

### 3.1

На рабочее место одного рабочего поступают заготовки через каждые  $(8 \pm 4)$  минут, время на изготовление одной детали –  $(7 \pm 1)$  минут. Время работы – 1 смена. Дисциплина обслуживания: первый пришел – первым 19 обслужен. Составить модель работы рабочего, сформировать информацию о загрузке рабочего и об очереди.

За единицу модельного времени принимаем 1 минуту, тогда время моделирования будет 480 единиц.

*Программа*

```

GENERATE 8,4
QUEUE QMASTER
SEIZE MASTER
DEPART QMASTER
ADVANCE 7,1
RELEASE MASTER
TERMINATE
GENERATE 480
TERMINATE 1
START 1
    
```

<i>Выходная статистика</i>									
START TIME		END TIME		BLOCKS	FACILITIES	STORAGES			
0.000		480.000		9	1	0			
LABEL	LOC	BLOCK TYPE		ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY		
	1	GENERATE		59		0	0		
	2	QUEUE		59		0	0		
	3	SEIZE		59		0	0		
	4	DEPART		59		0	0		
	5	ADVANCE		59		1	0		
	6	RELEASE		58		0	0		
	7	TERMINATE		58		0	0		
	8	GENERATE		1		0	0		
	9	TERMINATE		1		0	0		
FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
MASTER	59	0.848	6.898	1	60	0	0	0	0
QUEUE	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)		RETRY	
QMASTER	2	0	59	25	0.238	1.933	3.354	0	

Анализ статистики показывает, что рабочий изготовил за смену 58 деталей, при этом его загрузка составила 84,8 %, а среднее время изготовления одной детали – 6,898 минут. Средняя длина очереди 0,238 деталей, среднее время ожидания заготовки в очереди 1,933 минуты; максимальная длина очереди 2 детали; 25 заготовок сразу попали к рабочему (нулевое вхождение в очередь); без учёта этих заготовок среднее время нахождения детали в очереди составило 3,354 минуты.

### 3.5

Пусть на одном обрабатывающем центре обрабатываются две группы деталей, причем детали первого типа имеют более низкий приоритет, чем детали второго типа. Для деталей первого типа интервалы поступления ( $420 \pm 360$ ) с, интервалы обслуживания ( $300 \pm 90$ ) с; для деталей второго типа интервалы поступления ( $360 \pm 240$ ) с, интервалы обслуживания ( $100 \pm 30$ ) с. Время работы – 1 смена, т.е. 28800 с.

; Модуль обработки первого типа деталей

```
GENERATE 420, 360,,, 1
```

```
QUEUE OTOQ
```

```
SEIZE OTO
```

```
DEPART OTOQ
```

```
ADVANCE 300, 90
```

```
RELEASE OTO
```

```
TERMINATE
```

; Модуль обработки второго типа деталей

```
GENERATE 360, 240,,, 2
```

```
QUEUE OTOQ
```

```
SEIZE OTO
```

```
DEPART OTOQ
```

```
ADVANCE 100, 30
```

```
RELEASE OTO
```

```
TERMINATE
```

; Модуль таймера

```
GENERATE 28800
```

```
TERMINATE 1
```

```
START 1
```

Анализ выходной статистики показывает, что количество обработанных деталей равно 140, коэффициент загрузки обрабатывающего центра равен 0,932, максимальная очередь равна 3, средняя очередь равна 0,77.

### 3.7

Изделия с интервалами  $(5 \pm 2)$  мин. поступают в пункт технического контроля – ожидают в очереди – параллельно обслуживаются двумя контролерами по  $(9 \pm 3)$  мин. – после этого 92 % уходят на упаковку – 8 % в очередь к наладчику – обслуживаются наладчиком в течение  $(30 \pm 10)$  мин. и снова поступают в пункт технического контроля. Промоделировать работу участка в течение 5 недель при пятидневной неделе и двухсменном режиме работы. При единице модельного времени в 1 минуту время моделирования будет  $5 \times 5 \times 2 \times 8 \times 6 = 24000$  мин.

Особенность модели: одно МКУ (2 контролера) и одно одноканальное устройство (1 наладчик).

