модельного времени и содержимого j-го параметра текущего транзакта;
- MBj – флаг синхронизации: 1, если транзакт в блоке j принадлежит тому же семейству, что и текущий транзакт; 0 – в противном случае.

СЧА блоков

- N_j – счетчик входов в блок j ;
- W_j – счетчик текущего содержимого блока j .

СЧА многоканальных устройств

- R_j – емкость незаполненной части устройства j ;
- S_j – текущее содержимое многоканального устройства j ;
- SA_j – целая часть среднего содержимого многоканального устройства j ;
- SC_j – счетчик числа входов;
- SR_j – коэффициент использования многоканального устройства j ;
- SM_j – максимальное содержимое многоканального устройства j ;
- ST_j – целая часть среднего времени задержки на единицу емкости многоканального устройства j .

СЧА одноканальных устройств

- F_j – состояние прибора j (1 – занят, 0 – свободен). Этот атрибут изменяется блоками SEIZE, RELEASE, PREEMPT, RETURN;
- FI_j – флаг прерывания устройства: 1, если устройство находится в состоянии прерывания, 0 – в противном случае;
- FC_j – счетчик числа занятий устройства j ;
- FR_j – коэффициент использования устройства j ;
- FV_j – флаг готовности устройства к использованию: 1 – готово, 0 – в противном случае;
- FT_j – среднее время задержки на одно занятие устройства j .

СЧА очередей

- Q_j – текущее содержимое очереди j ;
- QA_j – целая часть среднего содержимого очереди j ;
- QC_j – счетчик общего числа входов в очередь j ;
- QM_j – максимальное содержимое очереди j ;
- QZ_j – счетчик числа нулевых входов в очередь j ;
- QT_j – целая часть среднего времени пребывания для всех входов в очередь j (включая нулевые входы);
- QX_j – целая часть среднего времени пребывания в очереди j (без нулевых входов).

СЧА таблиц

- TV_j – вычисленное среднее таблицы j ;
- TC_j – общее число включений в таблицу j ;
- TD_j – вычисленное среднеквадратичное отклонение для таблицы j ;

СЧА ячеек и матриц ячеек сохраняемых величин

- X_j – содержимое ячейки j ;
- $MX_j(a,b)$ – содержимое элемента матрицы ячеек j , расположенного в строке a и в столбце b .

СЧА вычислительных объектов

- BV_j – вычисленное значение булевой переменной;
- V_j – вычисленное значение арифметической переменной j . При вычислении значения переменной с фиксированной запятой получается целое число. При вычислении значения с плавающей запятой дробная часть конечного результата отбрасывается;
- FN_j – вычисленное значение функции j . От значения берется целая часть, за исключением тех случаев, когда это значение используется в качестве модификатора в блоках GENERATE, ADVANCE, ASSIGN или в качестве аргумента другой функции.

СЧА списков и групп

- CA_j – среднее число транзактов в j -м списке пользователя;
- CS_j – общее число транзактов в j -м списке пользователя;
- CH_j – текущее число транзактов в j -м списке пользователя;
- CM_j – максимальное число транзактов в j -м списке пользователя;
- CT_j – среднее время пребывания транзакта в j -м списке пользователя;
- GN_j – текущее число членов в числовой группе j ;
- GT_j – текущее число членов в группе транзактов с номерами j ;
- LS_j – состояние логического ключа j : 1 – включен, 0 – выключен.

Правила записи программы

Формат GPSS-блоков такой:

[Номер строки] [Метка] <Операция> <Операнды> <Комментарии>

При описании формата квадратные скобки [] указывают на обязательность поля.

Номер строки – обязательное поле для GPSS/PC (в GPSS/W – игнорируется). Начинается с первой позиции строки. Представляет собой десятичное число.

Метка (имя блока) – содержимым поля является имя – последовательность символов, начинающаяся с буквы.

Операция – содержит названия блоков или команд GPSS/W.

Операнды – блоки могут иметь операнды. Операнды блоков задают информацию, специфичную для действия данного блока. В блоках не может использоваться больше семи операндов. Операнды в общем случае обозначаются символами: **A, B, C, D, E, F, G**. Значения операндов определяются типом блока. Одни операнды некоторых блоков должны быть определены всегда, а другие – могут задаваться или не задаваться (т.е. являются необязательными). Операнды следуют один за другим и отделяются запятыми или одним пробелом. Если операнд опущен, то вместо него ставится запятая. Между операндами не должно быть больше одного пробела, так как это будет означать, что операнды закончились и интерпретатор прекращает чтение строки.

