



**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	A3	A1	A2	A3	A2	A1

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, и специализированные 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
A1	81	85
A2	49	50

A3	95	99
----	----	----

Таблица 5 - Максимальная длина очередей к станкам

Станок	в течение 8 часов	в течение 5 рабочих дней
A1	2	2
A2	1	1
A3	6	29

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

Станок	в течение 8 часов	в течение 5 рабочих дней
A1	11.845	12.002
A2	7.374	7.080
A3	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 A1 загружен оптимально (средний процент использования 85% при очереди длиной в 2), станок A2 загружен на 50%, а станок A3 перегружен (средний процент использования 99% при очереди в 29 и наибольшим средним временем обработки деталей среди трех станков).

Выработка рекомендаций к оптимизации процесса:

Для повышения эффективности работы и оптимизации процесса рассматриваемого участка цеха можно использовать два станка A3. Проверим гипотезу, внося в программу модели изменения и посмотрев на результаты.

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

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

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

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
SERV

10002.000
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.