Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный

университет» (ННГАСУ)

Кафедра информационных систем и технологий

**Расчетно-графическая работа**

по дисциплине

**Моделирование систем**

на тему:

**Имитационное моделирование. Построение и анализ моделей систем массового обслуживания.**

Выполнила студентка

4 курса,

группы ИС-29 Хазова А.С.

Проверила

канд. техн. наук,

доцент: Родькина О. Я.

Нижний Новгород

2023 г.

**Задание**

Необходимо промоделировать работу участка цеха, состоящего из нескольких станков и обрабатывающего два потока деталей различного типа. Маршрут обработки деталей двух типов представлен на рис. 1. В таб.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 таб.2 и таб.3.

**детали I-го типа**

Операция 3(А3)

Операция 2(А1)

Операция 1(А2)

**детали II-го типа**

**Склад**

Операция 6(А3)

Операция 5(А2)

Операция 4(А1)

Рисунок 1.

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.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Таблица 1. Распределение операций по станкам** | | | | | | | | | | | | | |
|  | Операция 1 | | Операция 2 | | Операция 3 | | Операция 4 | Операция 5 | | Операция 6 | | |
|  | А2 | | А1 | | А3 | | А1 | А2 | | А3 | | |
| **Таблица 2.** | | | | | | | | | | |
|  | Интервалы времени поступления деталей первого типа (мин.) | | | | | | | Интервалы времени поступления деталей второго типа (мин.) | | | |
|  | 15 + 4 | | | | | | | 15 + 6 | | | |
| **Таблица 3.** | | | | | | | | | | | | | | |
|  | 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.) | | | |
|  | 10 + 3 | 25 + 8 | | | | 5 + 2 | | 15 + 5 | 18 + 3 | | | 15 + 5 | | | |
|  | | | | | | | |
| Элементы GPSS | | | | Назначение | | | |
| Транзакты:  1-й сегмент модели  2-й сегмент модели  3-й сегмент модели | | | | Детали первого типа  Детали второго типа  Таймер | | | |
| Станки:  А1 А2  А3 | | | | Выполнение  операции 1 и операции 4  операции 2 и операции 6  операции 3 и операции 5 | | | |
| Очереди:  АА1 АА2  АА3 | | | | Общая очередь к станку А1 Общая очередь к станку А2  Общая очередь к станку А3 | | | |

Единица времени в модели - 1 мин.

Текст программы

GENERATE 15,4

QUEUE AA2

SEIZE STAN2

DEPART AA2

ADVANCE 10,3

RELEASE STAN2

QUEUE AA1

SEIZE STAN1

DEPART AA1

ADVANCE 25,8

RELEASE STAN1

QUEUE AA3

SEIZE STAN3

DEPART AA3

ADVANCE 5,2

RELEASE STAN3

TERMINATE

GENERATE 15,6

QUEUE AA1

SEIZE STAN1

DEPART AA1

ADVANCE 15,5

RELEASE STAN1

QUEUE AA2

SEIZE STAN2

DEPART AA2

ADVANCE 18,3

RELEASE STAN2

QUEUE AA3

SEIZE STAN3

DEPART AA3

ADVANCE 15,5

RELEASE STAN3

TERMINATE

GENERATE 480

TERMINATE 1

После запуска модели (через START 1, так как нам нужно учитывать каждую единицу модельного времени в системе), система GSSP выдает нам отчет о ее работе в следующем виде:

