

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем управления

***МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ***

ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

для студентов специальности I-53 01 07 «Информационные технологии  
и управление в технических системах»  
заочной формы обучения

Минск 2008

УДК 004.94 (075.8)  
ББК 30.606 я 7  
П 78

С о с т а в и т е л ь  
С. В. Лукьянец

П 78 **Моделирование** в проектировании промышленных систем : программа, метод. указания и контр. работа для студ. спец. I-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» заоч. формы обуч./сост. С. В. Лукьянец. – Минск : БГУИР, 2008. – 18 с. : ил.

Настоящее издание содержит программу изучения дисциплины с методическими указаниями по каждой теме и ссылками на литературные источники, а также варианты контрольной работы с методическими указаниями по ее выполнению.

**УДК 004.94 (075.8)**  
**ББК 30.606 я 7**

© Лукьянец С. В., составление, 2008  
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Специалист с высшим образованием в области информационных технологий и управления в технических системах должен обладать знаниями по проектированию гибких производственных систем и других объектов дискретного производства. В процессе проектирования таких систем широко используются различные методы моделирования, т.к. они упрощают, ускоряют и удешевляют изучение свойств реальных объектов. Значительная роль при этом отводится компьютерному расчету, основанному на имитации сложных технологических процессов. В связи с этим возрастает роль изучаемой дисциплины, цель которой – формирование у студентов навыков моделирования сложных технических систем на основе применения языка имитационного моделирования GPSS.

В результате освоения дисциплины студенты изучают пакет программ GPSS World, овладевают методиками разработки алгоритмов функционирования производственных систем, приобретают навыки составления программ моделей и работы с ними на персональных компьютерах, анализируют результаты моделирования для принятия обоснованных проектных решений.

Освоение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении соответствующих разделов высшей математики, основ алгоритмизации и программирования, математических основ теории систем.

### 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПО РАЗДЕЛАМ И ТЕМАМ

Номер раздела, темы	Наименование раздела, темы	Количество часов на самост.работу
1	2	3
1	Введение. Общие сведения о моделировании. Модели массового обслуживания	8
1.1	Понятие о сложных системах и их моделировании	4
1.2	Понятие о системах массового обслуживания и их характеристиках	4
2	Общие сведения о языке моделирования GPSS	4
2.1	Сущность языка моделирования GPSS World	2
2.2	Способы представления моделей	2
3	Создание моделей систем с одноканальными и многоканальными устройствами	24
3.1	Операторы создания, уничтожения и задержки транзактов	2
3.2	Операторы занятия и освобождения одноканальных устройств	1
3.3	Регистраторы очередей	1
3.4	Внутренняя логика работы пакета	4

3.5	Реализация различных дисциплин обслуживания	2
1	2	3
3.6	Моделирование многоканальных устройств	2
3.7	Изменение маршрутов движения транзактов	4
3.8	Управляющие операторы очистки и сброса статистики	2
3.9	Стандартные числовые атрибуты	2
3.10	Переменные пользователя	1
3.11	Сохраняемые величины	3
4	Создание моделей с использованием объектов вычислительной категории	14
4.1	Генераторы случайных чисел	1
4.2	Использование дискретных равномерных распределений	1
4.3	Использование дискретных неравномерных распределений (функции типа D)	2
4.4	Использование непрерывных распределений (функции типа C)	2
4.5	Функции типа E, L, M	1
4.6	Моделирование пуассоновских потоков	1
4.7	Арифметические переменные	2
4.8	Моделирование нормального распределения	1
4.9	Булевы переменные	2
4.10	Проверка числовых выражений	1
5	Использование средств рационального построения моделей	10
5.1	Параметры транзактов, изменение их значений и уровня приоритетов	2
5.2	Системы с параллельно работающими идентичными устройствами и отдельными очередями	4
5.3	Моделирование таблиц	4
6	Моделирование систем с устройствами в режимах прерывания и недоступности	10
6.1	Моделирование захвата устройств	4
6.2	Моделирование недоступности устройств	3
6.3	Применение списков пользователя	3
7	Моделирование сложных производственных систем	7
7.1	Создание копий транзактов и обеспечение синхронизации их движения	3
7.2	Моделирование цикла	1
7.3	Моделирование логического управления	2
7.4	Проверка состояний логического ключа и других объектов модели	1
8	Заключение	4
8.1	Особенности и возможности применения пакета GPSS World при проектировании промышленных систем	4

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Моделирование в проектировании промышленных систем» включает самостоятельную работу с рекомендуемой литературой, выполнение контрольной работы и цикла лабораторных работ. Этот процесс целесообразно начинать с ознакомления с программой. При этом следует обратить внимание на основные задачи и первую тему, связанную с общими сведениями о моделировании и с системами массового обслуживания. В качестве основных материалов рекомендуются конспект лекций и источники [1–3].

