

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кузбасский государственный технический
университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра информационных и автоматизированных
производственных систем

Составители

В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов,
П. И. Николаев, И. С. Кузнецов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ В ИМИТАТОРЕ NETSTAR

Методические указания к лабораторной работе

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления подготовки
09.03.02 «Информационные системы и технологии» в качестве
электронного издания для использования в образовательном процессе

Кемерово 2022

Рецензенты:

Чичерин И. В. – к.т.н., доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем

Зиновьев Василий Валентинович

Стародубов Алексей Николаевич

Николаев Петр Игоревич

Кузнецов Игорь Сергеевич

Моделирование процессов и систем в имитаторе NETSTAR: методические указания к лабораторной работе для обучающихся направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии, всех форм обучения / сост. В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев, И. С. Кузнецов; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2022. – Текст : электронный.

В данных методических указаниях разработанных по дисциплине «Моделирование процессов и систем» приведены цель и задача, общие сведения об изучаемом материале, задания для выполнения, вопросы для самопроверки. Рекомендуемая литература для самостоятельной подготовки приведена в рабочей программе дисциплины.

© Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачева, 2022

© В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов,
П. И. Николаев, И. С. Кузнецов,
составление, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1	ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
1.1	Отображение систем в виде сетей Петри	4
1.2	Работа с имитатором NETSTAR	5
1.3	Модуль «Граф сети»	5
1.4	Модуль «Результаты экспериментов»	8
1.5	Модуль «Режим отладки»	8
2	ПРИМЕР ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЕТЬЮ ПЕТРИ	9
3	ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ	17
4	ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ	18
5	КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	18
6	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	18

Цель работы – приобретение практических навыков у студентов по созданию имитационных моделей информационных систем с использованием математического аппарата сетей Петри и проблемно-ориентированного имитатора NETSTAR.

1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Отображение систем и процессов в виде сетей Петри

Сеть Петри состоит из следующих элементов (табл.1).

Таблица 1

Основные элементы сети Петри

Графическое обозначение	Элемент сети Петри
	Маркер – динамический элемент сети. Отображает заготовки, детали, транспортные средства и т. д.)
	Позиция (Р) – вершина графа сети. Задерживает маркеры на время выполнения операций и процессов (погрузка, обработка, транспортировка и т. д.)
	Переход (Т) – вершина графа сети. Задаёт логику движения маркеров по сети.
	Дуга – определяет направление движения маркеров
	Ингибиторная дуга – запрещает срабатывание перехода, если в позиции, из которой она выходит, находится маркер.

Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф с вершинами двух типов: позициями P_i и переходами T_j . Динамика системы отображается движением маркеров через переходы от начальной к конечным позициям. Маркеры задерживаются в промежуточных позициях на время выполнения технологических операций. Логика работы технологической системы задается правилами движения маркеров через переходы T_j :

1. Если к переходу T_j подходит более одной дуги, то он открывается после выполнения последней операции в позициях, из которых к нему подходят дуги;

2. Дуга может иметь кратность, соответствующую числу проходящих через нее маркеров. Переход разрешен, если число маркеров во входной позиции не меньше кратности дуги из этой позиции;

3. Если к переходу подходит несколько дуг, а выходит одна дуга, то несколько маркеров сливаются в один. Если к переходу подходит одна дуга, а выходят несколько дуг, то после перехода один маркер делится на несколько по числу дуг;

4. Переходы могут иметь разные приоритеты. В этом случае маркер сначала движется через переход с более высоким приоритетом;

5. Ингибиторная дуга, запрещает открывание перехода T_j , если в позиции, откуда она выходит, имеется маркер.

1.2 Работа с имитатором NETSTAR

Имитатор NETSTAR разработан для компьютерной имитации дискретных процессов, представленных сетями Петри. На рис. 1.1 представлено основное рабочее поле имитатора с модулями: «Граф сети», «Структура сети», «Результаты имитационного эксперимента», «Режим отладки».

