**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

Факультет «Информатика и системы управления»

Кафедра «Теоретическая информатика и компьютерные технологии»

**Лабораторная работа № 2**

**по курсу «Моделирование»**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Студент: Яровикова А. С.

Группа: ИУ9-81Б

Преподаватель: Домрачева А. Б.

Москва, 2024

# **ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

**Цель**

Целью данной работы является изучение языка GPSS (General Purpose Simulation System) и его использование для реализации имитационной модели сложных технических объектов, представленных в виде системы массового обслуживания (СМО).

**Постановка задачи**

Смоделировать работу участка цеха, состоящего из нескольких станков и

обрабатывающего два потока деталей различного типа. Маршрут обработки

деталей двух типов представлен на рисунке 1. В таблице 1 представлено

распределение выполняемых операций по станкам А1, А2 и А3. Интервалы

времени между поступлениями деталей и времена выполнения операций

распределены равномерно. Информация о временах поступления и выполнения

операций заданы в таблице 2 и таблице 3.

Определить для рабочего дня (8 часов) и рабочей недели (5 дней при

односменном режиме) среднюю загрузку каждого станка, среднее время

обработки деталей каждого типа, какова длина очередей на обработку для

станков, какой размер склада необходим для данного потока деталей.

Предложить способы модификации участка цеха с целью повышения эффективности его работы.

Индивидуальный вариант: 16

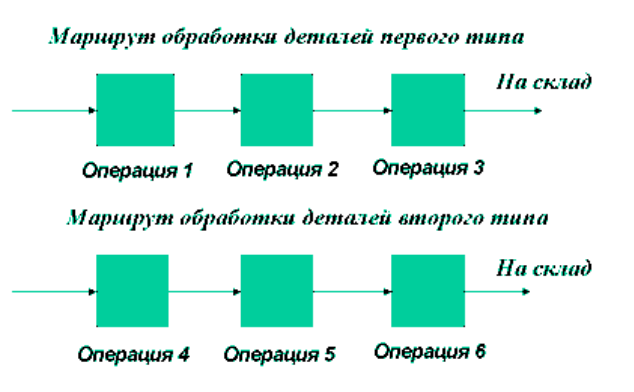


Рисунок 1 - Маршруты обработки деталей

Таблица 1 - Распределение операций по станкам

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Операция 1 | Операция 2 | Операция 3 | Операция 4 | Операция 5 | Операция 6 |
| 16 | А3 | А1 | А2 | А3 | А2 | А1 |

Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вариант | Интервалы времени поступления деталей первого типа (мин.) | Интервалы времени поступления деталей второго типа (мин.) |
| 16 | 20 3 | 30 7 |

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Интервал времени выполнения операции 1 (мин.) | Интервал времени выполнения операции 2 (мин.) | Интервал времени выполнения операции 3 (мин.) | Интервал времени выполнения операции 4 (мин.) | Интервал времени выполнения операции 5 (мин.) | Интервал времени выполнения операции 6 (мин.) |
| 16 | 10 3 | 15 5 | 5 2 | 20 4 | 10 3 | 10 3 |

# **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Имитационное моделирование позволяет изучать системы массового

Обслуживания (СМО) при различных типах входных потоков и интенсивностях

поступления заявок, при изменении параметров обслуживающих аппаратов и

различных дисциплин обслуживания.

**Имитационная модель** — модель, имитирующая поведение реальной системы при заданных входных данных в течение заданного или формируемого периода времени на основе идентификации точного или максимально приближенного алгоритма, трансформирующего входные данные в выходные. Имитация — повторение или максимально возможное точное воспроизведение алгоритма или реальной системы.

Для описания моделей СМО при их исследовании на ЭВМ разработаны специальные языки имитационного моделирования. Существуют общецелевые языки, ориентированные на описание широкого класса СМО в различных предметных областях, испециализированные языки, предназначенные для анализа систем определенного типа. Примером общецелевых языков служит широко распространенный язык GPSS.

Для описания имитационной модели на языке GPSS полезно представить ее в виде схемы, на которой отображаются элементы СМО - устройства, накопители, узлы и источники. Описание на языке GPSS есть совокупность операторов (блоков), характеризующих процессы обработки заявок. Имеются операторы и для отображения возникновения заявок, задержки их в обслуживающих аппаратах (ОА), занятия памяти, выхода из СМО, изменения параметров заявок (например, приоритетов), вывода на печать накопленной информации, характеризующей загрузку устройств, заполненность очередей и т.п.