Базовыми являются разделы 2 и 3 программы. При их изучении необходимо усвоить сущность языка GPSS World, внутреннюю логику работы пакета, основные операторы моделирования систем с реальным оборудованием, наиболее распространенные дисциплины обслуживания, выходную статистику. Рекомендуемая литература [1].

При дальнейшем освоении материала целесообразно изучить связанные между собой разделы 4 и 5. Особое внимание необходимо обратить на использование функций, переменных, параметров транзактов, таблиц. Рекомендуются источники [1, 2].

При изучении раздела 6 требуется освоение материала по моделированию захвата и отказа устройств, а также по использованию списков пользователя. Темы разделов 7 и 8 также затрагивают вопросы моделирования сложных технических систем, для чего необходимо освоить моделирование ансамблей, синхронизации работы оборудования, организации логического управления. Для понимания особенностей применения имитационного моделирования в проектировании промышленных систем следует внимательно разобрать примеры моделирования механообрабатывающего и штамповочного производства. Рекомендуемая литература [1, 3, 5].

При изучении всех тем используется пакет имитационного моделирования GPSS World и рекомендуется конспект лекций, содержащийся в [6].

Выполненная контрольная работа отсылается в университет на рецензирование. Если в ней обнаружены ошибки, то она возвращается студенту. После устранения замечаний работа повторно проходит рецензирование.

Лабораторные работы выполняются в назначенное деканатом время. После выполнения и защиты всех работ и успешного выполнения контрольной работы студент допускается к экзамену.

Для самоконтроля можно воспользоваться контрольными вопросами, приведенными в конце каждой лабораторной работы [6], а при подготовке к итоговой аттестации – экзаменационными вопросами.

### **3. ПРОГРАММА ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛИРОВАНИИ. МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

##### ***Тема 1.1. Понятие о сложных системах и их моделировании***

Сложные системы, их структуризация и алгоритмизация. Роль моделирования при проектировании промышленных систем. Основные этапы моделирования. Классификация методов моделирования и их сравнительная оценка.

[1–3, введение, предисловие], [6, введение].

##### ***Тема 1.2. Понятие о системах массового обслуживания и их характеристиках***

Системы массового обслуживания (СМО): входящий поток требований, правило постановки требований в очередь и выходящий поток требований. Основные характеристики СМО: интенсивность входящего потока требований, длина очереди, среднее время ожидания обслуживания, интенсивность обслуживания, среднее время обслуживания, загрузка оборудования.

[2, гл. 5], [3, гл. 1], [5, п. 2.1.2], [6, гл. 1].

#### **Раздел 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЯЗЫКЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ GPSS**

##### ***Тема 2.1. Сущность языка моделирования GPSS World***

Концепция языка. Динамические, операционные, аппаратные, статистические, вычислительные, запоминающие, группирующие объекты. Списки событий: текущих, будущих, прерываний, повторений, задержки, пользователя. Особенности таймера модельного времени.

[1, пп. 1.1, 1.2], [6, п. 2.1].

##### ***Тема 2.2. Способы представления моделей***

Блок-диаграммы. Тексты программ. Операторы. Набор полей: метка – оператор – операнды – комментарий.

[1, пп. 1.3, 1.4], [6, п. 2.2].

#### **Раздел 3. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ С ОДНОКАНАЛЬНЫМИ И МНОГОКАНАЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ**

##### ***Тема 3.1. Операторы создания, уничтожения и задержки транзактов***

Операторы (блоки) GENERATE, TERMINATE, ADVANCE. Их формат и графическое изображение на блок-диаграммах. Команда START. Моделирование модуля таймера.

[1, пп. 2.1, 2.4], [6, п. 3.1].

При рассмотрении в дальнейшем операторов, являющихся блоками, необходимо усвоить их графические изображения.