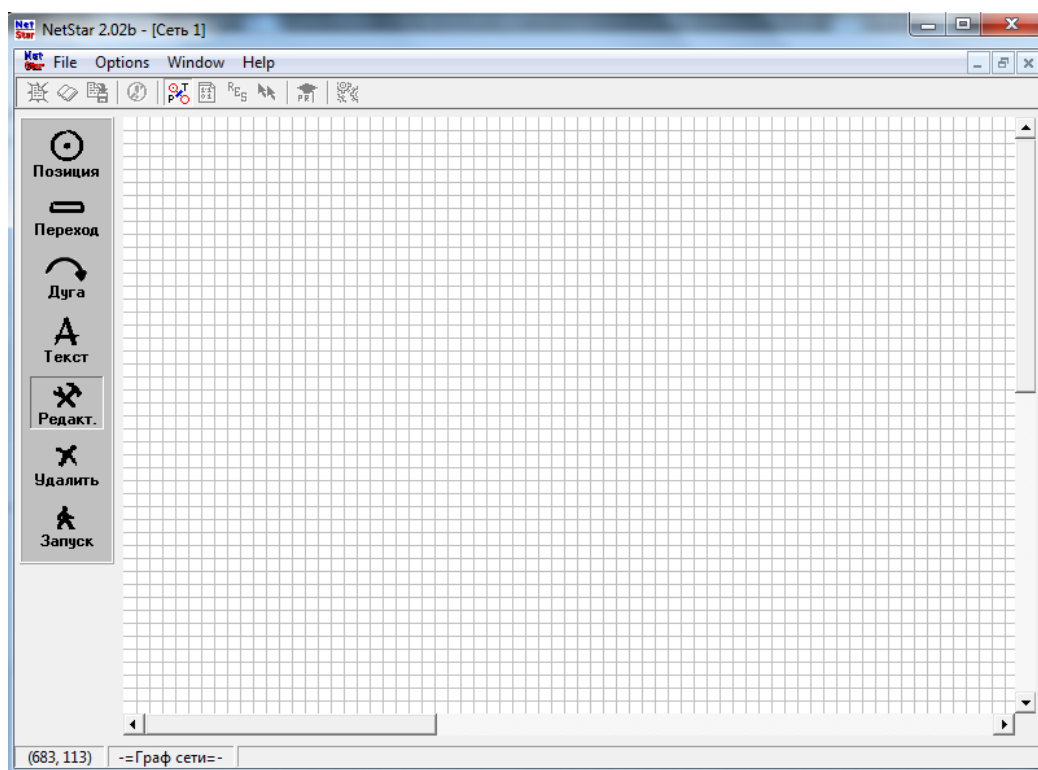


Рис. 1.1 Рабочее поле имитатора NETSTAR

Модуль «Граф сети»

Модуль открывают нажатием кнопки (). Модель собирают путем фиксации элементов сети на рабочем поле. Параметры элементов сети Петри (времена задержек, приоритеты перехо-

дов, кратности дуг) задают нажатием кнопки «Редактирование» () и выбором соответствующего элемента сети (рис. 1.2, 1.3, 1.4).

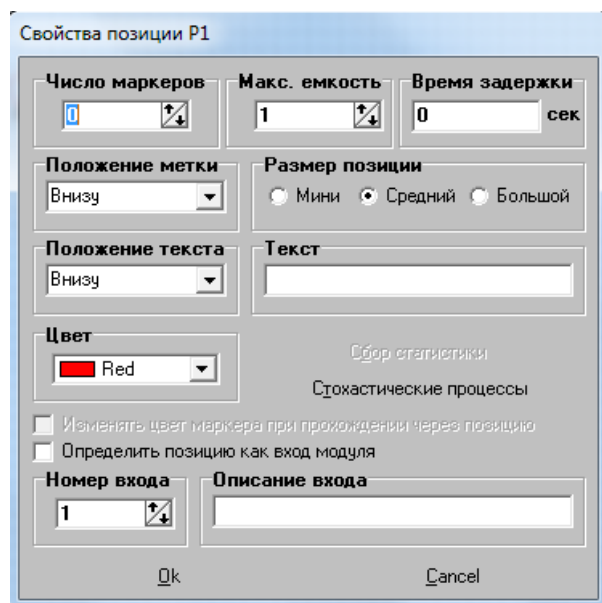


Рис. 1.2 Задание свойств позиции

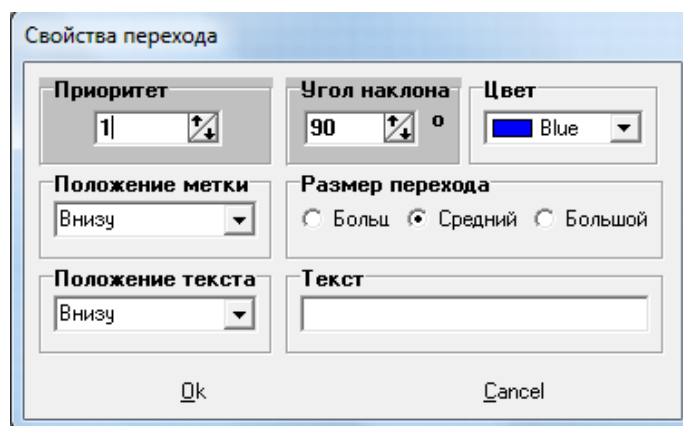


Рис. 1.3 Задание свойств перехода

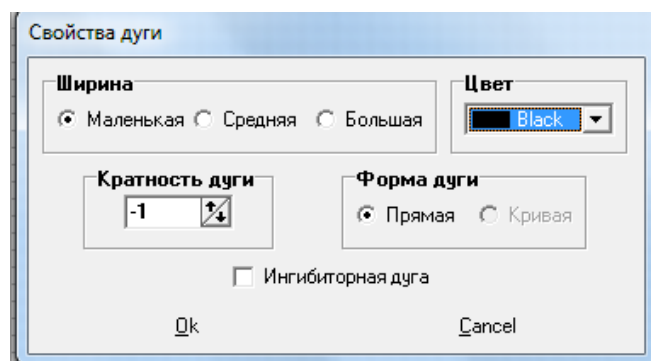


Рис. 1.4 Задание свойств дуги

В позиции можно ввести случайное время задержки маркеров, выбрав заданный закон распределения случайной величины и задав соответствующие параметры (рис. 1.5).

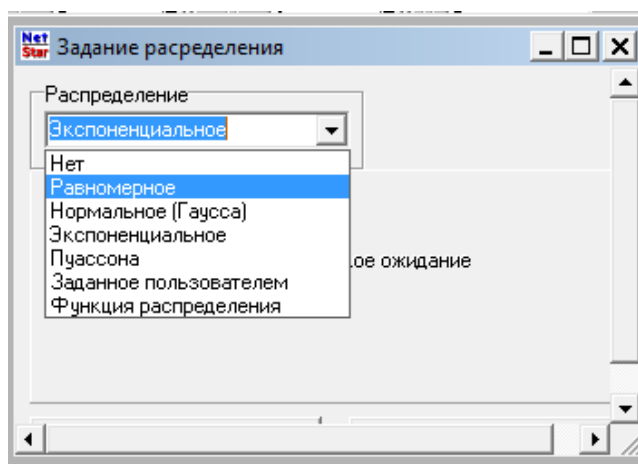


Рис. 1.5 Выбор закона распределения

Комментарии к сети Петри можно ввести нажатием кнопки «Текст» () (рис. 1.6).