Программа модели:

CON	STORAGE	2
	GENERATE	5, 2
BETTA	QUEUE	CONTR
	ENTER	CON
	DEPART	CONTR
	ADVANCE	9, 3
	LEAVE	CON
	TRANSFER	.008, , ALFA
	TERMINATE	
ALFA	QUEUE	NALAD
	SEIZE	NAL
	DEPART	NALAD
	ADVANCE	30, 10
	RELEASE	NAL
	TRANSFER	, BETTA
	GENERATE	24000
	TERMINATE	1
	START	1

### 3.12

Рассмотрим участок сборки деталей с обжигом при 4, 5 и 6 транзактах–сборщиках. Пусть модельное время равно 5 дням по 8 часов в день и при единице модельного времени, равной 1 мин., составляет 2400 единиц.

KSB	EQU	4; Число сборщиков равно 4
	GENERATE	,,, KSB
SBOR	ADVANCE	30,5; Сборка деталей
	SEIZE	ОТО
	ADVANCE	8,2; Обжиг деталей
	RELEASE	ОТО
	TRANSFER	,SBOR
	GENERATE	2400
	TERMINATE	1
	START	1
KSB	EQU	5; Число сборщиков равно 5
	GLEAR	
	START	1
KSB	EQU	6; Число сборщиков равно 6
	GLEAR	
	START	1

### 3.12

В цехе 50 станков с ЧПУ работают 50 недель по 5 дней в неделю при односменном режиме. Нарботка на отказ станка  $(150 \pm 25)$  час. Время на ремонт одного станка равно  $(7 \pm 3)$  час. Станки, вышедшие из строя, ремонтируются несколькими наладчиками. После этого отремонтированные станки пополняют резерв и включаются в производство.

При единице модельного времени в 1 час модельное время будет  $50 \times 5 \times 8 = 2000$  единиц. Особенности модели: два многоканальных устройства (наладчики и станки); в процессе моделирования переопределяются операнды, связанные с числом наладчиков и количеством резервных машин; информация о работе станков с ЧПУ заносится в матрицу.

; Задание исходных данных		
KRS	EQU	3 ; Количество резервных станков = 3
STROK	EQU	1 ; Номер строки матрицы
STOLB	EQU 1 ;	Номер столбца матрицы
ZAGRS	MATRIX	, 3, 3; Матрица загрузки станков
ZAGRN	MATRIX	, 3, 3; Матрица загрузки наладчиков
STAN	STORAGE	50; Количество станков = 50
NAL	STORAGE	3 ; Число наладчиков = 3
; Моделирование работы цеха		
	GENERATE	, , , (50 + KRS)
MET1	ENTER	STAN
	ADVANCE	150, 25
	LEAVE	STAN
	ENTER	NAL
	ADVANCE	7, 3
	LEAVE	NAL
	TRANSFER	, MET1
; Моделирование завершения работы цеха и формирования результатов		
	GENERATE	2000
	MSAVEVALUE	ZAGRS, STROK, STOLB, (SR \$ STAN/1000)
	MSAVEVALUE	ZAGRN, STROK, STOLB, (SR \$ NAL/1000)
	TERMINATE	1
	START	1, NP; Резервных станков 3, наладчиков 3
KRS	EQU	4
STOLB	EQU	2
	CLEAR	OFF
	START	1, NP; Резервных станков 4, наладчиков 3
; Моделирование работы цеха с 5 резервными станками и 3 наладчиками		
KRS	EQU	5
STOLB	EQU	3
	CLEAR	OFF
	START	1, NP; Резервных станков 5, наладчиков 3
NAL	STORAGE	4
KRS	EQU	3
STROK	EQU	2
STOLB	EQU	1
	CLEAR	OFF
	START	1, NP; Резервных станков 3, наладчиков 4
KRS	EQU	4
STOLB	EQU	2
	CLEAR	OFF
	START	1, NP; Резервных станков 4, наладчиков 4
KRS	EQU	5
STOLB	EQU	3
	CLEAR	OFF
	START	1, NP; Резервных станков 5, наладчиков 4
NAL	STORAGE	5
KRS	EQU	3
STROK	EQU	3
STOLB	EQU	1
	CLEAR	OFF
	START	1, NP; Резервных станков 3, наладчиков 5
KRS	EQU	4
STOLB	EQU	2
	CLEAR	OFF
	START	1, NP; Резервных станков 4, наладчиков 5
KRS	EQU	5
STOLB	EQU	3
	CLEAR	OFF
	START	1; Резервных станков 5, наладчиков 5

### 3.12

В предыдущем примере в самом начале работы цеха (до  $150 - 25 = 125$  час.) все станки будут исправны. Следовательно статистика будет не достоверной. Для оценки переходного режима промоделируем работу цеха при четырех наладчиках и четырех резервных станках в течение десяти декад со сбросом статистики с помощью команды RESET через каждую декаду, т.е. через 80 час.