Комментарии – необязательное поле. Комментарии располагаются после описания операндов и отделяются от них символом «;». Если комментарии занимают всю строку, то в первой колонке должен стоять символ «*» или «;».

Строка описания блока может содержать до 79 символов в GPSS/PC и до 250 символов в GPSS/W.

Стандартная статистика

В процессе выполнения программы модели интерпретатор собирает стандартную статистическую информацию, которая автоматически распечатывается по окончании моделирования.

Стандартную статистику можно наблюдать в окне REPORT (WINDOW/REPORT).

Основные разделы отчета:

Титул – включает ссылку на систему моделирования, файл, содержащий описание модели и дату.

Общая информация указывает начало и конец системного времени, число блоков, устройств и памяти.

Имена – это список назначенных программистом имен и их числовые эквиваленты.

Блоки – сведения о месте в модели, типе блока и числе транзактов (общее, к концу моделирования, в цепи RETRY повторных попыток).

Если в модели используются **объекты типа «устройство»**, то в файле стандартной статистики будет представлена информация об использованных устройствах.

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	
	(1)	(2)	(3)	(4)
AVAIL. OWNER	PEND	INTER	RETRY	
(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
DELAY				
(10)				

1 – номер или имя устройства;

2 – количество входов;

3 – коэффициент использования;

4 – среднее время пребывания транзакта в устройстве;

5 – состояние готовности;

6 – номер последнего транзакта, занявшего устройство;

7 – количество прерванных в устройстве транзактов;

8 – количество прерывающих устройство транзактов;

9 – количество транзактов, ожидающих специальных условий;

10 – количество транзактов, ожидающих занятия устройства.

Если в модели используются **объекты типа «очередь»**, то в файле стандартной статистики будет представлена информация об этих объектах.

QUEUE MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)
(1)	(2)	(3)	(4)
			(5)

AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
(6)	(7)	(8)	(9)

- 1 – номер или имя очереди;
- 2 – максимальная длина очереди;
- 3 – текущая длина очереди;
- 4 – общее количество входов;
- 5 – количество «нулевых» входов;
- 6 – средняя длина очереди;
- 7 – среднее время пребывания транзактов в очереди;
- 8 – среднее время пребывания транзактов в очереди без учёта «нулевых» входов;
- 9 – количество транзактов, ожидающих специальные условия.

Если в модели используются **объекты типа «многоканальное устройство»**, то в файле стандартной статистики будет представлена информация об этих объектах.

STORAGE CAP.	REMAIN	MIN	MAX	ENTRIES
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AVL.	AVE.C. UTIL.	RETRY	DELAY	
(7)	(8)	(9)	(10)	(11)

- 1 – имя или номер многоканального устройства (МКУ);
- 2 – ёмкость МКУ;
- 3 – количество единиц свободной ёмкости МКУ в конце периода моделирования;
- 4 – минимальное количество используемой ёмкости МКУ за период моделирования;
- 5 – максимальное количество используемой ёмкости МКУ за период моделирования;
- 6 – количество входов в МКУ;
- 7 – состояние готовности МКУ в конце периода моделирования (1 – готово, 0 – не готово);
- 8 – среднее значение занятой ёмкости за период моделирования;
- 9 – средний коэффициент использования всех устройств МКУ;
- 10 – количество транзактов, ожидающих специальные условия, зависящие от состояния МКУ;
- 11 – количество транзактов, ожидающих возможности входа в блок ENTER.

Если в модели используется блок **TABLE**, то в файле стандартной статистики будет представлена информация об этих объектах.

TABLE	MEAN	STD. DEV.	RANGE	RETRY
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

FREQUENCY	CUM,%
(6)	(7)

1 – имя или номер таблицы;

2 – среднее значение;

3 – среднеквадратическое отклонение измеряемого значения;

4 – границы интервалов;

5 – ждут условий;

6 – количество попаданий;

7 – накопленная частотность.

Кроме того, в отчет включаются данные о цепях (пользователя, текущих и будущих событий), группах транзактов, числовых группах, логических ключах, матрицах и сохраняемых значениях. Для нулевых значений матриц указываются диапазоны индексов.

Среда моделирования GPSS/W

Меню. Главное окно системы включает в себя Заголовок, Меню, Панель инструментов и Поле клиента для набора текста модели.