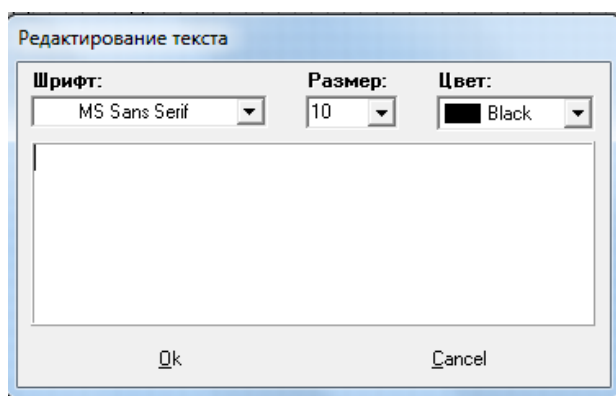
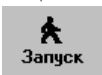


Рис. 1.6 Ввод комментариев к сети

Имитационный эксперимент запускается нажатием кнопки «Запуск» (). После ее нажатия задают (рис. 1.7):

- Время имитационного эксперимента;
- Шаг имитации (если выбран пункт Options | Фиксировать шаг времени);
- Число проходов (повторений имитационного эксперимента);
- Начальную и конечную позиции, между которыми проводится эксперимент.

Параметры имитации

☒ Время имитации 0 с. ☐ Число проходов 0

Шаг имитации 1 с.

Отображать матрицу текущей разметки сети:
начиная с позиции 1 и заканчивая позицией 1

Цикл завершен, если:

☐ Через позицию 1 пройдет 1 маркер(a,ов)

☐ Время имитации достигнет 0 с.

СТАРТ

Рис. 1.7 Задание параметров имитации

Модуль «Результаты экспериментов»

Модуль открывается нажатием кнопки () , после чего появляется матрица текущей маркировки (рис.1.8), которая показывает размещение маркеров в позициях сети Петри на каждом шаге модельного времени. Оценивая движение маркеров между заданными позициями, пользователь определяет время рабочего цикла или производительность системы с заданными параметрами элементов.

Время цикла: 100000 сек. Статистика

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	
0.00	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
10.00	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	T1 T2 T3
20.00	1.0	0.0	0.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	T1 T2
21.25	1.0	0.0	0.1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T4
30.00	1.0	0.0	0.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
40.00	1.0	0.0	0.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
50.00	1.0	0.0	0.4	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
60.00	1.0	0.0	0.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
70.00	1.0	0.0	0.6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
80.00	1.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
90.00	1.0	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
100.00	1.0	0.0	0.9	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
110.00	1.0	0.0	0.10	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
120.00	1.0	0.0	0.10	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	T1 T2
121.25	1.0	0.0	0.10	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	T5
130.00	1.0	0.0	0.10	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	T1 T2
136.75	1.0	0.0	0.10	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	T6
140.00	1.0	0.0	0.10	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	T1 T2
150.00	1.0	0.0	0.10	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	T1 T2

Результаты:

Рис. 1.8 Матрица текущей маркировки

Модуль «Режим отладки»

Режим отладки помогает при проверке адекватности модели. Вход в режим отладки осуществляется путем нажатия на

кнопку (). После этого необходимо нажать кнопку «Запуск» в левом меню. Затем в меню «Параметры имитации» задать время имитации и нажать кнопку «СТАРТ». После этого рядом с кнопкой режима отладки появятся кнопки – «Запустить отладку» () , при помощи которой можно последовательно проследивать движение маркеров по сети Петри и «Закончить отладку» ().

2 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Описание объекта моделирования

Вычислительный центр (ВЦ) содержит две независимо функционирующие ЭВМ пакетной обработки. На ВЦ поступает равномерный поток заданий. Для выполнения одних заданий требуется ЭВМ1, для выполнения других - ЭВМ2. Выбор ЭВМ происходит случайным образом: с вероятностью, равной, 35,1%, задание направляется на ЭВМ1, и с вероятностью 64,9% - на ЭВМ2. Времена между поступлениями заданий на ВЦ и времена работы ЭВМ по выполнению заданий считаются равномерно распределенными со средними 1000 мин, 800 мин, 1200 мин и размахом 400 мин, 500 мин, 200 мин соответственно. Если задание поступает в ЭВМ, которая еще обрабатывает предыдущее задание, то пришедшее попадает в специальную буферную память.

Задание

1 Разработать концептуальную модель ВЦ, используя математический аппарат сетей Петри.

2 Осуществить программную реализацию концептуальной модели при помощи проблемно-ориентированного имитатора сетей Петри NETSTAR.

3 На разработанной компьютерной модели провести эксперименты и определить:

- количество выполненных заданий за 30 суток непрерывной работы;
- загрузка ЭВМ1 и ЭВМ2 (в %).

Выполнение задания

Составим модель вычислительного центра, включающую в себя два блока:

- Первый блок моделирует вычислительный центр с двумя ЭВМ;

– Второй блок моделирует генератор случайного выбора ЭВМ.