### ***Тема 3.2. Операторы занятия и освобождения одноканальных устройств***

Блоки SEIZE, RELEASE. Их формат. Выходная статистика.  
[1, п. 2.3], [6, п. 3.2].

### ***Тема 3.3. Регистраторы очередей***

Блоки QUEUE, DEPART. Их формат. Выходная статистика.  
[1, п. 2.6.1], [6, п. 3.3].

### ***Тема 3.4. Внутренняя логика работы пакета***

Фазы работы пакета: ввод модели, просмотр списков, коррекция таймера.  
Продвижение транзактов в модели и изменение их положения в списках.  
[6, п. 3.4].

### ***Тема 3.5. Реализация различных дисциплин обслуживания***

Реализация дисциплин: «первым пришел – первым обслужен» и «первым пришел – первым обслужен внутри приоритетного класса».  
[6, п. 3.5].

### ***Тема 3.6. Моделирование многоканальных устройств***

Команда STORAGE. Блоки ENTER, LEAVE. Формат и назначение.  
Выходная статистика. Моделирование недоступности многоканальных устройств с использованием блоков SUNAVAIL и SAVAIL.  
[1, пп. 5.1, 5.2], [6, п. 3.6].

### ***Тема 3.7. Изменение маршрутов движения транзактов***

Блок TRANSFER в режимах безусловной передачи, статистической передачи, BOTH и др. Формат и назначение.  
[1, п. 2.7.1], [6, п. 3.7].

### ***Тема 3.8. Управляющие операторы очистки и сброса статистики***

Команда CLEAR в режимах OFF и ON. Формат, назначение, особенности очистки статистики. Команда RESET. Формат, назначение, особенности сброса статистики.  
[1, пп. 3.3.3.1, 3.3.3.8], [6, п. 3.8].

### ***Тема 3.9. Стандартные числовые атрибуты***

Понятие стандартных числовых атрибутов (СЧА). Системные СЧА и СЧА объектов модели: устройств, очередей, таблиц, блоков, транзактов, объектов вычислительной категории, сохраняемых величин.  
[1, п. 1.5.2], [6, п. 3.9].

### ***Тема 3.10. Переменные пользователя***

Команда EQU. Формат и назначение.  
[1, п. 1.5.6], [6, п. 3.10].

### ***Тема 3.11. Сохраняемые величины***

Моделирование линейных сохраняемых величин. Команда INITIAL. Блок SAVEVALUE. Моделирование матричных сохраняемых величин. Команда MATRIX. Блок MSAVEVALUE. Формат и особенности использования этих операторов.

[1, пп. 1.5.8, 1.5.9], [6, п. 3.11].

## **Раздел 4. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕКТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ КАТЕГОРИИ**

### ***Тема 4.1. Генераторы случайных чисел***

Понятие о генераторах случайных чисел и их СЧА. Установка начальных значений генераторов с помощью команды PMULT.

[1, п. 6.1], [6, п. 4.1].

### ***Тема 4.2. Использование дискретных равномерных распределений***

Особенности моделирования равномерного закона распределения интервалов времени генерации и обработки транзактов с помощью блоков GENERATE и ADVANCE. Использование библиотечного генератора DUNIFORM.

[1, п. 6.3], [6, п. 4.2].

### ***Тема 4.3. Использование дискретных неравномерных распределений (функции типа D)***

Моделирование дискретных неравномерных распределений с помощью функции типа D. Команда FUNCTION, формат и назначение. Задание с использованием функции типа D равномерного распределения.

[1, п. 6.4], [6, п. 4.3].

### ***Тема 4.4. Использование непрерывных распределений (функции типа C)***

Функции типа C. Формат и назначение. Задание с использованием этой функции равномерного распределения.

[1, п. 6.6], [6, п. 4.4].

### ***Тема 4.5. Функции типа E, L, M***

Атрибутивно-значимые (типа E), списковые (типа L) и списковые атрибутивно-значимые (типа M) функции.

[1, п. 6.7], [6, п. 4.5].

### ***Тема 4.6. Моделирование пуассоновских потоков***

Моделирование пуассоновских потоков с использованием в качестве модификатор-функции экспоненциальной функции с единичным средним



значением. Задание экспоненциального распределения с помощью библиотечного генератора EXPONENTIAL.

[1, п. 6.6.1], [6, п. 4.6].

#### ***Тема 4.7. Арифметические переменные***

Команда VARIABLE. Формат. Арифметические операции. Порядок вычисления переменной.