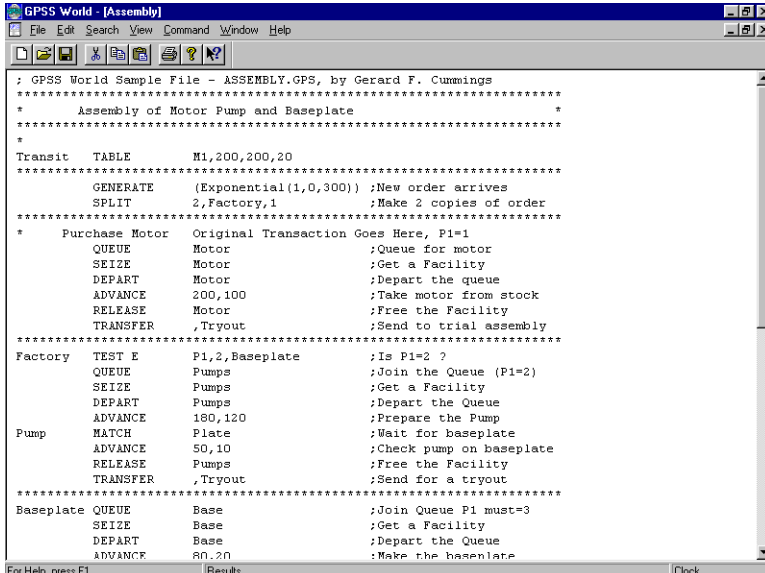


Рис. Главное окно GPSS WORLD

Внизу окна имеется строка состояния: слева – приглашение к вводу команды, середина – диагностика ошибок, справа – таймер модели (может отключаться).

Пункт меню (из разрешенных в данной ситуации, на что указывает черный шрифт его названия) выбирается мышью или клавишами управления курсором.

Используя меню главного окна, можно создавать объекты GPSS/W: модели, имитации, отчеты и тексты. Каждый из них можно рассматривать в соответствующих дочерних окнах. Типичный проект начинается с создания или модификации модели. Следует иметь в виду, что модель – не просто текстовый файл: она содержит также установки Settings, закладки Bookmarks и результаты, которые не могут читаться внешним редактором.

Настройки. Все настройки задаются при создании модели через меню Edit/ Settings. Последующие фазы проекта эти установки только наследуют. Рассмотрим вкладки упомянутого меню.

Simulation: Poll Count – число попыток входа в блок до прерывания; Max Evaluation Depth – ограничение глубины ссылок (для предупреждения заикливания); Stack Size – то же для вложенности процедур; Integration tolerance – допуск при численном интегрировании дифференциальных уравнений.

Reports: Standard Report формирует типовой отчет; In Windows обеспечивает вывод результатов в окно вместо файла. Можно указать желаемые дополнительные подотчеты. Save Plot Points определяет объём данных, сохраняемых при построении графика (при недостаточном объёме график будет обрезан слева или справа). Suppress Scientific исключает научную нотацию в отчетах и потоках данных. Six Places задаёт вывод с 6 знаками после десятичной точки вместо стандартных трёх.

Random Numbers: распределяет потоки случайных чисел. Time Ties позволяет указать номер датчика случайных чисел для определения очередности практически одновременных событий. Проверка на равенство моментов их наступления производится с точностью 10^{-9} ; при задании нуля рандомизация будет отключена. Аналогично обстоит дело с датчиками случайных чисел для блоков ADVANCE и TRANSFER.

Function Keys: связывает операторы с функциональными клавишами.

Expressions: позволяет задать список выражений, часто используемых в процессе диалога с моделью, при необходимости выбрать их из списка через меню Select вместо повторного набора.

Окна. Динамические окна могут быть открыты только после создания Имитации (то есть после компиляции модели) командой Window/Simulation Window/<тип окна>

Одновременно могут быть открыты несколько окон. Их относительное расположение управляется командами Cascade или Tile. Щелчок мышью по любой точке окна, заслоненного другими окнами, делает его активным и выводит на передний план.

Этапы моделирования. Работа начинается с составления GPSS-программы. Посредством команды INCLUDE «имя файла» в неё могут вставляться ранее отлаженные фрагменты (например PLUS-процедуры). Вставки из файлов автоматически нумеруются, диагностика ошибок в них сопровождается указанием номера вставки.

Компиляция организуется по команде Command/Create Simulation. При обнаружении ошибок создаётся их циклический список. Просмотр этого списка обеспечивают команды Next Error и Previous Error из меню Search. Глубина стека ошибок ограничена, поэтому исправление всех указанных в одном прогоне ошибок не гарантирует синтаксическую правильность модели. Каждый выбор элемента списка вызывает сооб-

шение о типе ошибки в статусную строку и помещает точку вставки точно перед ошибочным элементом. Оперативное запоминание внесенных в модель исправлений не требуется: компиляции подвергается правленный текст.