KRS	EQU	4;	Количество резервных станков = 4
STROK	EQU	1;	Номер строки матрицы
STOLB	EQU	1;	Номер столбца матрицы
ZAGRS	MATRIX	, 10, 1;	Матрица загрузки станков
ZAGRN	MATRIX	, 10, 1;	Матрица загрузки наладчиков
STAN	STORAGE	50;	Количество станков = 50
NAL	STORAGE	4;	Число наладчиков = 4
MET1	GENERATE	...(50+KRS)	
	ENTER	STAN	
	ADVANCE	150,25	
	LEAVE	STAN	
	ENTER	NAL	
	ADVANCE	7,3	
	LEAVE	NAL	
	TRANSFER	,MET1	
	GENERATE	80	
	MSAVEVALUE	ZAGRS, STROK, STOLB, (SR\$STAN/1000)	
	MSAVEVALUE	ZAGRN, STROK, STOLB, (SR\$NAL/1000)	
	TERMINATE	1	
	START	1,NP	
STROK	EQU	2	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	3	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	4	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	5	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	6	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	7	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	8	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	9	
	RESET		
	START	1,NP	
STROK	EQU	10	
	RESET		
	START	1	

Анализ этой информации показывает, что в течение десяти декад режим переходный (загрузка станков – неустановившаяся). В связи с этим для получения достоверных результатов рекомендуется в команде START в операнде A заносить не единицу, а число 10.

#### 4.1

Пусть производственный участок работает 1 смену (28800 с). Поступающие детали подчиняются пуассоновскому закону с интенсивностью 12 поступлений в час (т.е. 300 с на 1 поступление). Обработка на одном станке с экспоненциальным временем, но среднее время  $t$  зависит от количества деталей в очереди  $l$ : при отсутствии очереди  $t=330$  с; при  $l = 1$  и  $2$  время  $t=300$  с; при  $l = 3; 4; 5$   $t=270$  с; при  $l \geq 6$   $t=240$  с.

QVEF	FUNCTION	Q\$ABC, D4
0,330 / 2, 300 / 5, 270 / 6, 240		
	GENERATE	(EXPONENTIAL (1, 0, 300))
	QUEUE	ABC
	SEIZE	OTO
	DEPART	ABC
	ADVANCE	(EXPONENTIAL (1,0, FN\$QVEF))
	RELEASE	OTO
	TERMINATE	
	GENERATE	28800
	TERMINATE	1
	START	1

#### 4.2

Рассмотрим процесс сборки деталей с обжигом (см. пример 3.3). Пусть время сборки ( $30 \pm 5$ ) мин, время обжига ( $8 \pm 2$ ) мин, зарплата сборщика 30 единиц в день, стоимость печи 80 единиц в день, стоимость детали – 5 единиц. Рассчитать среднюю дневную прибыль, в одном прогоне модели исследовать случаи с четырьмя, пятью и шестью сборщиками. Модельное время – 1 неделя.

Определим операнд D в блоке GENERATE косвенно через сохраняемую величину с именем RAB.

Средняя дневная прибыль = 5 # число ежедневно изготовленных деталей – дневные расходы.

Если в поле метки блока RELEASE OTO записать имя PLAN, то N \$ PLAN есть число готовых деталей за весь плановый период, т.е. за 5 дней, а N \$ PLAN/5 – за 1 день.

Затраты за 1 день = стоимость печи (80) + зарплата рабочих (30 # X\$RAB).

Следовательно, дневная прибыль, выраженная арифметической переменной с именем PRIB будет:

PRIB VARIABLE 5 # N\$PLAN / 5-80-30 # X\$RAB

Для подсчета средней дневной выручки в модуль таймера поместим блок SAVEVALUE с операндами A = INDEX и B = V\$PRIB.