[1, п. 1.5.10], [6, п. 4.7].

#### ***Тема 4.8. Моделирование нормального распределения***

Использование арифметической переменной для вычисления нормального распределения по нормированной выборке, стандартному отклонению

и математическому ожиданию. Применение библиотечного генератора NORMAL.

[1, п. 1.5.5], [6, п. 4.8].

#### ***Тема 4.9. Булевы переменные***

Команда BVARIABLE, ее формат. Использование в выражении операндов: логических, отношения, булевых; порядок их выполнения.

[1, п. 1.5.11], [6, п. 4.9].

#### ***Тема 4.10. Проверка числовых выражений***

Блок TEST. Формат. Режимы работы: отказа и условного перехода.

[1, п. 2.5.2], [6, п. 4.10].

### **Раздел 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ**

#### ***Тема 5.1. Параметры транзактов, изменение их значений и уровня приоритетов***

Задание значений параметров с помощью блока ASSIGN в режимах: замещения, приращения, уменьшения. Блок MARK для задания в транзакте или его параметре абсолютного модельного времени. Изменение уровня приоритета транзакта с помощью блока PRIORITY. Формат этих операторов.

[1, пп. 2.2.1, 2.2.4], [6, п. 5.1].

#### ***Тема 5.2. Системы с параллельно работающими идентичными устройствами и отдельными очередями***

Блок SELECT в условном и логическом режимах. Его формат и назначение.

[1, п. 7.5.2], [6, п. 5.2].

### ***Тема 5.3. Моделирование таблиц***

Команда TABLE, ее формат и назначение. Блок TABULATE, его формат и назначение. Команда QTABLE и особенности ее применения.

[1, п. 2.6.2], [6, п. 5.3].

Библиотека БГУИР

## **Раздел 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С УСТРОЙСТВАМИ В РЕЖИМАХ ПРЕРЫВАНИЯ И НЕДОСТУПНОСТИ**

### ***Тема 6.1. Моделирование захвата устройств***

Блоки захвата и освобождения устройств PREEMPT и RETURN. Формат и особенности применения в режимах прерывания и приоритета.

[1, пп. 4.1.1, 4.1.2], [6, п. 6.1].

### ***Тема 6.2. Моделирование недоступности устройств***

Использование при имитации недоступности и доступности одноканальных устройств блоков FUNAVAIL и FAVAIL. Их формат и особенности применения в зависимости от характера транзактов, занимавших устройство до перевода его в недоступное состояние.

[1, пп. 4.2.1, 4.2.2], [6, п. 6.2].

### ***Тема 6.3. Применение списков пользователя***

Блоки LINK и UNLINK, их форматы. Варианты ввода транзактов в список и вывода из списка.

[1, п. 4.3], [3, п. 4.2.3], [6, п. 6.3].

## **Раздел 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

### ***Тема 7.1. Создание копий транзактов и обеспечение синхронизации их движения***

Расщепление транзактов с использованием блока SPLIT. Работа с ансамблями с помощью блоков объединения, сборки и синхронизации соответственно ASSEMBLE, GATNER и MATCH. Формат и особенности этих операторов.

[1, пп. 7.1, 7.2], [6, п. 7.1].

### ***Тема 7.2. Моделирование цикла***

Применение при моделировании цикла блоков ASSIGN и TEST, а также специального блока LOOP. Сравнительная оценка этих способов.

[1, п. 2.7.2], [6, п. 7.2].

### ***Тема 7.3. Моделирование логического управления***

Моделирование логического ключа блоком LOGIC.

[1, п. 5.5], [6, п. 7.3].

### ***Тема 7.4. Проверка состояний логического ключа и других объектов модели***

Блок GATE. Его формат, режимы работы и использование для проверки состояния логических ключей, одноканальных устройств, многоканальных устройств, синхронизации активного транзакта.

[6, п. 7.4].

## Раздел 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Тема 8.1. Особенности и возможности применения пакета GPSS World при проектировании промышленных систем

Применение имитационного моделирования при проектировании гибкой автоматической линии механообработки и гибкого автоматического участка штамповки. Итоги изучения дисциплины. Возможности языка GPSS в дипломном проектировании.

[5, п. 2.5.2], [6, п. 7.5, заключение].