Первый блок содержит две позиции, моделирующие обработку заданий на ЭВМ. В позиции «ЭВМ1» отображается обработка заданий за случайное время, распределенное по равномерному закону со средним значением 800 мин и полуразмахом 500 мин (интервал от 300 до 1300 минут) (рис. 2.1).

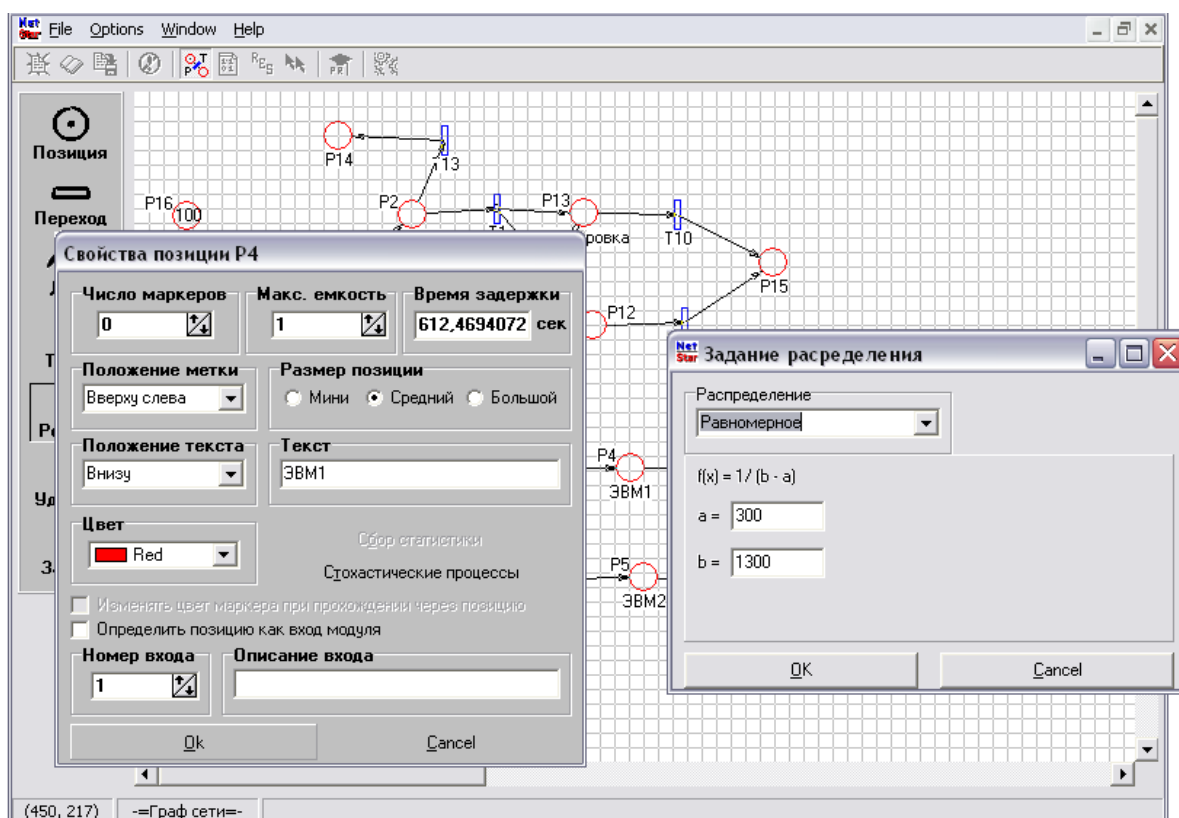


Рис. 2.1 Задание равномерного распределения позиции P4 (ЭВМ 1).

Для отображения очередности обработки заданий параметр «максимальное число маркеров» устанавливается равным единице. Работа ЭВМ 2 отображается подобным образом, по равномерному закону распределения, но в интервале от 1000 до 1400 минут.

Две позиции «Очередь1» и «Очередь2» моделируют буферную память, в которую попадают задания если ЭВМ1 и ЭВМ2 заняты (рис. 2.2).