При успехе компиляции активизируются интерактивные команды и становятся доступными окна имитации. После этого к модели можно добавить любые предложения: блоки (кроме GENERATE) и описания PLUS-процедур. Можно переопределить STORAGE, TABLE, QTABLE, MATRIX, VARIABLE. Интерактивно вставленный блок является временным и разрушается сразу после входа в него транзакта. Такой режим называется «ручным моделированием». При всех его преимуществах надо иметь в виду необходимость внесения изменений, показавших полезность в сохраняемый текст модели.

После успешного создания Имитации через меню Command/Start задаётся начальное значение счетчика, которое вместе с имеющим ненулевой декремент блоком TERMINATE определяет длительность моделирования. Её можно ограничить также по счетчику сгенерированных транзактов (операнд D блока GENERATE) или по времени – с помощью отдельного сегмента модели. Через Command/Custom можно набрать любое предложение и вставить его в Имитацию. Длинные процедуры и последовательности операторов лучше вставлять с помощью INCLUDE.

О запуске моделирования сообщает текст в статусной строке: Simulation in Progress. За его ходом можно следить по выведенным в статусную строку системным часам (это обязательно на начальных этапах отладки для выявления возможного зависания).

Останов моделирования. Команда START определяет окончание моделирования: её счетчик должен уменьшиться до нуля. Любой оператор модели TERMINATE с непустым полем операнда A уменьшает счетчик при входе в него транзактов. Такой оператор в программе должен быть единственным.

Начатое моделирование можно прервать командой HALT (соответствующая ей кнопка имеется во всех динамических окнах). После её выполнения можно выбирать блоки и задавать контрольные остановки в них (кнопка с красным светофором), удалять заданные остановки (перечеркнутый красный светофор). При обработке очередного останова первоначальное условие останова, если оно задано по времени, удаляется, а все остальные условия сохраняются. Один шаг модели (вход активного транзакта в следующий блок) выполняется при нажатии кнопки с изображением лестницы. Продолжение моделирования с использованием команды STEP позволяет автоматически остановить его точно после заданного числа входов активного транзакта в блоки модели. Продолжить моделирование можно нажатием кнопки с зеленым светофором.

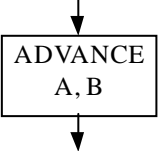
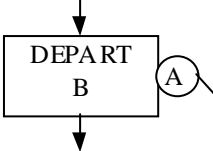
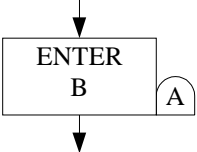
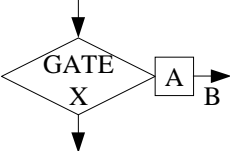
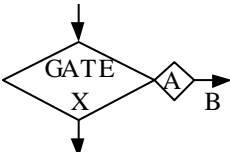
Контролировать промежуточные результаты и просматривать окончательные можно через окна Графики (Plot) и Выражений (Expression). Окно таблиц позволяет наблюдать сходимость исследуемых распределений – гистограммы, среднего значения и среднеквадратичного отклонения. В меню Windows поддерживается список всех открытых окон, включая отчеты по прогонам предыдущих версий модели.

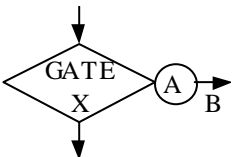
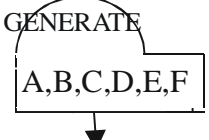
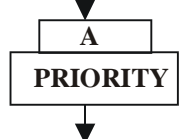
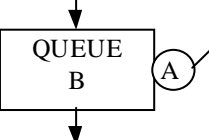
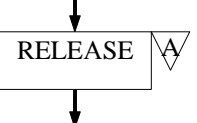
Открытые динамические окна (даже для системных часов) существенно замедляют моделирование.

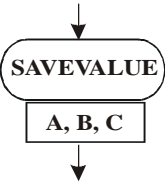
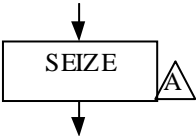
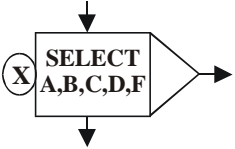
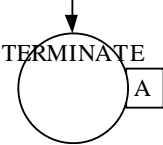
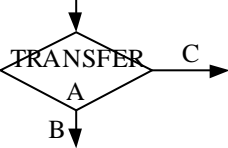
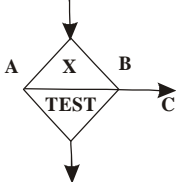
Сбор статистики. Для типовых имитаций автоматически собираемая статистика представляется вполне достаточной. При необходимости в более подробных сведениях можно определить в командах TABLE или QTABLE таблицы (гистограммы) распределений. Фактический сбор данных в первом случае обеспечивается специальными блоками TABULATE, а во втором – при входе в блок DEPART. Упомянутые таблицы (если отметить их в установке отчета), а также средние значения и среднеквадратические отклонения будут выводиться автоматически и могут просматриваться в окне таблиц.