Для реализации квазипараллелизма вычислительных процессом СМО используется описание транзактами.

**Транзакция** — логически связанная последовательность действий, исполняемая полностью (нельзя разделить на подпоследовательности). Транзакция может содержать только описание данных (состояние системы), или описание данных и ряд (несложных) действий с ними.

При транзактном описании транзакции применимы к набору однотипных объектов. Результат выполнения называется **транзактом**. Если объектов несколько, рассматривают каждый транзакт в отдельности.

# **ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ**

Исходный код представляет собой реализацию имитационной модели на языке GPSS, которая моделирует процесс обслуживания заявок в системе массового обслуживания (СМО). В модели присутствуют три сегмента. Программа GPSS состоит из трех сегментов, отвечающих за транзакты (заявки) модели. Первый сегмент соответствует обработке деталей первого типа, второй сегмент – второго типа, а третий сегмент – таймер в минутах (480 минут для 8-часового рабочего дня, 2400 минут для 5-дневной рабочей недели соответственно).

Транзакты последовательно проходят через систему обработки. Каждый транзакт занимает определенное время для выполнения задачи, используя доступные ресурсы (станки, обозначенные как A11, A2, A3) и очереди (обозначены AA1, AA2, AA3). В конце каждого сегмента модели транзакты завершают свое обслуживание и освобождают занятые ресурсы. Каждый сегмент имеет различные характеристики времени обработки и использования ресурсов в соответствии с индивидуальным вариантом задачи.

Команды **GENERATE** и **TERMINATE** управляют созданием и завершением транзактов, а также отсчетом модельного времени.

Команды **QUEUE** и **DEPART** управляют организацией очереди и контролем длины очереди.

Команды **SEIZE** и **RELEASE** управляют занятием устройства приходящим на его вход транзактом, задержкой транзакта в очереди в случае занятого устройства и освобождением устройства обслуженным транзактом.

Команда **ADVANCE A, B** управляет задержкой транзакта на время, определенное содержимым полей A и B. Интервалы времени между появлениями транзактов распределены равномерно в диапазоне [A-B, A+B].

Исходный код:

SERV STORAGE **1**

SIMULATE

GENERATE **20,3** ; Первый сегмент модели

QUEUE AA3

SEIZE A3

DEPART AA3

ADVANCE **10,3**

RELEASE A3

QUEUE AA1

SEIZE A11

DEPART AA1

ADVANCE **15,5**

RELEASE A11

QUEUE AA2

SEIZE A2

DEPART AA2

ADVANCE **5,2**

RELEASE A2

TERMINATE

GENERATE **30,7** ; Второй сегмент модели

QUEUE AA3

SEIZE A3

DEPART AA3

ADVANCE **20,4**

RELEASE A3

QUEUE AA2

SEIZE A2

DEPART AA2

ADVANCE **10,3**

RELEASE A2

QUEUE AA1

SEIZE A11

DEPART AA1

ADVANCE **7,3**

RELEASE A11

TERMINATE

GENERATE **480** ; Третий сегмент модели

TERMINATE **1**

# **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Распечатка выходных данных для моделирования работы участка цеха для **рабочего дня (8 часов)**:

GPSS World Simulation Report - lab2 Model 1.8.1

Sunday, March 10, 2024 17:41:10

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 480.000 36 3 1

NAME VALUE

A11 10004.000

A2 10006.000

A3 10002.000

AA1 10003.000

AA2 10005.000

AA3 10001.000

SERV 10000.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 23 0 0

2 QUEUE 23 3 0

3 SEIZE 20 0 0

4 DEPART 20 0 0

5 ADVANCE 20 0 0

6 RELEASE 20 0 0

7 QUEUE 20 0 0

8 SEIZE 20 0 0

9 DEPART 20 0 0

10 ADVANCE 20 1 0

11 RELEASE 19 0 0

12 QUEUE 19 0 0

13 SEIZE 19 0 0

14 DEPART 19 0 0

15 ADVANCE 19 0 0

16 RELEASE 19 0 0

17 TERMINATE 19 0 0

18 GENERATE 16 0 0

19 QUEUE 16 2 0

20 SEIZE 14 0 0

21 DEPART 14 0 0

22 ADVANCE 14 1 0

23 RELEASE 13 0 0

24 QUEUE 13 0 0

25 SEIZE 13 0 0

26 DEPART 13 0 0

27 ADVANCE 13 0 0

28 RELEASE 13 0 0

29 QUEUE 13 0 0

30 SEIZE 13 0 0

31 DEPART 13 0 0

32 ADVANCE 13 0 0

33 RELEASE 13 0 0

34 TERMINATE 13 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY

A3 34 0.947 13.373 1 35 0 0 0 5

A11 33 0.814 11.845 1 34 0 0 0 0

A2 32 0.492 7.374 1 0 0 0 0 0

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(-0) RETRY

AA3 6 5 39 2 2.338 28.773 30.329 0

AA1 2 0 33 9 0.523 7.609 10.462 0

AA2 1 0 32 24 0.059 0.886 3.543 0

STORAGE CAP. REM. MIN. MAX. ENTRIES AVL. AVE.C. UTIL. RETRY DELAY

SERV 1 1 0 0 0 1 0.000 0.000 0 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

41 0 481.541 41 0 1

35 0 496.007 35 22 23

34 0 496.071 34 10 11

42 0 508.454 42 0 18

43 0 960.000 43 0 35

Распечатка выходных данных для моделирования работы участка цеха для **рабочей недели (40 часов)**:

GPSS World Simulation Report - lab2 Model 1.9.1

Sunday, March 10, 2024 17:42:54

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 2400.000 36 3 1

NAME VALUE

A11 10004.000

A2 10006.000

A3 10002.000

AA1 10003.000

AA2 10005.000

AA3 10001.000

SERV 10000.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 121 0 0

2 QUEUE 121 17 0

3 SEIZE 104 0 0

4 DEPART 104 0 0

5 ADVANCE 104 1 0

6 RELEASE 103 0 0

7 QUEUE 103 0 0

8 SEIZE 103 0 0

9 DEPART 103 0 0

10 ADVANCE 103 1 0

11 RELEASE 102 0 0

12 QUEUE 102 0 0

13 SEIZE 102 0 0

14 DEPART 102 0 0

15 ADVANCE 102 0 0

16 RELEASE 102 0 0

17 TERMINATE 102 0 0

18 GENERATE 80 0 0

19 QUEUE 80 12 0

20 SEIZE 68 0 0

21 DEPART 68 0 0

22 ADVANCE 68 0 0

23 RELEASE 68 0 0

24 QUEUE 68 0 0

25 SEIZE 68 0 0

26 DEPART 68 0 0

27 ADVANCE 68 1 0

28 RELEASE 67 0 0

29 QUEUE 67 0 0

30 SEIZE 67 0 0

31 DEPART 67 0 0

32 ADVANCE 67 0 0

33 RELEASE 67 0 0

34 TERMINATE 67 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY

A3 172 0.989 13.806 1 173 0 0 0 29

A11 170 0.850 12.002 1 172 0 0 0 0

A2 170 0.502 7.080 1 171 0 0 0 0

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(-0) RETRY

AA3 29 29 201 2 14.132 168.740 170.436 0

AA1 2 0 170 53 0.503 7.100 10.316 0

AA2 1 0 170 119 0.099 1.401 4.668 0

STORAGE CAP. REM. MIN. MAX. ENTRIES AVL. AVE.C. UTIL. RETRY DELAY

SERV 1 1 0 0 0 1 0.000 0.000 0 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

171 0 2400.425 171 27 28

173 0 2402.455 173 5 6

172 0 2407.314 172 10 11

204 0 2416.617 204 0 1

203 0 2424.850 203 0 18

205 0 4800.000 205 0 35

**Анализ результатов моделирования:**

Таблица 4 - Средняя загрузка станков (в %)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Станок | в течение 8 часов | в течение 5 рабочих дней |
| А1 | 81 | 85 |
| А2 | 49 | 50 |
| А3 | 95 | 99 |

Таблица 5 - Максимальная длина очередей к станкам

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Станок | в течение 8 часов | в течение 5 рабочих дней |
| А1 | 2 | 2 |
| А2 | 1 | 1 |
| А3 | 6 | 29 |

Таблица 6 - Среднее время обработки деталей на станках (в мин.)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Станок | в течение 8 часов | в течение 5 рабочих дней |
| А1 | 11.845 | 12.002 |
| А2 | 7.374 | 7.080 |
| А3 | 13.373 | 13.806 |

По результатам моделирования можно сделать вывод о том, что в течение рабочего 8-часового дня общее число обработанных деталей составляет 35, в течение рабочей недели – 173. Также из результатов видно, что станок А1 загружен оптимально (средний процент использования 85% при очереди длиной в 2), станок А2 загружен на 50%, а станок А3 перегружен (средний процент использования 99% при очереди в 29 и наибольшим среднем времени обработки деталей среди трех станков).