## 4. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ МЕХАНООБРАБОТКИ

### 4.1. Исходные данные

4.1.1. Структурная схема линии. Состоит из склада, обрабатывающего модуля и транспортного робота (рис. 1).

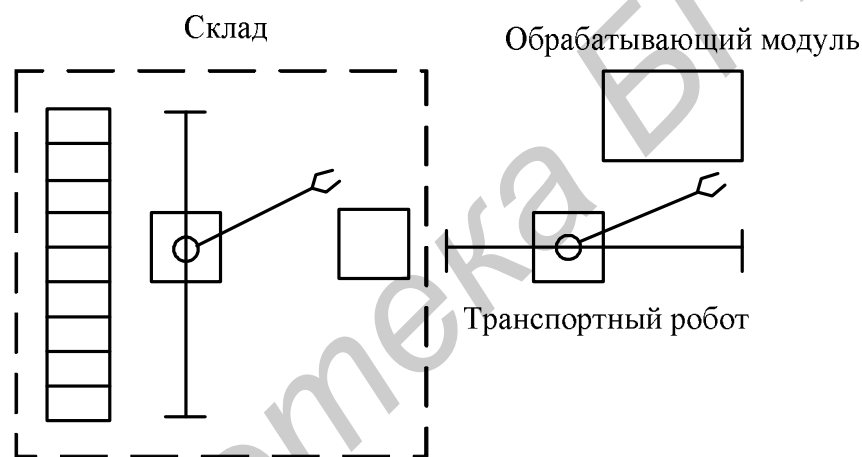


Рис. 1

4.1.2. Диаграмма работы линии, на которой приняты обозначения: ПСК и РСК – соответственно получение заготовок и размещение деталей на складе; ОбМ – обработка в модуле; ТРМ и ТРС – соответственно транспортировка к модулю и складу; А и В – партии деталей. Базовый вариант диаграммы, который рассматривается в качестве примера, приведен на рис. 2.

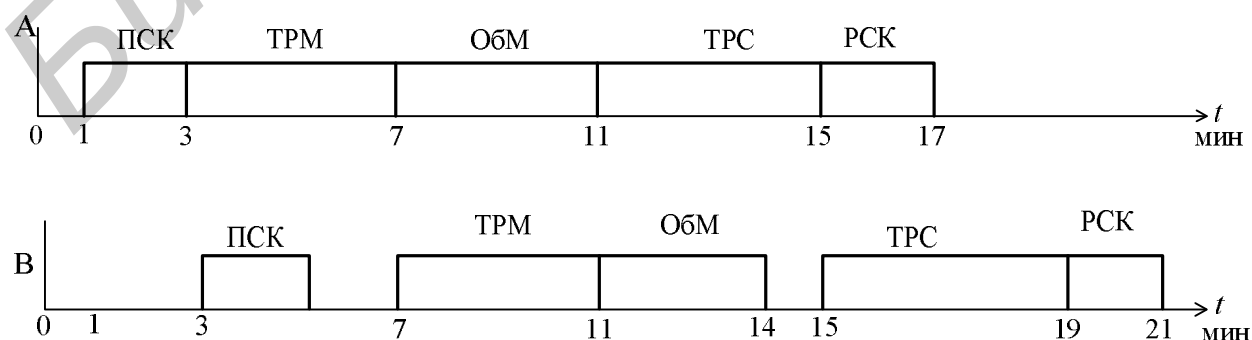


Рис. 2

4.1.3. Время работы линии **I** смен, коэффициент его использования 0,9.

4.1.4. Закон распределения продолжительности интервалов получения заготовки и размещения деталей на складе равномерный. Продолжительность обрабатывающих и транспортных операций – детерминированная.

## 4.2. Задание

4.2.1. С учетом индивидуального базового варианта (определяемого преподавателем) по исходным данным, содержащимся в приложении, составить диаграмму работы линии, алгоритм ее моделирования и программу имитационной модели.

4.2.2. Выполнить моделирование базового варианта, определить коэффициенты загрузки обрабатывающего модуля, транспортного робота, склада, количество изготовленных деталей и среднее время цикла линии.

Определить минимальную длительность транспортной операции  $t_{TRM\ min}$  для увеличения в 1,5 раза количества изготовленных деталей.