Ещё более детальные сведения можно собирать и обрабатывать с помощью скалярных и матричных сохраняемых значений и PLUS-процедур. Затем «историческая» база данных может быть обработана с помощью ANOVA – для получения доверительных интервалов. Результаты нестандартной обработки статистики можно вывести в файл потока данных.

Условные обозначения на блок-схемах

Имя блока	Обозначение блока	Назначение блока
1	2	3
ADVANCE		Задерживает транзакт на среднее время. А, В – модификатор разброса или модификатор функции
ASSIGN		Присваивает параметру А входящего транзакта значение В, модифицированное значением С
DEPART		Обеспечивает в очереди А освобождение В единиц
ENTER		Обеспечивает входение транзакта в накопитель А с занятием В единиц памяти
GATE $\left\{ \begin{matrix} LS \\ LR \end{matrix} \right\}$		Проверяет условие нахождения логического ключа А в состоянии X
GATE $\left\{ \begin{matrix} NI \\ I \\ NU \\ U \end{matrix} \right\}$		Проверяет условие нахождения устройства А в состоянии X

1	2	3
GATE $\left\{ \begin{array}{l} SE \\ SF \\ SNE \\ SNF \end{array} \right\}$		Проверяет условие нахождения накопителя А в состоянии X
GENERATE		Блок генерации транзактов через А единиц времени с модификатором В и задержкой С, D транзактов, с приоритетом Е, форматом F
LEAVE		Освобождает в накопителе А В единиц памяти
MARK		Осуществляет отметку времени в параметре А
PRIORIRY		Присваивает входящему транзакту приоритет А
QUEUE		Обеспечивает занятие в очереди А В единиц
RELEASE		Освобождает устройство с номером А

1	2	3
SAVEVALUE		Сохраняет заданное значение В в ячейке А
SEIZE		Занимает устройство с номером А
SELECT		Блок выбора элементов
TERMINATE		Уничтожает А транзактов
TRANSFER		Изменяет направление движения транзактов согласно режиму А
TEST E N E G E L E G L		Проверяет соотношение X между А и В и направляет входящий транзакт в следующий блок при выполнении или по адресу С при невыполнении соотношения

Задание потоков с различными законами распределения

Пуассоновский входящий поток моделируется с помощью оператора GENERATE при следующем задании параметров:

в качестве операнда A используется среднее значение интервалов времени.

в качестве операнда B используется ссылка на функцию экспоненциального распределения с параметром 1.

Тогда полученное значение интервалов времени характеризуется с помощью экспоненциальной функции распределения со средним значением, равным величине операнда A. Далее приведен пример задания функции стандартной экспоненциально распределенной случайной величины с параметром 1, предложенный фирмой IBM:

```
EPDIS FUNCTION RN1, C24
.0/.1,.104.2,.222/.3,.355.4,.509/.5,.69.6,.915/.7,1.2.75,1.38/
.8,1.684,1.83/.88,2.12.9,2.3/.92,2.52.94,2.52/.94,2.81.95,2.99/.96,3.2
.97,3.5/.98,3.9.99,4.6/.995,5.3.998,6.2/.999,7/.9998,8
```

Предположим, входящий поток является пуассоновским со значением среднего интервала, равным 30 с. Оператор GENERATE будет выглядеть следующим образом:

```
GENERATE 30, FN$EPDIS
```

Функция для моделирования случайной величины, распределенной по нормальному закону с математическим ожиданием, равным 0, и дисперсией, равной 1.

```
SNORM FUNCTION RN2, C25
.0,-5/.00003,-4/.00135,-3/.00621,-2,5/.02275,-2/.06681,-1.5
.11507,-1.2/.15866,-1/.21186,-0.8/.27425,-.6/.34458,-.4/.42074,-.2
.5,0/.57926,.2/.65542,.4/.72575,.6/.78814,.8/.84134,1/.88493,1.2
.93319,1.5/.97725,2/.99379,2.5/.99865,3/.99997,4/1,5
```

Для получения нормально распределенной величины X с параметрами σ_x (дисперсия) и M_x (математическое ожидание) необходимо выполнить преобразование:

$$X = \sigma_x \times \text{FN\$SNORM} + M_x.$$

В этом случае необходимо использовать арифметическую переменную. Арифметическая переменная определяется оператором FVARIABLE. Предположим, что $\sigma_x = 20$, $M_x = 100$. Определяем переменную V\$NORM:

```
NORM FVARIABLE 20*FN$SNORM+100
```

В GPSS/W в библиотеку процедур включено 24 вероятностных распределения. Вызов каждой функции оформлен как оператор присваивания с указанием в его левой части типа возвращаемого значения.