	INITIAL	X\$RAB, 4
PRIB	VARIABLE	5#N\$PLAN/5-80-30#X\$RAB
	GENERATE	..., X\$RAB
SBOR	ADVANCE	30, 5
	SEIZE	OTO
	ADVANCE	8, 2
PLAN	RELEASE	OTO
	TRANSFER	, SBOR
	GENERATE	2400
	SAVEVALUE	INDEX, V\$PRIB
	TERMINATE	1
	START	1
	INITIAL	X\$RAB, 5
	CLEAR	OFF
	START	1
	INITIAL	X\$RAB, 6
	CLEAR	OFF
	START	1

Выходные данные, касающиеся прибыли:

SAVEVALUE	VALUE	SAVEVALUE	VALUE
RAB	4	INDEX	35
RAB	5	INDEX	50
RAB	6	INDEX	35

Эта статистика показывает, что при пяти сборщиках будет наибольшая дневная прибыль.

#### 5.4

В одном обрабатывающем центре обрабатываются детали трех типов. Детали типа 1 поступают с интервалами от 5 до 10 мин, типа 2 – от 8 до 12 мин, типа 3 – от 10 до 14 мин. Обработка детали типа 1 занимает 7,5 мин, типа 2 – 10 мин, типа 3 – 12 мин. Создать модель работы обрабатывающего центра в течение 8 часов.

GENERATE	7.5, 2.5	
ASSIGN	1, 1	
TRANSFER	, OBR	
GENERATE	10, 2	
ASSIGN	1, 2	
TRANSFER	, OBR	
GENERATE	12, 2	
ASSIGN	1, 3	
OBR	QUEUE	QOBR
	SEIZE	OBRC
	DEPART	QOBR
	TEST E	P1, 1, TIP2
	ADVANCE	7.5
	TRANSFER	, KONEC
TIP2	TEST E	P1, 2, TIP3
	ADVANCE	10
	TRANSFER	, KONEC
TIP3	ADVANCE	12
KONEC	RELEASE	OBRC
	TERMINATE	
	GENERATE	480
	TERMINATE	1
	START	1

#### 5.4

На участок контроля поступает поток изделий с интервалами от 5 до 7 мин. На участке три идентичных станда. Изделие занимает свободный стенд, если такого нет, то направляется к стенду с наименьшей очередью. Время контроля подчиняется нормальному распределению с матожиданием 18 мин и стандартным отклонением 3 мин. После контроля изделия уходят с участка контроля для проведения других операций. Промоделировать работу участка при программе контроля 5000 изделий. С целью улучшения организации работы участка протабулировать информацию о времени нахождения изделий в очередях к стандам.

OCH1	QTABLE	1,10,10,8
OCH2	QTABLE	2,10,10,8
OCH3	QTABLE	3,10,10,8
	GENERATE	6,1
	SELECT E	1,1,3,0,F,ALFA
BETTA	QUEUE	P1
	SEIZE	P1
	DEPART	P1
	ADVANCE	(NORMAL(2,18,3))
	RELEASE	P1
	TERMINATE	1
ALFA	SELECT MIN	1,1,3,,Q
	TRANSFER	,BETTA
	START	5000

## 6.4

На участке контроля и наладки изделий один стенд для одного изделия. Режим работы участка – трехсменный по 24 часа в сутки. Обычные (так называемые «фоновые») изделия поступают на участок по пуассоновскому закону со средним временем 48 часов, на их обслуживание уходит  $(3 \pm 0,5)$  часа. «Плановые» изделия, необходимые для дальнейшего использования в производстве в данный плановый период, поступают по пуассоновскому закону со средним временем 24 часа, их обслуживание – экспоненциальное со средним временем 2 часа. Плановые изделия могут захватить стенд, после их обслуживания фоновые изделия дообслуживаются. Ежедневно через 8 часов после начала работы на участок поступают более приоритетные изделия и занимают стенд на 2 часа.

Составить модель работы участка в течение 25 суток.

Особенности модели следующие. В модуле обычных изделий транзакты занимают и освобождают стенд с помощью блоков SEIZE STEND и RELEASE STEND; в модуле плановых изделий транзакты захватывают и освобождают стенд с помощью блоков PREEMPT STEND (режим прерывания) и RETURN STEND; в модуле более приоритетных изделий захват и освобождение стенда происходят с использованием блока PREEMPT STEND, PR (режим приоритетный) и RETURN STEND.