4.2.3. Внести коррективы в диаграмму работы, алгоритм моделирования линии, а также в программу модели, предусмотрев в соответствии с заданием либо два транспортных робота ТР (один для заготовок, другой – для готовых деталей), либо более быстродействующий обрабатывающий модуль ( $t'_{ОбМ} = \frac{1}{2}t_{ОбМ}$ ).

4.2.4. Выполнить моделирование скорректированного варианта, определить показатели линии, аналогичные полученным в п. 4.2.2.

## 4.3. Оформление работы

В самом начале работы приводятся исходные данные (схема линии, диаграмма ее работы, конкретные величины заданных интервалов, количество смен, вариант оптимизации). Далее разрабатываются алгоритм и имитационная модель базового и оптимального вариантов. Приводятся листинги этих программ и выходная статистика. В конце работы выполняется анализ результатов моделирования.

## 4.4. Методические указания по выполнению контрольной работы

Промоделируем работу линии в течение смены при коэффициенте использования времени 0,9. Учтем равномерный закон распределения продолжительности интервалов получения заготовок и размещения деталей на складе, пусть он будет  $(2 \pm 1)$  мин (на диаграмме указано среднее значение – 2 мин).

Алгоритм моделирования гибкой линии приведен на рис. 3. Его особенность заключается в том, что для проверки занятости транспортного робота используются блоки 5, 6, 12, а для проверки занятости склада – блок 14. В случае невыполнения проверяемых условий блокируется дальнейшее продвижение по алгоритму.