GPSS World Simulation Report - Untitled.2.1

Sunday, December 03, 2023 10:42:12

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 480.000 36 3 0

NAME VALUE

AA1 10002.000

AA2 10000.000

AA3 10004.000

STAN1 10003.000

STAN2 10001.000

STAN3 10005.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 30 0 0

2 QUEUE 30 4 0

3 SEIZE 26 0 0

4 DEPART 26 0 0

5 ADVANCE 26 0 0

6 RELEASE 26 0 0

7 QUEUE 26 15 0

8 SEIZE 11 0 0

9 DEPART 11 0 0

10 ADVANCE 11 1 0

11 RELEASE 10 0 0

12 QUEUE 10 0 0

13 SEIZE 10 0 0

14 DEPART 10 0 0

15 ADVANCE 10 0 0

16 RELEASE 10 0 0

17 TERMINATE 10 0 0

18 GENERATE 30 0 0

19 QUEUE 30 18 0

20 SEIZE 12 0 0

21 DEPART 12 0 0

22 ADVANCE 12 0 0

23 RELEASE 12 0 0

24 QUEUE 12 0 0

25 SEIZE 12 0 0

26 DEPART 12 0 0

27 ADVANCE 12 1 0

28 RELEASE 11 0 0

29 QUEUE 11 0 0

30 SEIZE 11 0 0

31 DEPART 11 0 0

32 ADVANCE 11 0 0

33 RELEASE 11 0 0

34 TERMINATE 11 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

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

STAN2 38 0.941 11.892 1 23 0 0 0 4

STAN1 23 0.962 20.072 1 24 0 0 0 33

STAN3 21 0.458 10.467 1 0 0 0 0 0

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

AA2 6 4 42 4 2.877 32.884 36.345 0

AA1 33 33 56 1 15.117 129.576 131.931 0

AA3 1 0 21 16 0.051 1.154 4.848 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

63 0 481.947 63 0 1

62 0 482.938 62 0 18

24 0 488.345 24 10 11

23 0 495.630 23 27 28

64 0 960.000 64 0 35

Чтение отчета:

Первое на что следует обратить внимание в данном отчете, что модель построена на 3 станка (STAN1, STAN2, STAN3) с соответствующими очередями (AA1, AA2, AA3), время моделирования – 8 часов (480 минут) модельного времени. По таблице FACILITY можем увидеть, что второй станок являются самыми загруженным. Так же можно заметить (по столбцу UTIL – коэффициент использования) что как станок 2, так и станок 1 имеют высокий коэффициент выработки, то есть очень загружены, а вот станок 3 наоборот простаивает больше пятидесяти процентов времени. Далее смотрим на таблицу QUEUE, в столбце AVE.TIME показано среднее значение простоя в очереди, и видим, что для станка 1 очередь имеет огромные значения среднего ожидания (по 2,2 часа детали стоят в ожидании допуска к станку), что говорит о том, что станок не справляется с потоком деталей. Количество элементов в очереди в единицу времени тоже очень велико для первого станка. Так же можно посмотреть на столбец AVE.(–0) – среднее время пребывания транзактов без нулевых входов – тут среднее время еще выше, так как не учитываются первые входы деталей на станок, что говорит о том, что станки исправны и сами по себе не создают задержек на входе и проблемой является количество деталей, которое мы хотим обрабатывать на этом станке.

Производительность данной модели цеха предприятия за 8 часов (смотрим на выходные данные – строчки 17 и 34): 10+11=21 единица вышедших целиком с производства деталей.

Если посмотреть работу модели за 5 рабочих дней (то есть 5 дней по 8 часов работы, 2400 минут модельного времени), то мы увидим пропорциональные результаты отчета:

Sunday, December 03, 2023 11:43:38

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 2400.000 36 3 0

NAME VALUE

AA1 10002.000

AA2 10000.000

AA3 10004.000

STAN1 10003.000

STAN2 10001.000

STAN3 10005.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 158 0 0

2 QUEUE 158 19 0

3 SEIZE 139 0 0

4 DEPART 139 0 0

5 ADVANCE 139 1 0

6 RELEASE 138 0 0

7 QUEUE 138 83 0

8 SEIZE 55 0 0

9 DEPART 55 0 0

10 ADVANCE 55 0 0

11 RELEASE 55 0 0

12 QUEUE 55 0 0

13 SEIZE 55 0 0

14 DEPART 55 0 0

15 ADVANCE 55 0 0

16 RELEASE 55 0 0

17 TERMINATE 55 0 0

18 GENERATE 161 0 0

19 QUEUE 161 97 0

20 SEIZE 64 0 0

21 DEPART 64 0 0

22 ADVANCE 64 1 0

23 RELEASE 63 0 0

24 QUEUE 63 7 0

25 SEIZE 56 0 0

26 DEPART 56 0 0

27 ADVANCE 56 0 0

28 RELEASE 56 0 0

29 QUEUE 56 0 0

30 SEIZE 56 0 0

31 DEPART 56 0 0

32 ADVANCE 56 1 0

33 RELEASE 55 0 0

34 TERMINATE 55 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

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

STAN2 195 0.988 12.164 1 280 0 0 0 26

STAN1 119 0.992 20.014 1 128 0 0 0 180

STAN3 111 0.454 9.823 1 112 0 0 0 0

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

AA2 27 26 221 4 13.641 148.141 150.871 0

AA1 180 180 299 1 86.594 695.072 697.405 0

AA3 1 0 111 85 0.046 1.003 4.281 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