При единице модельного времени в одну минуту, модельное время составляет  $25 \times 3 \times 8 \times 60 = 36000$  единиц.

GENERATE	(EXPONENTIAL (1, 0, 2880))
SEIZE	STEND
ADVANCE	180, 30
RELEASE	STEND
TERMINATE	
GENERATE	(EXPONENTIAL (2, 0, 1440))
PREEMPT	STEND
ADVANCE	(EXPONENTIAL (3, 0, 120))
RETURN	STEND
TERMINATE	
GENERATE	(EXPONENTIAL (4, 0, 1440)) , , 480, , 1
PREEMPT	STEND, PR
ADVANCE	120
RETURN	STEND
TERMINATE	
GENERATE	36000
TERMINATE	1
START	1

#### 6.4

Составить модель работы системы с реализацией дисциплины обслуживания FIFO, если транзакты генерируются с интервалами от 17,5 до 22,5 единиц, распределенными по равномерному закону, а задерживаются при обработке в одноканальном устройстве по экспоненциальному закону со средним значением 10 единиц.

Программа обработки 10000 транзактов с использованием блоков LINK и UNLINK при выводе из СП по одному транзакту имеет вид:

	GENERATE	20, 2.5
	LINK	ALFA, FIFO, MET1
MET1	SEIZE	ROBOT
	ADVANCE	(EXPONENTIAL (1, 0, 10))
	RELEASE	ROBOT
	UNLINK	ALFA, MET1, 1
	TERMINATE	1
	START	10000

1. Общие сведения о моделировании сложных систем. Классификация моделей.
2. Понятие о системах массового обслуживания и их характеристиках.
3. Одноканальная разомкнутая система с простейшими потоками.
4. Многоканальная разомкнутая система с простейшими потоками.
5. Одноканальная замкнутая система с простейшими потоками.
6. Многоканальная замкнутая система с простейшими потоками.
7. Особенности стохастических сетей.
8. Общие сведения о языке моделирования GPSS.
9. Таймер модельного времени. Способы программирования окончания моделирования.
10. Способы представления моделей с использованием пакета GPSS World.
11. Операторы создания, уничтожения и задержки транзактов.
12. Оператора занятия и освобождения одноканальных устройств.
13. Регистраторы очередей.
14. Внутренняя логика работы пакета GPSS.
15. Реализация дисциплины: первым пришел – обслужен внутри приоритетного класса.
16. Моделирование многоканальных устройств.
17. Изменение маршрутов движения транзактов. Режимы безусловной и статической передачи.
18. Изменение маршрутов движения транзактов. Режимы VOTN и ALL.
19. Управляющие операторы очистки и сброса статистики.
20. Стандартные числовые атрибуты.
21. Переменные пользователя. Пример применения.
22. Генераторы случайных чисел. Использование дискретных равномерных распределений.
23. Функции типа D.

24. Функции типа С.
25. Функции типа E,L,M.
26. Моделирование пуассоновских потоков.
27. Арифметические переменные.
28. Моделирование нормального распределения.
29. Линейные сохраняемые величины.
30. Матричные сохраняемые величины.
31. Булевы переменные.
32. Проверка числовых выражений.
33. Параметры транзактов, изменение их значений и уровня приоритетов.
34. Системы с параллельно работающими идентичными устройствами и разделенными очередями.
35. Моделирование таблиц.
36. Моделирование захвата устройств.
37. Моделирование недоступности устройств.
38. Применение списков пользователя.
39. Оператор SPLIT.
40. Операторы соединения, сборки и синхронизации.
41. Моделирование логического управления.
42. Проверка логических состояний объектов модели.
43. Моделирование замкнутой гибкой линии механообработки.
44. Моделирование разомкнутой гибкой линии механообработки.
45. Моделирование цикла.
46. Моделирование гибкого участка штамповки малогабаритных деталей.
47. Моделирование гибкого участка штамповки крупногабаритных деталей. Разработка алгоритма.
48. Моделирование гибкого участка штамповки крупногабаритных деталей. Разработка программ модулей счетчиков заготовок, пакетов заготовок, тары для изделий.