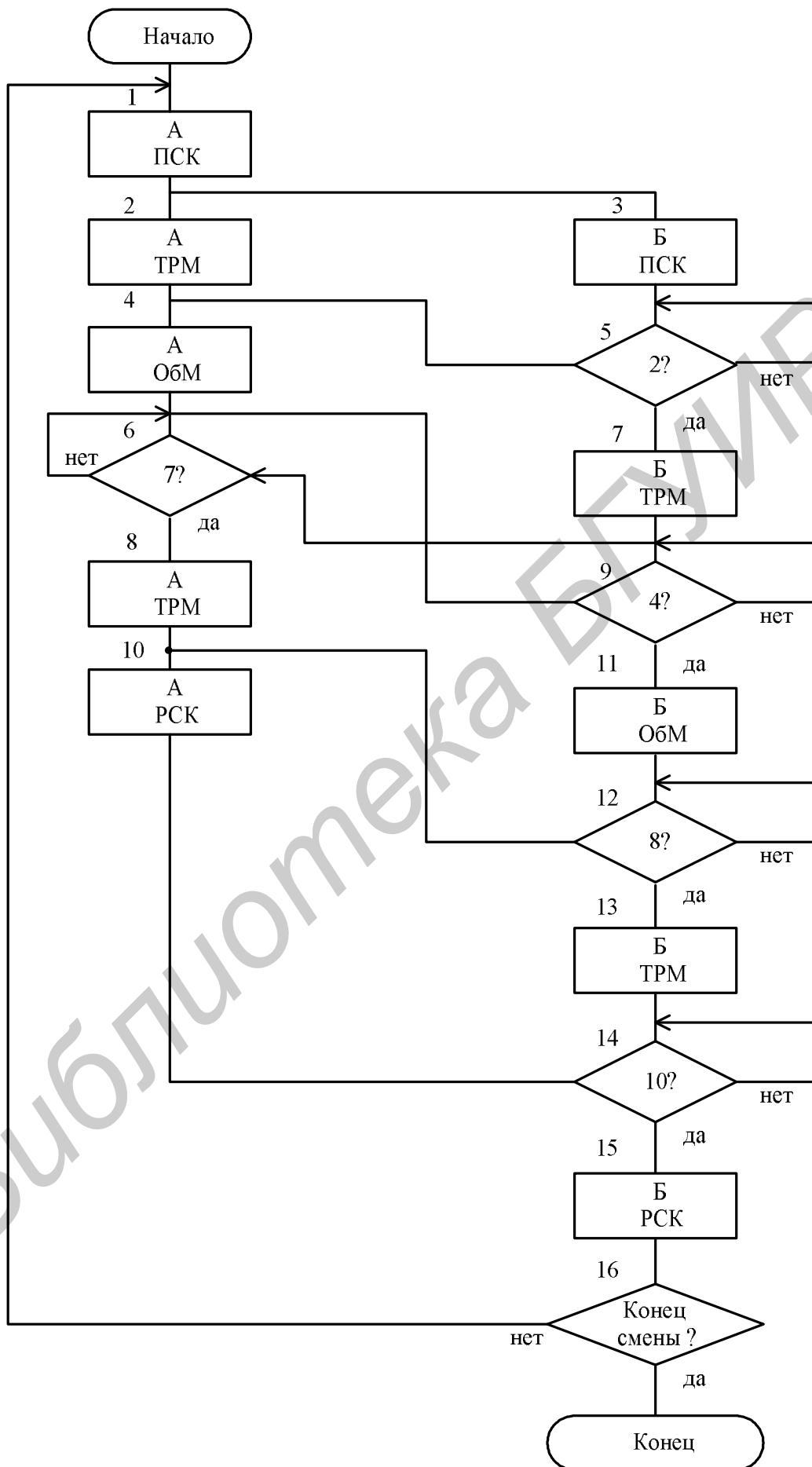


Рис. 3

При разработке программы используем для моделирования разветвлений оператор SPLIT, а для моделирования проверки отмеченных конфликтных ситуаций – операторы LOGIC и GATE. Складу, обрабатывающему модулю, транспортному роботу и логическим ключам присвоим имена соответственно SKL, OMO, TRM, PER1,..., PER5. Для наглядного сопоставления программы и алгоритма в качестве цифровой части меток операторов программы используем номера блоков алгоритма. За единицу модельного времени примем

1 мин. Продолжительность времени моделирования будет  $480 \times 0,9 = 432$  единицы.

Программа модели представлена ниже.

MET1	GENERATE SEIZE ADVANCE RELEASE SPLIT SEIZE ADVANCE RELEASE SPLIT SEIZE ADVANCE RELEASE SPLIT SEIZE ADVANCE RELEASE SPLIT TRANSFER	, , , 1 SKL 2, 1 SKL 1, MET3 TRM 4 TRM 1, MET5 OMO 4 OMO 1, MET9 , MET6
MET3	SEIZE ADVANCE RELEASE	SKL 2, 1 SKL
MET5	LOGIC I GATE LS TERMINATE	PER1 PER1, MET7
MET6	LOGIC I GATE LS TERMINATE	PER2 PER2, MET8
MET7	SEIZE ADVANCE RELEASE SPLIT TRANSFER	TRM 4 TRM 1, MET6 , MET9
MET8	SEIZE ADVANCE RELEASE SPLIT SEIZE ADVANCE RELEASE TRANSFER	TRM 4 TRM 1, MET12 SKL 2,1 SKL , MET14
MET9	LOGIC I GATE LS TERMINATE	PER3 PER3, MET11
MET11	SEIZE ADVANCE RELEASE	OMO 3 OMO
MET12	LOGIC I	PER4

	GATE LS	PER4, MET13
	TERMINATE	
MET13	SEIZE	TRM
	ADVANCE	4
	RELEASE	TRM
MET14	LOGIC I	PER5
	GATE LS	PER5, MET15
	TERMINATE	
MET15	SEIZE	SKL
	ADVANCE	2,1
	RELEASE	SKL
	TEST LE	M1, 432, KONEC
	TRANSFER	, MET1
KONEC	TERMINATE	1
	START	1

Результаты моделирования: за смену обработано 44 детали двух типов; при этом загрузка обрабатывающего модуля составила 34,6 %; загрузка склада – 40,2 %; загрузка транспортного робота – 79,1 %.

Для повышения производительности линии целесообразно использовать более быстродействующий транспортный робот либо более быстродействующий обрабатывающий модуль.

## **5. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ»**

1. Роль моделирования в проектировании промышленных систем. Классификация методов моделирования. Основные этапы моделирования.
2. Основные понятия и характеристики систем массового обслуживания.
3. Сущность языка моделирования GPSS World.
4. Способы представления моделей GPSS World.
5. Операторы создания, уничтожения и задержки транзактов.
6. Операторы занятия и освобождения одноканальных устройств.
7. Регистраторы очередей.
8. Внутренняя логика работы пакета.
9. Реализация дисциплины обслуживания «первым пришел – первым обслужен внутри приоритетного класса».
10. Моделирование многоканальных устройств.
11. Изменение маршрутов движения транзактов.
12. Управляющие операторы очистки и сброса статистики.
13. Стандартные числовые атрибуты.
14. Переменные пользователя.
15. Линейные сохраняемые величины.
16. Матричные сохраняемые величины.
17. Генераторы случайных чисел. Использование дискретных равномерных распределений.