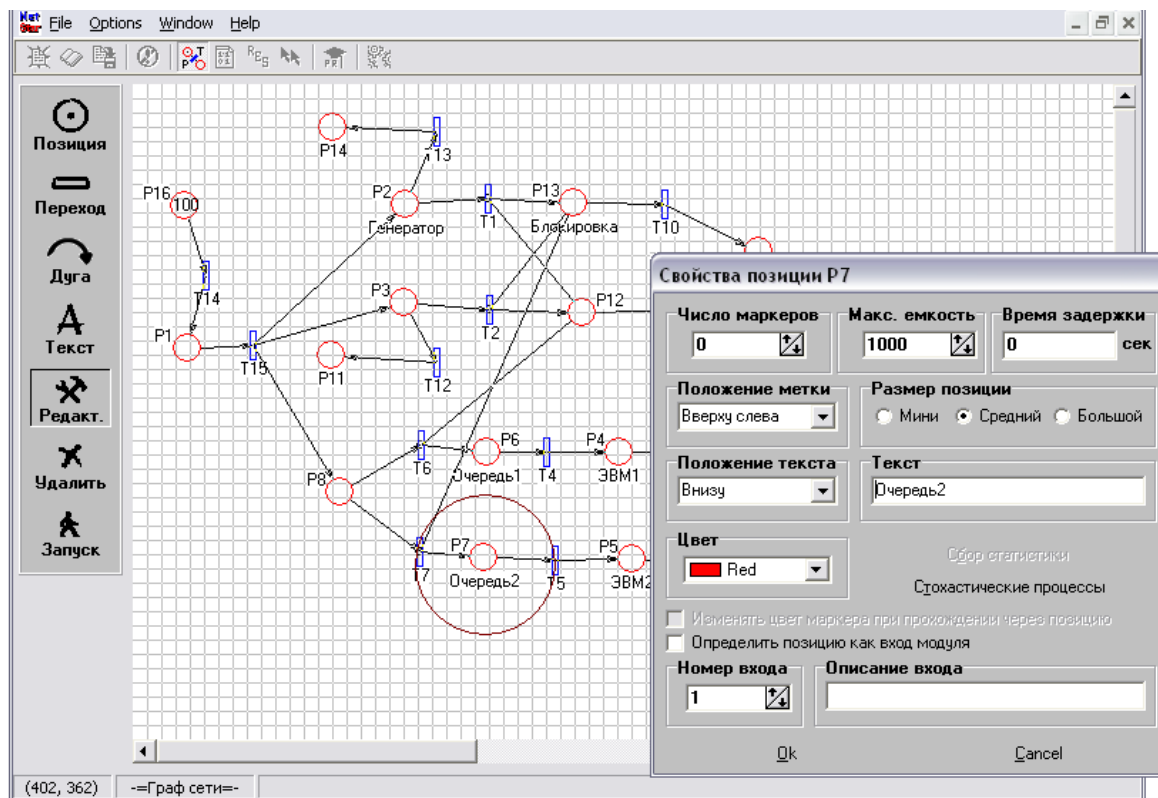


Рис. 2.2 Очередь заявок на обработку ЭВМ 2

Позиции P9 и P10 являются счетчиками обработанных заданий соответственно на ЭВМ1 и ЭВМ2 (рис. 2.3).

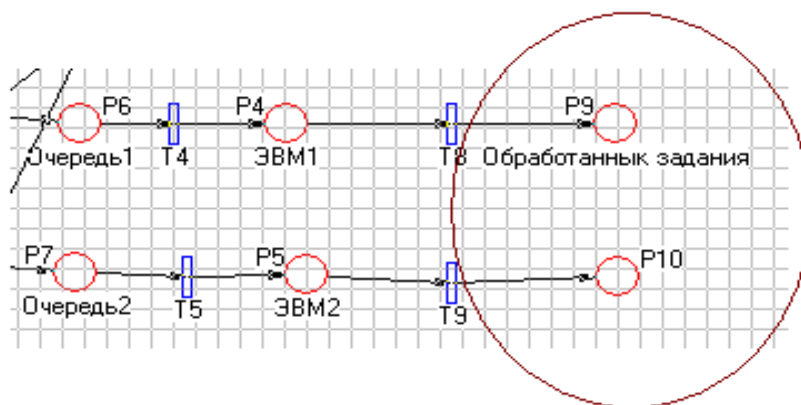


Рис. 2.3 Счетчики обработанных заданий

Второй блок модели предназначен для реализации случайного выбора ЭВМ (рис. 2.4).