321 0 2406.703 321 0 1

280 0 2408.257 280 5 6

112 0 2410.611 112 32 33

128 0 2411.898 128 22 23

322 0 2417.647 322 0 18

323 0 4800.000 323 0 35

Загруженность станка 1 стала равна почти 100 процентам, тем временем среднее время очереди увеличилось почти в пять раз - до 700 минут, что означает, что детали в очереди в среднем ждут по 11 с половиной часов. Линейно (примерно в 5 раз) увеличилась и производительность цеха – 55+55=110 деталей. Делаем вывод, что увеличение времени моделирования дает лишь линейное изменение пропорциональное изменению времени что не дает увеличения производительности цеха.

По всем этим данным можно сделать следующее предположение: для увеличения производительности предприятия необходимо поставить дубликат первого станка. Это увеличит скорость обработки деталей, за счет разгрузки очереди и вследствие приведет к увеличению производительности всего предприятия. Для проверки нашей гипотезы необходимо исправить модель и запустить ее еще раз.

Для создания второй модели необходимо создать копию первого станка, путем добавления блоков ENTER и LEAVE, тем самым мы создаем многоканальное устройство – станок 1, с помощью STORAGE 2 говорим программе что STAN1 будет 2 канала:

Код программы:

STAN1 STORAGE 2

GENERATE 15,4

QUEUE AA2

SEIZE STAN2

DEPART AA2

ADVANCE 10,3

RELEASE STAN2

QUEUE AA1

ENTER STAN1

DEPART AA1

ADVANCE 25,8

LEAVE STAN1

QUEUE AA3

SEIZE STAN3

DEPART AA3

ADVANCE 5,2

RELEASE STAN3

TERMINATE

GENERATE 15,6

QUEUE AA1

ENTER STAN1

DEPART AA1

ADVANCE 15,5

LEAVE STAN1

QUEUE AA2

SEIZE STAN2

DEPART AA2

ADVANCE 18,3

RELEASE STAN2

QUEUE AA3

SEIZE STAN3

DEPART AA3

ADVANCE 15,5

RELEASE STAN3

TERMINATE

GENERATE 480

TERMINATE 1

Отчет по запуску модели 2 на 8 часов:

GPSS World Simulation Report - Untitled.13.1

Sunday, December 03, 2023 13:04:53

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 480.000 36 2 1

NAME VALUE

AA1 10003.000

AA2 10001.000

AA3 10004.000

STAN1 10000.000

STAN2 10002.000

STAN3 10005.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 29 0 0

2 QUEUE 29 12 0

3 SEIZE 17 0 0

4 DEPART 17 0 0

5 ADVANCE 17 1 0

6 RELEASE 16 0 0

7 QUEUE 16 0 0

8 ENTER 16 0 0

9 DEPART 16 0 0

10 ADVANCE 16 1 0

11 LEAVE 15 0 0

12 QUEUE 15 0 0

13 SEIZE 15 0 0

14 DEPART 15 0 0

15 ADVANCE 15 0 0

16 RELEASE 15 0 0

17 TERMINATE 15 0 0

18 GENERATE 31 0 0

19 QUEUE 31 0 0

20 ENTER 31 0 0

21 DEPART 31 0 0

22 ADVANCE 31 1 0

23 LEAVE 30 0 0

24 QUEUE 30 13 0

25 SEIZE 17 0 0

26 DEPART 17 0 0

27 ADVANCE 17 0 0

28 RELEASE 17 0 0

29 QUEUE 17 0 0

30 SEIZE 17 0 0

31 DEPART 17 0 0

32 ADVANCE 17 1 0

33 RELEASE 16 0 0

34 TERMINATE 16 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

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

STAN2 34 0.957 13.512 1 36 0 0 0 25

STAN3 32 0.685 10.268 1 33 0 0 0 0

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

AA2 25 25 59 2 11.485 93.434 96.712 0

AA1 3 0 47 23 0.366 3.740 7.325 0

AA3 1 0 32 19 0.176 2.635 6.487 0

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

STAN1 2 0 0 2 47 1 1.728 0.864 0 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

36 0 483.076 36 5 6

62 0 484.992 62 0 18

63 0 487.629 63 0 1

34 0 489.987 34 10 11

33 0 490.885 33 32 33

61 0 493.246 61 22 23

64 0 960.000 64 0 35

По данному отчету видим, что мы уменьшили нагрузку на первый станок, его очередь теперь минимальна, как по количеству элементов в очереди, так и по среднему времени загрузки. А загрузка STAN1 теперь 86,4%.