**Выработка рекомендаций к оптимизации процесса:**

Для повышения эффективности работы и оптимизации процесса рассматриваемого участка цеха можно использовать два станка А3. Проверим гипотезу, внеся в программу модели изменения и посмотрев на результаты.

Команда **A STORAGE B** управляет описанием накопителя А емкостью В единиц.

Команда **ENTER A** управляет занятием транзактом емкости в накопителе А.

Команда **LEAVE A** управляет освобождением памяти в накопителе А.

Текст измененной программы:

SERV STORAGE **1**

SIMULATE

A3 STORAGE **2** ; Третий станок моделируем как накопитель

GENERATE **20,3** ; Первый сегмент модели

QUEUE AA3

ENTER A3 ; транзакт занимает емкость в накопителе

DEPART AA3

ADVANCE **10,3**

LEAVE A3 ; освобождаем память накопителя

QUEUE AA1

SEIZE A11

DEPART AA1

ADVANCE **15,5**

RELEASE A11

QUEUE AA2

SEIZE A2

DEPART AA2

ADVANCE **5,2**

RELEASE A2

TERMINATE

GENERATE **30,7** ;Второй сегмент модели

QUEUE AA3

ENTER A3 ; транзакт занимает емкость в накопителе

DEPART AA3

ADVANCE **20,4**

LEAVE A3 ; освобождаем память накопителя

QUEUE AA2

SEIZE A2

DEPART AA2

ADVANCE **10,3**

RELEASE A2

QUEUE AA1

SEIZE A11

DEPART AA1

ADVANCE **7,3**

RELEASE A11

TERMINATE

GENERATE **480** ;Третий сегмент модели (таймер)

TERMINATE **1**

Распечатка выходных данных для моделирования работы участка цеха для **рабочего дня (8 часов)**:

GPSS World Simulation Report - lab2 Model 1 optimised.14.1

Sunday, March 10, 2024 18:37:44

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 480.000 36 2 2

NAME VALUE

A11 10004.000

A2 10006.000

A3 10001.000

AA1 10003.000

AA2 10005.000

AA3 10002.000

SERV 10000.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 23 0 0

2 QUEUE 23 0 0

3 ENTER 23 0 0

4 DEPART 23 0 0

5 ADVANCE 23 0 0

6 LEAVE 23 0 0

7 QUEUE 23 1 0

8 SEIZE 22 0 0

9 DEPART 22 0 0

10 ADVANCE 22 1 0

11 RELEASE 21 0 0

12 QUEUE 21 0 0

13 SEIZE 21 0 0

14 DEPART 21 0 0

15 ADVANCE 21 0 0

16 RELEASE 21 0 0

17 TERMINATE 21 0 0

18 GENERATE 16 0 0

19 QUEUE 16 0 0

20 ENTER 16 0 0

21 DEPART 16 0 0

22 ADVANCE 16 1 0

23 LEAVE 15 0 0

24 QUEUE 15 0 0

25 SEIZE 15 0 0

26 DEPART 15 0 0

27 ADVANCE 15 0 0

28 RELEASE 15 0 0

29 QUEUE 15 1 0

30 SEIZE 14 0 0

31 DEPART 14 0 0

32 ADVANCE 14 0 0

33 RELEASE 14 0 0

34 TERMINATE 14 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY

A11 36 0.909 12.123 1 38 0 0 0 2

A2 36 0.544 7.252 1 0 0 0 0 0

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(-0) RETRY

AA3 1 0 39 39 0.000 0.000 0.000 0

AA1 4 2 38 6 1.043 13.179 15.650 0

AA2 1 0 36 26 0.070 0.931 3.351 0

STORAGE CAP. REM. MIN. MAX. ENTRIES AVL. AVE.C. UTIL. RETRY DELAY

SERV 1 1 0 0 0 1 0.000 0.000 0 0

A3 2 1 0 2 39 1 1.110 0.555 0 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

41 0 486.271 41 0 1

38 0 494.094 38 10 11

39 0 496.718 39 22 23

42 0 502.128 42 0 18

43 0 960.000 43 0 35

Распечатка выходных данных для моделирования работы участка цеха для **рабочей недели (40 часов)**:

