

Университет ИТМО
Факультет программной инженерии и компьютерной техники

Учебно-исследовательская работа №3 (УИР 3)
“Исследование СМО произвольного вида”
по дисциплине “Моделирование”

Выполнили:
Студенты группы Р3334
Баянов Р. Д.
Кузнецов Д. А.

Преподаватель:
Авксентьева Е. Ю.

Санкт-Петербург
2024 г.

Содержание

| | |
|---|-------------------------------------|
| Цель работы | 3 |
| Постановка задачи..... | 4 |
| Варианты исследуемой системы..... | 5 |
| Код на GPSS | 7 |
| Результаты имитационного моделирования | 10 |
| Вариант 1 | 10 |
| Вариант 2 | 11 |
| Вариант 3 | 12 |
| Вариант 4 | 13 |
| Вариант 5 | 14 |
| Вариант 6 | 15 |
| Вариант 7 | Error! Bookmark not defined. |
| Вариант 8 | Error! Bookmark not defined. |
| Гистограммы полученных результатов | 16 |
| Длина очереди | 16 |
| Вероятность потери | 17 |
| Загрузка | 18 |
| Среднее время ожидания | 19 |
| Длина переходного процесса | 20 |
| Сравнение результатов имитационного моделирования и метода марковских процессов | 21 |
| Сравнение для СМО типа M/M/1 | 22 |
| Сравнение для СМО типа M/G/1 | 23 |
| Вывод..... | 24 |

Цель работы

Исследование свойств простейших одно- и многоканальных СМО типа G/G/K/E с однородным потоком заявок с использованием системы имитационного моделирования GPSS при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с заданной программой исследований.

Постановка задачи

В процессе исследований необходимо оценить влияние на такие характеристики системы, как:

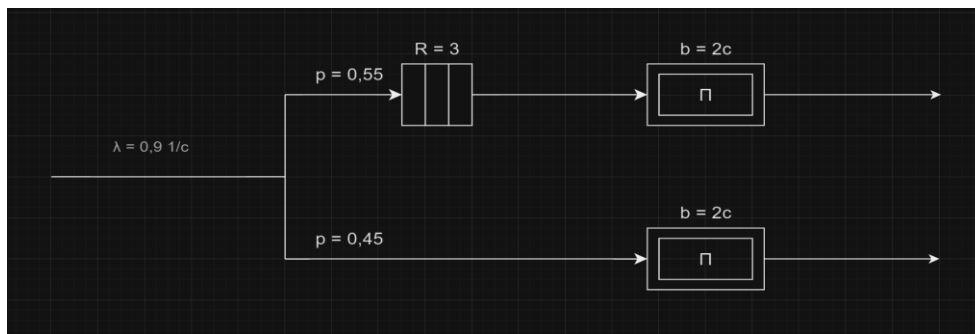
- длительность переходного процесса в системе;
- среднее время ожидания (пребывания) заявок в системе;
- вероятность потери заявок

следующих параметров нагрузки и структуры:

- загрузки системы (в интервале от 0,1 до 0,9);
- характера потока поступающих в систему заявок (заданная трасса; аппроксимирующий поток; простейший поток);
- законов распределения длительности обслуживания;
- количества приборов в системе (от 1 до 3);
- ёмкости накопителя.

В качестве исходной модели возьмём наилучшую модель системы, выбранную наилучшей в рамках УИР 2. Модель, которую мы будем исследовать – это модель G/G/K/E с двумя приборами и одним накопителем на первом приборе, ибо именно мы её сочли лучшей в прошлой УИР. Также возьмём среднее и коэффициент вариации из УИР1, как входные параметры потока заявок. А именно: среднее – 63.561 и коэффициент вариации, равный 1, так как время обслуживания приборов распределено по экспоненциальному закону. Чтобы выполнить исследование для этого необходимо скорректировать предлагаемую имитационную GPSS-модель СМО типа G/G/K/E (файл smo GGKE.gps).