Встроенная библиотека процедур содержит следующие вероятностные распределения:

Бета	Real=BETA(RNj, min, max, a, b)
Биномиальное	Integer=Binomial(RNj, t, p)
Дискретно равномерное	Integer=DUNIFORM(RNj, min, max)
Показательное	Real=Exponential(RNj, m, s)
Обратное Гауссово	Real=INVGAUSS (RNj, m, s, a)
Обратное Вейбулла	Real=INVWEIBULL (RNj, m, s, a)
Лапласа	Real=LAPLACE(RNj, m, s)
Логистическое	Real=LOGISTIC(RNj, m, s)
Нормальное	Real=NORMAL (RNj, m, s)
Парето	Real=PARETO(RNj, m, s)
Пирсона V типа	Real=PEARSON5 (RNj, m, s, a)
Пирсона VI типа	Real=PEARSON6 (RNj, m, s, a, b)
Крайних значений А	Real=EXTVALA (RNj, m, s)
Крайних значений Б	Real=EXTVALB (RNj, m, s)
Гамма	Real=GAMMA(RNj, m, s, a)
Геометрическое	Integer=GEOMETRIC (RNj, p)
Логарифмическое Лапласа	Real=LOGLAPLACE(RNj, m, s, a)
Логистическое логарифм	Real=LOGLOGIS(RNj, m, s, a)
Нормальное логарифм	Real=LOGNORMAL (RNj, m, s, a)
Отрицательное биномиальное	Integer=NEGBINOM (RNj, c, p)
Пуассона	Integer=POISSON (RNj, v)
Треугольное	Real=TRIANGULAR(RNj, min, max, mode)
Равномерное	Real=UNIFORM(a, b)
Вейбулла	Real=Weibull (RNj, m, s, a)

Все процедуры вызываются по их указателю. Если требуется задать исходный ДСЧ, подставляется только номер последнего – без предшествующего RN. Во всех случаях через Min и Max обозначены, соответственно, наименьшее и наибольшее значения генерируемой случайной величины, где m – смещение, s – масштабный параметр (оба положительные), а и b – параметры формы.

Моделирование систем обслуживания с прибором, очередью и обратной связью

Цель работы: моделирование процессов функционирования систем, поиск оптимального варианта.

1. Постановка задачи

В целях экономии денежных средств несколько строительных бригад хотели бы использовать одну бетономешалку, ёмкость которой рассчитана на производство раствора, необходимого для нормальной работы только одной бригады.

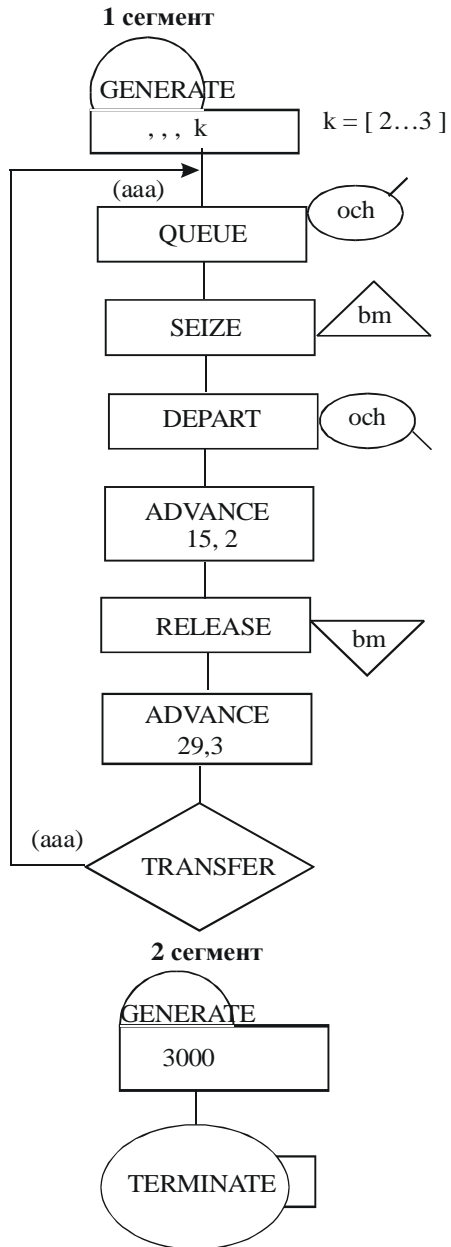
При соглашении порционный разлив бетона бригадами не предусмотрен. Таким образом, каждая бригада имеет следующие возможности: работать с имеющимся бетоном; ожидать новой партии бетона (т.е. возможности использования бетономешалки); непосредственно пользоваться бетономешалкой для производства раствора. Время расхода бригадами очередной партии бетона находится в пределах 29 ± 3 минут. Изготовление раствора занимает 15 ± 2 минуты. Стоимость работы бетономешалки составляет 14500\$ за 50 час, а цена материала одного замеса – 260\$. Общий заработок бригады в час равен 80\$. Необходимо построить модель описанного процесса и на ее основе определить оптимальное число участвующих в соглашении бригад из расчёта общей прибыльности данного мероприятия.