Посмотрим изменения производительности моделей – первая модель дала нам производительность в 21 деталь за смену, тем временем модель 2 – 15+16=31 деталь, так как мы увеличили цех на один станок, то ожидаемое повышение производительности около 30 процентов. Модель 2 производительнее модели 1 (31-21)/21\*100%=47,6%. Это хороший показатель, но мы видим, что у нас осталась сильная загруженность второго станка, хоть загруженность третьего и повысилось, но для того чтобы модель считать более эффективной нам нужно примерно уровнять показатели производительности станков, при этом оставаться в рамках пропорционального увеличения производительности, относительно увеличения количества станков.

Выдвинем следующую гипотезу: для улучшения модели создадим копию и второго станка, ожидая увеличения производительности и уравновешивания загруженности каждого станка.

Код модели 3 для 8 часов:

STAN1 STORAGE 2

STAN2 STORAGE 2

GENERATE 15,4

QUEUE AA2

ENTER STAN2

DEPART AA2

ADVANCE 10,3

LEAVE STAN2

QUEUE AA1

ENTER STAN1

DEPART AA1

ADVANCE 25,8

LEAVE STAN1

QUEUE AA3

SEIZE STAN3

DEPART AA3

ADVANCE 5,2

RELEASE STAN3

TERMINATE

GENERATE 15,6

QUEUE AA1

ENTER STAN1

DEPART AA1

ADVANCE 15,5

LEAVE STAN1

QUEUE AA2

ENTER STAN2

DEPART AA2

ADVANCE 18,3

LEAVE STAN2

QUEUE AA3

SEIZE STAN3

DEPART AA3

ADVANCE 15,5

RELEASE STAN3

TERMINATE

GENERATE 480

TERMINATE 1

Отчет:

GPSS World Simulation Report - Untitled.15.1

Sunday, December 03, 2023 13:29:45

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 480.000 36 1 2

NAME VALUE

AA1 10003.000

AA2 10002.000

AA3 10004.000

STAN1 10000.000

STAN2 10001.000

STAN3 10005.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 31 0 0

2 QUEUE 31 0 0

3 ENTER 31 0 0

4 DEPART 31 0 0

5 ADVANCE 31 1 0

6 LEAVE 30 0 0

7 QUEUE 30 6 0

8 ENTER 24 0 0

9 DEPART 24 0 0

10 ADVANCE 24 1 0

11 LEAVE 23 0 0

12 QUEUE 23 2 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 29 0 0

19 QUEUE 29 6 0

20 ENTER 23 0 0

21 DEPART 23 0 0

22 ADVANCE 23 1 0

23 LEAVE 22 0 0

24 QUEUE 22 0 0

25 ENTER 22 0 0

26 DEPART 22 0 0

27 ADVANCE 22 0 0

28 LEAVE 22 0 0

29 QUEUE 22 0 0

30 SEIZE 22 0 0

31 DEPART 22 0 0

32 ADVANCE 22 1 0

33 RELEASE 21 0 0

34 TERMINATE 21 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

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

STAN3 43 0.885 9.876 1 45 0 0 0 2

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

AA2 1 0 53 42 0.068 0.612 2.946 0

AA1 14 12 59 4 5.457 44.398 47.627 0

AA3 4 2 45 5 1.149 12.258 13.791 0

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

STAN1 2 0 0 2 47 1 1.894 0.947 0 12

STAN2 2 1 0 2 53 1 1.468 0.734 0 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

61 0 482.740 61 5 6

47 0 484.553 47 22 23

45 0 485.609 45 32 33

63 0 486.546 63 0 1

62 0 488.605 62 0 18

48 0 508.656 48 10 11

64 0 960.000 64 0 35

После добавления копии второго станка заметим, что вся система имеет примерно уравненную эффективность, причем на высоком уровне. Следовательно, все станки загружены и практически не простаивают. Так же с увеличением станков в цеху, очереди стали минимальны, так же снизилось время ожидания в очереди, по сравнению с первой моделью, почти в 15 раз. Производительность всего цеха, по сравнению с первой моделью (42-21)/21\*100% = 100%, то есть мы в два раза увеличили производительность, хотя мощность цеха увеличилась лишь на две трети.