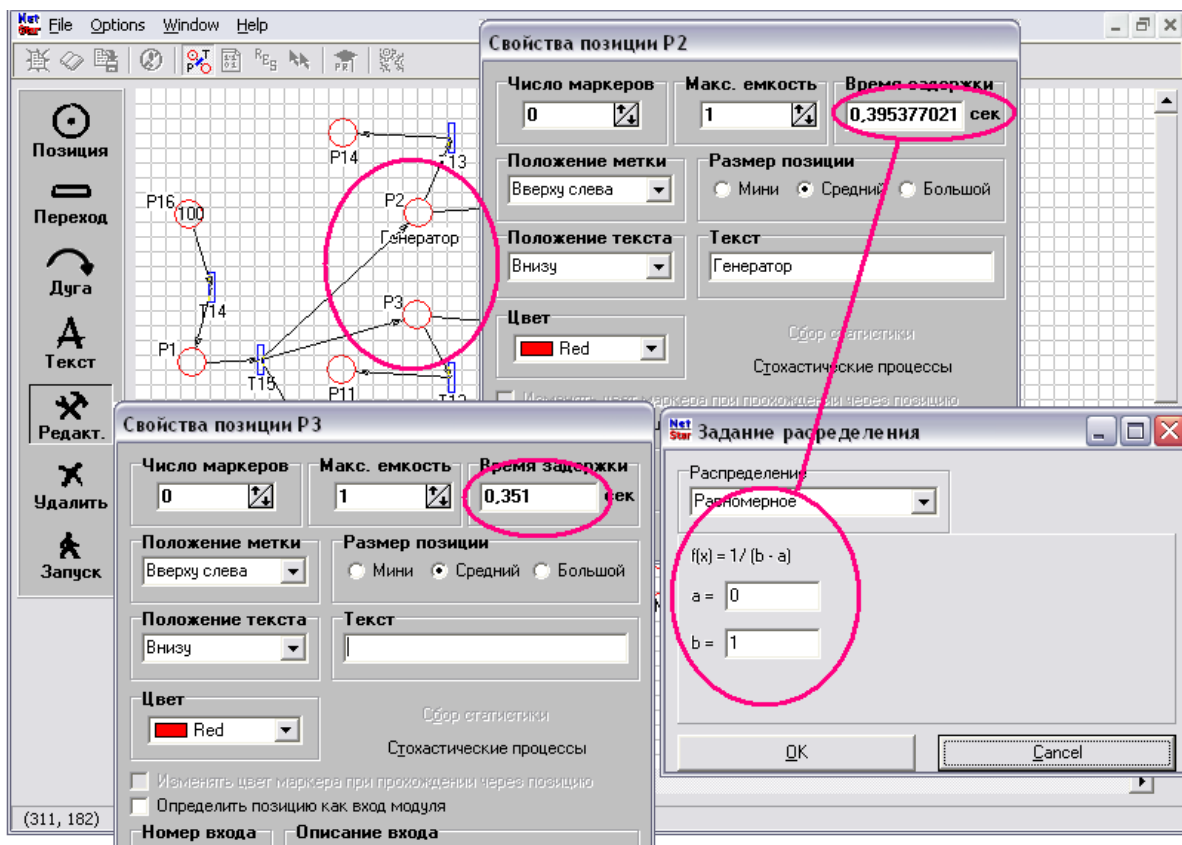


Рис. 2.4 Генератор случайного выбора ЭВМ

Позиция P2 задерживает маркер на случайное время, равномерно распределенное от 0 до 1. Позиция P3 задерживает маркер на детерминированное время – 0,351 минуты. Таким образом, получается, что вероятность прохождения маркеров от позиции от позиции P3 к позиции P12 составляет 35,1 %, а от позиции P2 к позиции P13 – 64,9 %.

Следующие позиции этого блока перекрывают необходимые переходы: позиция P13 перекрывает переход T7, который является переходом на ЭВМ2, следовательно, вероятность попадания заявки на ЭВМ2 составляет 35,1 %, как и необходимо по заданию, а также данная позиция блокирует переход T2, что необходимо для функционирования системы.

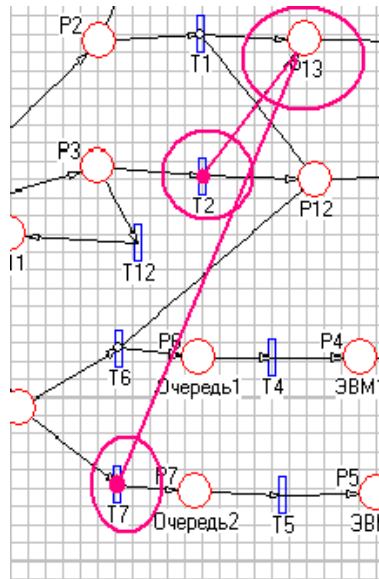


Рис. 2.5 Блокировка переходов

Позиция P12 закрывает переход T6, который является переходом на ЭВМ1. Позиции P11, P14, P15 являются вспомогательными и служат лишь для сбора статистики.

Для отображения поступления заданий на ЭВМ использованы позиции P1 и P16. Позиция P16 содержит количество маркеров, соответствующее количеству поступающих в систему заданий. Позиция P1 задерживает поступление маркеров в систему на случайные временные интервалы, распределенные равномерно от 600 до 1400 минут (рис. 2.6).

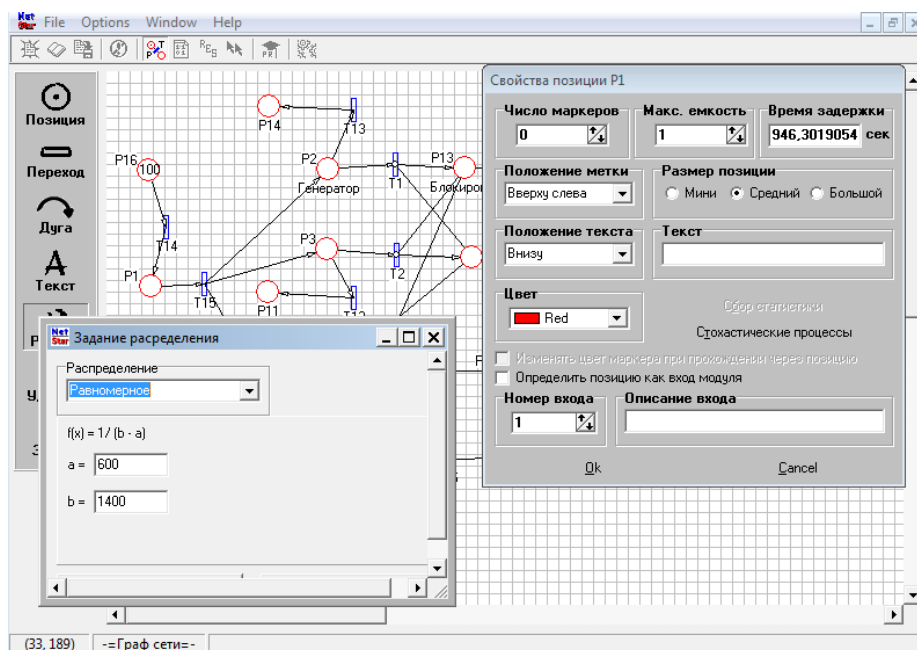


Рис. 2.6 Моделирование поступления заданий

На рис. 2.7 представлена полная модель вычислительного центра.