2. Таблица определений

Единица времени 1 минута. Для установления периода моделирования используется сегмент таймера.

Элементы GPSS	Назначение
Транзакты 1 сегмент модели 2 сегмент модели	Бригады Таймер
Приборы: bm	Бетономешалка
Очереди: och	Очередь, используемая для сбора статистики об ожидании бригад

3. Блок-схема



4. Текст программы

10	GENERATE	,,, 2
20 aaa	QUEUE	och
30	SEIZE	bm
40	DEPART	och
50	ADVANCE	15,2
60	RELEASE	bm
70	ADVANCE	29,3
80	TRANSFER	, aaa
90	GENERATE	3000
100	TERMINATE	1

5. Статистика

Работают 2 бригады

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 3000.000 10 1 0

NAME VALUE

AAA 2.000

BM 10001.000

OCH 10000.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY CURRENT RETRY
COUNT COUNT

	1	GENERATE	2	0	0
AAA	2	QUEUE	136	0	0
	3	SEIZE	136	0	0
	4	DEPART	136	0	0
	5	ADVANCE	136	0	0
	6	RELEASE	136	0	0
	7	ADVANCE	136	2	0
	8	TRANSFER	134	0	0
	9	GENERATE	1	0	0
	10	TERMINATE	1	0	0

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL.

BM 136 0.679 14.985 1

OWNER PEND INTER RETRY DELAY

0 0 0 0

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT.

OCH 1 0 136 117 0.018

AVE.TIME AVE.(-0) RETRY

0.393 2.814 0

1	Число выполненных замесов	136
2	Среднее время выполнения одного замеса	14,985
3	Загрузка мощности бетономешалки	0,679

Модель продемонстрировала работу бетономешалки за 50 часов модельного времени. За указанное время число выполненных замесов равно 136, среднее время выполнения одного замеса – 14,985 мин., загрузка мощности бетономешалки 67,9%.

Заработная плата работников бригад = 2 бригады*50 часов*80\$ = 8000\$.

Стоимость работы бетономешалки за 50 часов = 14 500\$.

Таким образом, затраты на производство = 22 500\$.

Прибыльность производства равна произведению числа замесов на цену материала одного замеса за вычетом суммарных затрат: 136 замесов*260\$ – 22 500\$ = **12 860\$**

Работают 3 бригады

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 3000.000 10 1 0

NAME VALUE

AAA 2.000

BM 10001.000

OCH 10000.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY CURRENT RETRY

COUNT COUNT

	1	GENERATE	3	0	0
AAA	2	QUEUE	196	0	0
	3	SEIZE	196	0	0
	4	DEPART	196	0	0
	5	ADVANCE	196	1	0
	6	RELEASE	195	0	0
	7	ADVANCE	195	2	0
	8	TRANSFER	193	0	0
	9	GENERATE	1	0	0
	10	TERMINATE	1	0	0

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL.

BM 196 0.973 14.898 1

OWNER PEND INTER RETRY DELAY

1 0 00 0

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT.

OCH 20 196 51 0.152

AVE.TIME AVE.(-0) RETRY

2.323 3.140 0

1	Число выполненных замесов	196
2	Среднее время выполнения одного замеса	14,898
3	Загрузка мощности бетономешалки	0,973

Модель продемонстрировала работу бетономешалки за 50 часов модельного времени. За указанное время число выполненных замесов равно 196, среднее время выполнения одного замеса – 14,898 мин, загрузка мощности бетономешалки 97,3%.

Заработная плата работников бригад: 3 бригады*50 часов*80\$ = 12 000\$

Стоимость работы бетономешалки за 50 часов = 14 500\$.

Таким образом, затраты на производство = 26 500\$.