Sunday, March 10, 2024 18:35:43

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 2400.000 36 2 2

NAME VALUE

A11 10004.000

A2 10006.000

A3 10001.000

AA1 10003.000

AA2 10005.000

AA3 10002.000

SERV 10000.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 119 0 0

2 QUEUE 119 0 0

3 ENTER 119 0 0

4 DEPART 119 0 0

5 ADVANCE 119 0 0

6 LEAVE 119 0 0

7 QUEUE 119 1 0

8 SEIZE 118 0 0

9 DEPART 118 0 0

10 ADVANCE 118 1 0

11 RELEASE 117 0 0

12 QUEUE 117 0 0

13 SEIZE 117 0 0

14 DEPART 117 0 0

15 ADVANCE 117 0 0

16 RELEASE 117 0 0

17 TERMINATE 117 0 0

18 GENERATE 79 0 0

19 QUEUE 79 0 0

20 ENTER 79 0 0

21 DEPART 79 0 0

22 ADVANCE 79 0 0

23 LEAVE 79 0 0

24 QUEUE 79 0 0

25 SEIZE 79 0 0

26 DEPART 79 0 0

27 ADVANCE 79 1 0

28 RELEASE 78 0 0

29 QUEUE 78 0 0

30 SEIZE 78 0 0

31 DEPART 78 0 0

32 ADVANCE 78 0 0

33 RELEASE 78 0 0

34 TERMINATE 78 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY

A11 196 0.953 11.667 1 197 0 0 0 1

A2 196 0.577 7.062 1 198 0 0 0 0

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(-0) RETRY

AA3 1 0 198 198 0.000 0.000 0.000 0

AA1 5 1 197 31 1.278 15.572 18.480 0

AA2 1 0 196 137 0.094 1.147 3.811 0

STORAGE CAP. REM. MIN. MAX. ENTRIES AVL. AVE.C. UTIL. RETRY DELAY

SERV 1 1 0 0 0 1 0.000 0.000 0 0

A3 2 2 0 2 198 1 1.145 0.573 0 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

197 0 2400.102 197 10 11

198 0 2405.566 198 27 28

201 0 2407.331 201 0 1

200 0 2410.402 200 0 18

202 0 4800.000 202 0 35

Внесенные изменения повлияли на результаты моделирования следующим образом: использование двух станков А3 привело к ликвидации очереди к данному станку, средняя загрузка станков А3 в течение рабочей недели снизилась до 57% (что и следовало ожидать). При этом перераспределилась нагрузка на станки А1 и А2: при средней загрузке в 95% максимальная длина очереди для обработки деталей на станке А1 составляет 5, а при средней загрузке 58% на станке А2 максимальная длина очереди 1. Такое моделирование структуры участка цеха при заданном потоке деталей является более оптимальным по сравнению с изначальным.

# **ВЫВОДЫ**

В ходе выполнения лабораторной работы был изучен язык GPSS, с его помощью была реализована имитационная модель работы участка цеха, состоящего из нескольких станков и обрабатывающего два потока деталей различного типа. Были также определены для рабочего дня (8 часов) и рабочей недели (5 дней при односменном режиме) средняя загрузка каждого станка, среднее время обработки деталей каждого типа, длина очередей на обработку для станков. Был определен текущий объем производства: 35 деталей за рабочий день, 173 – за рабочую неделю.

Результаты работы позволили сделать вывод о том, что станок А1 загружен оптимально, достигая среднего процента использования 85% при длине очереди в 2 позиции. По сравнению с этим, станок А2 загружен всего лишь на 50%. С другой стороны, станок А3 оказался перегруженным, демонстрируя средний процент использования в 99% при очереди в 29, а также имея наивысшее среднее время обработки деталей среди трех станков.

Для оптимизации процесса обработки деталей на данном участке цеха предложена рекомендация к использованию двух станков А3 с целью перераспределения загрузки между станками.

Внесенные изменения позитивно отразились на результаты моделирования следующим образом: использование двух станков А3 позволило избавиться от очереди к данному станку, что привело к снижению средней загрузки станков А3 до 57% за рабочую неделю. В то же время, нагрузка на станки А1 и А2 была перераспределена: при средней загрузке в 95% на станке А1 максимальная длина очереди для обработки деталей увеличилась до 5, в то время как при средней загрузке 58% на станке А2 максимальная длина очереди составляет 1. Такая модификация структуры цеха при данном потоке деталей оказалась более оптимальной по сравнению с начальной.