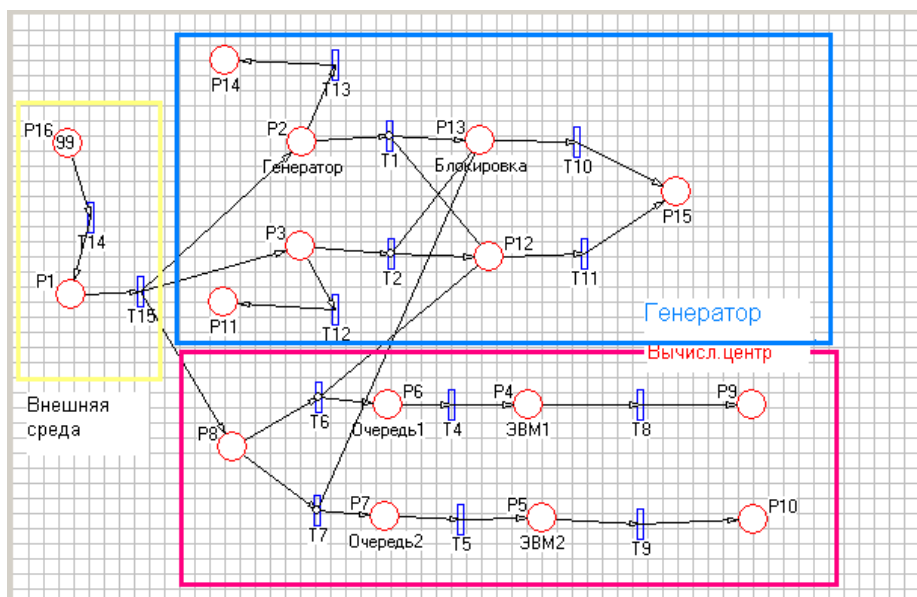


Рис. 2.7 Модель вычислительного центра

Проведение экспериментов

Для проведения эксперимента с целью определения заданных параметров необходимо нажать кнопку «Запуск» и в окне «Параметры имитации» ввести время имитации, равное 43200 минут (30 суток по 24 часа) рис. 2.8.

The screenshot shows a software window titled 'Параметры имитации' (Parameters of simulation). It contains several input fields and checkboxes for configuring a simulation. The 'Время имитации' (Simulation time) is set to 43200 seconds and is checked. Other fields include 'Число проходов' (Number of passes) set to 0, 'Шаг имитации' (Simulation step) set to 0, and 'Отображать матрицу текущей разметки сети' (Display the matrix of the current network layout) with start and end positions set to 1 and 16 respectively. There are also options to define when the cycle is completed, such as 'Через позицию 16 пройдет 1 маркер[a,ов]' (Through position 16, 1 marker [a,ov] will pass) or 'Время имитации достигнет 0 с.' (Simulation time will reach 0 seconds). A large red 'СТАРТ' (START) button is at the bottom.

Рис. 2.8 Запуск имитации

Для определения загрузки ЭВМ необходимо перед запуском модели в параметрах позиций «ЭВМ1» (P4) рис. 2.9 и «ЭВМ2» (P5) рис. 2.10, нажать на кнопку «Сбор статистики» и установить галочку в графе «Загруженность» «Общая».

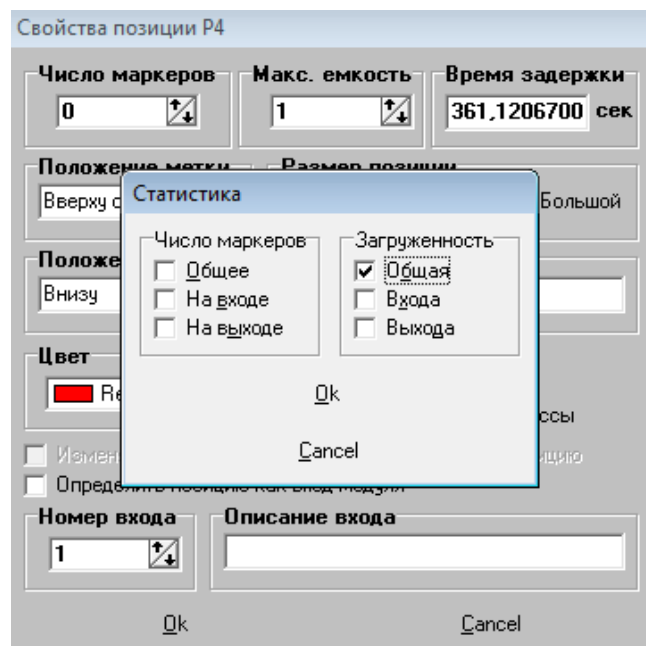


Рис. 2.9 Сбор статистики для ЭВМ1

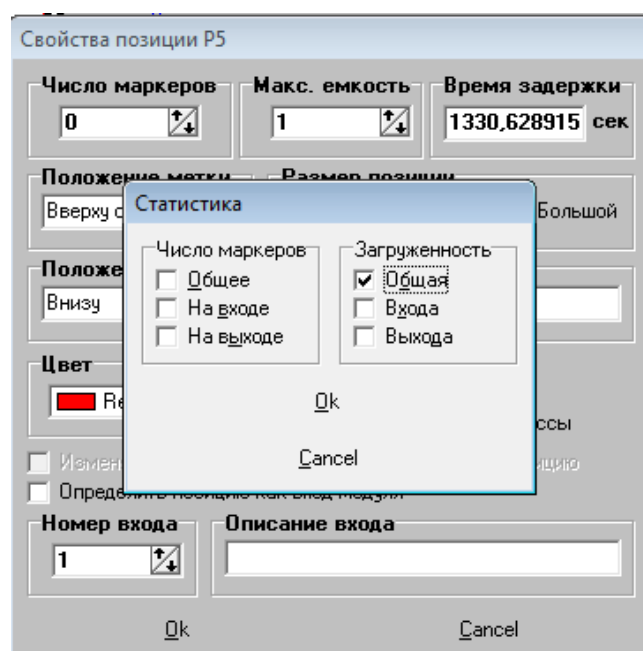


Рис. 2.10 Сбор статистики для ЭВМ2

Для определения количества выполненных заданий, необходимо по матрице текущей маркировки определить суммарное количество маркеров в позициях Р9 и Р10 за время моделирования (рис.2.11).