Прибыльность производства равна произведению числа замесов на цену материала одного замеса за вычетом суммарных затрат: 196 замесов*260\$ – 26 500\$ = **24 460\$**.

Работают 4 бригады

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 3000.000 10 1 0

NAME VALUE

AAA 2.000

BM 10001.000

OCH 10000.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY CURRENT RETRY

COUNT COUNT

	1	GENERATE	4	0	0
AAA	2	QUEUE	201	1	0
	3	SEIZE	200	0	0
	4	DEPART	200	0	0
	5	ADVANCE	200	1	0
	6	RELEASE	199	0	0
	7	ADVANCE	199	2	0
	8	TRANSFER	197	0	0
	9	GENERATE	1	0	0
	10	TERMINATE	1	0	0

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL.

BM 200 1 15.000 1

OWNER PEND INTER RETRY DELAY

5 0 0 0 1

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT.

OCH 3 1 201 1 1.085

AVE.TIME AVE.(-0) RETRY

16.198 16.279 0

1	Число выполненных замесов	200
2	Среднее время выполнения одного замеса	15,00
3	Загрузка мощности бетономешалки	1

Модель продемонстрировала работу бетономешалки за 50 часов модельного времени. За указанное время число выполненных замесов равно 200, среднее время выполнения одного замеса 15,00 мин, загрузка мощности бетономешалки 100%.

Заработная плата работников бригад: $4 \text{ бригады} * 50 \text{ часов} * 80\$ = 16\ 000\$$.

Стоимость работы бетономешалки за 50 часов = 14 500\$.

Таким образом, затраты на производство = 30 500\$.

Прибыльность производства равна произведению числа замесов на цену материала одного замеса за вычетом суммарных затрат: $200 \text{ замесов} * 260\$ - 30\ 500\$ = 21\ 500\$$.

6. Выводы

Исходя из полученных расчетных данных и условия максимизации прибыльности производства можно сделать следующий вывод, что оптимальное число бригад, использующих одну бетономешалку, равно трем, так как прибыльность при этом больше, чем при использовании бетономешалки двумя и четырьмя бригадами. Однако в этом случае загрузка мощности бетономешалки равна 96,7%, то есть возможности бетономешалки полностью не используются. Бетономешалка используется с 100-процентной отдачей мощности при одновременной работе четырех бригад, но в этом случае вследствие большего объема затрат на заработную плату работникам прибыльность производства уменьшается.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
1. МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	8
1.1. Системы массового обслуживания и их характеристики.....	8
1.2. Системы с одним устройством обслуживания	12
1.3. Основы дискретно-событийного моделирования СМО	15
1.4. Многоканальные системы массового обслуживания	17
2. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ И ЕЕ МАШИННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ	22
3. МетОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ	25
Стандарты для записи примеров моделирования	25
4. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	26
Лабораторная работа № 1 Моделирование систем с одним прибором и очередью.....	26
Лабораторная работа № 2 Исследование с помощью имитационной модели процесса расширения системы обслуживания с одним прибором и очередью	29
Лабораторная работа № 3 Исследование на имитационной модели процесса изменения дисциплины обслуживания в системе с одним прибором и очередью	32
Лабораторная работа № 4 Моделирование систем обслуживания с прибором, очередью и обратной связью.....	35
Лабораторная работа № 5 Исследование процессов управления производством на имитационной модели.....	37
Лабораторная работа № 6 Исследование процесса контроля производственной линии на имитационной модели.....	40
Лабораторная работа № 7 Моделирование экспоненциального распределения интервалов времени обслуживания.....	43

Лабораторная работа № 8 Исследование влияния длины очереди на среднюю интенсивность обслуживания с помощью машинной имитации	45
Лабораторная работа № 9 Исследование работы системы массового обслуживания средствами имитационного моделирования	50
Лабораторная работа № 10 Сравнение альтернативных систем обслуживания	52
Лабораторная работа № 11 Моделирование систем массового обслуживания	57
Лабораторная работа № 12 Моделирование систем массового обслуживания	60
Лабораторная работа № 13	63
Лабораторная работа № 14	64
5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИЗУЧЕНИЯ КОНЦЕПЦИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	67
6. ОБЗОР РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	69
7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	71
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	72
ПРИЛОЖЕНИЯ	74

Учебное издание

**Кийкова Елена Валерьевна
Лаврушина Елена Геннадьевна**

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
Практикум**

Учебное пособие для бакалавров

В авторской редакции
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Подписано в печать 04.07.17. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,69.
Тираж 200 экз. Заказ

Издательство Владивостокского государственного университета
экономики и сервиса
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41
Отпечатано в Множительном участке ВГУЭС
690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41