18. Функции типа D.
19. Функции типа C.
20. Функции типа E, L, M.
21. Моделирование пуассоновских потоков.
22. Арифметические переменные.
23. Моделирование нормального распределения.
24. Булевы переменные.
25. Проверка числовых выражений.
26. Параметры транзактов, изменение их значений и уровня приоритета.
27. Системы с параллельно работающими идентичными устройствами и отдельными очередями.
28. Моделирование таблиц.
29. Моделирование захвата устройств.
30. Моделирование недоступности устройств.
31. Применение списков пользователя.
32. Операторы создания копий транзактов и обеспечения синхронизации их движения.
33. Моделирование цикла.
34. Моделирование логического управления.
35. Проверка состояния логического ключа и других объектов модели.
36. Особенности моделирования гибких производственных систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боев, В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World : учеб. пособие / В. Д. Боев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
2. Кудрявцев, Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.
3. Томашевский, В. И. Имитационное моделирование в среде GPSS / В. И. Томашевский, Е. Г. Жданова. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
4. Шрайбер, Т. Дж. Моделирование на GPSS / Т. Дж. Шрайбер. – М., 1980. – 592 с.
5. Лукьянец, С. В. Моделирование гибких производственных систем и роботизированных комплексов / С. В. Лукьянец, А. П. Пашкевич. – Минск : БГУИР, 2005. – 232 с.
6. Лукьянец, С. В. Электронный учебно-методический комплекс дисциплины «Моделирование в проектировании промышленных систем» для студ. спец. I-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» / С. В. Лукьянец, А. С. Климчик. – Минск : БГУИР, 2007.

Варианты исходных данных

Номер варианта	$t_{ПСК} (t_{РСК}),$ МИН	$t_{ТРМ} (t_{ТРС}),$ МИН	$t_{О6М},$ МИН	$\ell$	Соответствующий способ оптимизации	
					2ТР	$t'_{О6М} = 1/2 t_{О6М}$
1	$2 \pm 1$	5	5	1	+	
2	$2 \pm 0,5$	4	4	2		+
3	$3 \pm 1$	3	4	3	+	
4	$3 \pm 0,5$	5	5	1		+
5	$3 \pm 1$	4	4	2	+	
6	$4 \pm 1$	5	4	3		+
7	$4 \pm 2$	5	4,5	1	+	
8	$4 \pm 0,5$	5	5	2		+
9	$4 \pm 1,5$	5	5,5	3	+	
10	$5 \pm 0,5$	6	5,5	1		+
11	$5 \pm 1$	5,5	6	2	+	
12	$5 \pm 1,5$	5,5	6,5	3		+
13	$5 \pm 2$	6	5	1	+	
14	$5 \pm 2,5$	6	5	2		+
15	$1,5 \pm 0,5$	3	3,5	3	+	
16	$1,5 \pm 0,75$	3,5	3,5	1		+
17	$2,5 \pm 0,5$	4,0	4	1	+	
18	$2,5 \pm 1$	4,5	4,4	2		+
19	$3,5 \pm 0,5$	4,5	5	1	+	
20	$3,5 \pm 1$	4	4	2		+
21	$3,5 \pm 1,5$	4	3	3	+	
22	$4,5 \pm 0,5$	5	5,5	1		+
23	$4,5 \pm 1$	5,5	5	2	+	
24	$4,5 \pm 1,5$	5	6	3		+
25	$4,5 \pm 2$	6	5	1	+	
26	$5,5 \pm 1$	3	5	2		+
27	$5,5 \pm 1,5$	4	6	3	+	
28	$5,5 \pm 2$	5	6,5	1		+
29	$5,5 \pm 2,5$	6	4,5	2	+	
30	$5,7 \pm 0,7$	6	6	3		+

Библиотека БГУИР

Учебное издание

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ**

**ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

для студентов специальности I-53 01 07 «Информационные технологии  
и управление в технических системах»  
заочной формы обучения

Составитель

**Лукьянец Степан Валерьянович**

Редактор Т. Н. Крюкова  
Корректор Е. Н. Батурчик

---

Подписано в печать 21.01.2008.

Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс».

Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 1,28.

Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 150 экз.

Заказ 28.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.

220013, Минск, П. Бровки