Время цикла: 43139,3 сек. Статистика

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	
40934,9	1:0	1:0	1:0	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:12	0:29	0:12	0:0	0:0	0:30	0:42	0:56	T15 T14
40934,9	1:0	0:0	1:0	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:12	0:29	0:12	0:0	1:0	0:30	0:42	0:56	T1 T13
40934,9	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:12	0:29	0:13	0:0	1:0	0:30	0:42	0:56	T12
40935,9	1:0	0:0	0:0	1:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:12	0:29	0:13	0:0	1:0	0:30	0:42	0:56	T6 T4
40935,9	1:0	0:0	0:0	1:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:12	0:29	0:13	0:0	0:0	0:30	0:43	0:56	T10
41532,0	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:13	0:29	0:13	0:0	0:0	0:30	0:43	0:56	T8
41760,0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:13	0:30	0:13	0:0	0:0	0:30	0:43	0:56	T9
41917,9	1:0	1:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:13	0:30	0:13	0:0	0:0	0:30	0:43	0:55	T15 T14
41917,9	1:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:13	0:30	0:13	1:0	0:0	0:30	0:43	0:55	T2 T12
41918,3	1:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:13	0:30	0:13	1:0	0:0	0:31	0:43	0:55	T13
41918,9	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:13	0:30	0:13	1:0	0:0	0:31	0:43	0:55	T7 T5
41918,9	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:13	0:30	0:13	0:0	0:0	0:31	0:44	0:55	T11
43109,9	1:0	1:0	1:0	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:13	0:30	0:13	0:0	0:0	0:31	0:44	0:54	T15 T14
43110,3	1:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:13	0:30	0:13	1:0	0:0	0:31	0:44	0:54	T2 T12
43110,9	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	1:0	0:13	0:30	0:13	1:0	0:0	0:32	0:44	0:54	T13
43110,9	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:1	0:0	0:13	0:30	0:13	1:0	0:0	0:32	0:44	0:54	T7
43111,3	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:1	0:0	0:13	0:30	0:13	0:0	0:0	0:32	0:45	0:54	T11
43139,3	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:13	0:31	0:13	0:0	0:0	0:32	0:45	0:54	T9 T5
43200,0	1:0	0:0	0:0	0:0	1:0	0:0	0:0	0:0	0:13	0:31	0:13	0:0	0:0	0:32	0:45	0:54	

Рис. 2.11 Определение количества обработанных заданий

По матрице видно, что в позицию P9 попало 13 маркеров, а в позицию P10 – 31 маркер. Таким образом, общее число обработанных заданий составляет $13+31=44$.

Для определения загрузки ЭВМ необходимо в матрице текущей маркировки активизировать кнопку «Статистика». В результате будут отображены графики изменения количества маркеров в выбранных позициях в течение времени, а также выведены результирующие показатели по загрузке ЭВМ в графе «Утилизация». На рис. 2.12 видно, что загрузка ЭВМ1 составляет 22,306 %.



Рис. 2.12 Загрузка ЭВМ1

На рис. 2.13 отображена загруженность ЭВМ2 – 86,275 %.



Рис. 2.13 Загруженность ЭВМ2

3 ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

Описание объекта моделирования

На вычислительном центре в обработку принимаются три класса заданий А, В и С. Исходя из наличия оперативной памяти ЭВМ задания классов А и В могут решаться одновременно, а задания класса С монополизируют ЭВМ. Задания класса А поступают через 15-25 мин, класса В – через 10-30 мин и класса С – через 20-40 мин и требуют для выполнения: класс А – 15-25 мин, класс В – 18-24 мин и класс С – 23-33 мин. Задачи класса С загружаются в ЭВМ, если она полностью свободна. Задачи классов А и В могут догружаться к решаемой задаче.

Задание

1. Разработайте концептуальную модель работы вычислительного центра, используя математический аппарат сетей Петри.
2. Осуществите программную реализацию концептуальной модели при помощи проблемно-ориентированного имитатора NETSTAR.
3. Используя разработанную модель, симулируйте работу вычислительного центра в течение 80 часов. Определите количество обслуженных заданий и загрузку всех ЭВМ.

4 ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет о работе должен содержать:

1. Исходные данные.
2. Модель вычислительного центра в виде сети Петри.
3. Описание последовательности проведения имитационных экспериментов.
4. Результаты каждого эксперимента в следующей последовательности:

- Исходные параметры;
- Количество обслуженных заданий типа А;
- Количество обслуженных заданий типа Б;
- Количество обслуженных заданий типа С;
- Общее количество обслуженных заданий;
- Загрузка ЭВМ1 (%);
- Загрузка ЭВМ2 (%);
- Загрузка ЭВМ3 (%);
- Распечатка матрицы текущей маркировки сети;
- Вывод.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое сеть Петри?
2. Какие правила срабатывания переходов используются при моделировании на сетях Петри?
3. Какова последовательность действий при вводе сети Петри в компьютер при помощи имитатора NETSTAR?
4. Для чего можно использовать ингибиторную дугу?
5. Каким образом отображаются результаты моделирования при использовании имитатора NETSTAR?

6 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
2. Мурата Т. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения//ТИИЭР. – 1989. - №77. – С. 41-85.

3. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. – 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.

4. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред. П. В. Трусова. – Москва : Логос, 2004. – 440 с.

5. Советов Б. Я. Моделирование систем: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Москва : Высш. шк., 2001.