Работа третьей модели за 5 рабочих дней по 8 часов:

GPSS World Simulation Report - Untitled.42.1

Thursday, December 14, 2023 09:10:14

START TIME END TIME BLOCKS FACILITIES STORAGES

0.000 2400.000 36 1 2

NAME VALUE

AA1 10003.000

AA2 10002.000

AA3 10004.000

STAN1 10000.000

STAN2 10001.000

STAN3 10005.000

LABEL LOC BLOCK TYPE ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY

1 GENERATE 160 0 0

2 QUEUE 160 0 0

3 ENTER 160 0 0

4 DEPART 160 0 0

5 ADVANCE 160 1 0

6 LEAVE 159 0 0

7 QUEUE 159 39 0

8 ENTER 120 0 0

9 DEPART 120 0 0

10 ADVANCE 120 1 0

11 LEAVE 119 0 0

12 QUEUE 119 2 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 159 0 0

19 QUEUE 159 40 0

20 ENTER 119 0 0

21 DEPART 119 0 0

22 ADVANCE 119 1 0

23 LEAVE 118 0 0

24 QUEUE 118 0 0

25 ENTER 118 0 0

26 DEPART 118 0 0

27 ADVANCE 118 0 0

28 LEAVE 118 0 0

29 QUEUE 118 2 0

30 SEIZE 116 0 0

31 DEPART 116 0 0

32 ADVANCE 116 1 0

33 RELEASE 115 0 0

34 TERMINATE 115 0 0

35 GENERATE 1 0 0

36 TERMINATE 1 0 0

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

STAN3 233 0.965 9.937 1 234 0 0 0 4

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

AA2 2 0 278 195 0.157 1.359 4.553 0

AA1 79 79 318 4 37.739 284.822 288.451 0

AA3 7 4 237 10 2.675 27.090 28.284 0

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

STAN1 2 0 0 2 239 1 1.979 0.989 0 79

STAN2 2 1 0 2 278 1 1.547 0.774 0 0

FEC XN PRI BDT ASSEM CURRENT NEXT PARAMETER VALUE

319 0 2402.562 319 5 6

234 0 2403.127 234 32 33

239 0 2406.328 239 10 11

321 0 2406.627 321 0 1

240 0 2407.241 240 22 23

322 0 2415.125 322 0 18

323 0 4800.000 323 0 35

**Вывод**

Имитационное моделирование – эффективный аппарат исследования стохастических систем, когда исследуемая система может быть подвержена влиянию многочисленных случайных факторов сложной природы. Имеется возможность проводить исследование в условиях неопределенности, при неполных и неточных данных.

С помощью него мы можем проводить эксперименты и проверять гипотезы без потерь времени и финансов, выбирая оптимальные модели и уже внедряя их в реальной жизни.

На примере моделирования участка цеха мы рассмотрели пример оптимизации за счет моделирования процесса производства. Для того чтобы анализировать производительность мы построили модель, которая описывает происходящее в системе на данном этапе. А уже далее начался процесс постановления и проверки гипотез и их моделирования с целью оценить их значимость для процесса производства.

После проверки нескольких гипотез мы пришли к более производительной модели, чем исходная. Изначально мы имели модель с большой загруженностью первого и второго станка, огромными очередями деталей на входе в станки и плохой выработкой (то есть на вход заходило намного больше деталей, чем мы имели на выходе). За счет дублирования первого станка, как самого загруженного в системе, мы уже добились уменьшение очередей и некоторого улучшения загруженности станков, при этом производительность увеличилась почти на 48%, хотя сам цех увеличился лишь на треть. Далее мы предположили, что для дальнейшего увеличения производительности, необходимо создать копию второго станка. Гипотеза подтвердилась и производительность третьей модели, по отношению к первой, увеличилась на 100%. Следовательно, модель цеха с пятью станками: два первых станка, два вторых станка и один третий станок, будет довольно производительна и эффективна для производства и ее можно внедрять в работу.