Схема, исследуемой системы:



Варианты исследуемой системы

Форма 1 – Описание исследуемых вариантов организации системы

| | | | | | | | |
|---|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| Номер варианта | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Количество приборов | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Емкость накопителя | | 3 | 3 | 3 | 10 | 10 | 3 |
| Интервалы между заявками входящего потока | Ср. значение | 63.56 | 63.56 | 63.56 | 63.56 | 63.56 | 63.56 |
| | Вид потока | Аппроксимирующий поток из УИР1 (гиперэкс.) | | | | | Эрланга 2-го порядка |
| Длительность обслуживания заявок | Ср. значение | 2 | 40 | 70 | 2 | 70 | 2 |
| | Коэф-т вариации | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Пояснения к форме 1:

1. **Количество вариантов** (экспериментов) определяется самим исследователем и должно быть таким, чтобы давать достаточно полное представление о свойствах системы.
2. При определении количества вариантов следует иметь в виду, что наибольший интерес представляют системы с высокой нагрузкой, работающие в интервале загрузок более 90%.
3. Для параметра **Емкость накопителя** – обязательно должен быть вариант, иллюстрирующий минимальную емкость, при которой в системе отсутствуют потери заявок, т.е. при которой система может рассматриваться как система с накопителем неограниченной емкости.
4. **Вид потока заявок:** 1) Т – трасса; 2) А – аппроксимирующий; 3) П – простейший;

Таким образом, для исследования системы мы будем изменять такие параметры, как: среднее значение интервала времени между заявками, среднее время обслуживания и ёмкость накопителя.

Код на GPSS

```
*****
*****
*                               *
*               Модель СМО G/G/K/E                               *
*                               *
*****
*****
*                               *
*               И с х о д н ы е  д а н н ы е                               *
*                               *
*****
*****
E_bufEQU 3; емкость накопителя (буфера)
t_a EQU 63.56; средний интервал между поступающими заявками
t_a_min EQU 10; минимальный интервал между заявками (для
равномерного распределения)
t_a_max EQU 30; максимальный интервал между заявками (для
равномерного распределения)
t_b EQU 2; средняя длительность обслуживания заявки в приборе
RN_a EQU 20; номер генератора для потока
RN_b EQU 553; номер генератора для длительности обслуживания
* Параметры гиперэкспоненциального распределения:
RN_H EQU 91; номер генератора для гиперэкспоненциального
распределения
qq EQU 0.9278; вероятность выбора первой фазы
tt_1 EQU 69.471; мат. ожидание первой фазы гиперэкспоненциального
распределения
tt_2 EQU 10.370; мат. ожидание второй фазы гиперэкспоненциального
распределения
* Параметры гипоекспоненциального распределения (Эрланга):
k_erl EQU 2; порядок распределения Эрланга
RN_erl1 EQU 31; номер первого генератора для распределения Эрланга
2-го порядка
RN_erl2 EQU 125; номер второго генератора для распределения Эрланга
2-го порядка
*****
*****
TU_uzel TABLE M1,0.2,0.2,50;
TU_buf QTABLE buf1,0.1,0.1,50;
uzel1 STORAGE 1; ПЕРВЫЙ ПРИБОР С НАКОПИТЕЛЕМ 3
uzel2 STORAGE 1; ВТОРОЙ ПРИБОР БЕЗ НАКОПИТЕЛЯ
Erl_2 VARIABLE
      (Exponential(RN_erl1,0,t_a/2))+(Exponential(RN_erl2,0,t_a/2));
сл.величина по закону Эрланга 2-го порядка
*****
*****
```

* Служебные переменные, необходимые для процедуры

GetRandomNumberFromFile *

ErrorCodes MATRIX ,2,1 ; Коды ошибок открытия/закрытия файла (при наличии ошибок в конце моделирования будут записаны ненулевые значения)

FilePosition MATRIX ,1,1 ; Текущий номер строки в файле, из которой читается число (увеличивается на 1 с каждым чтением)

*

* В качестве исполняемого оставить только ОДИН оператор GENERATE *

*

*GENERATE (Exponential(RN_a,0,t_a))

*GENERATE (GetRandomNumberFromFile("D:\ITMO\3 course
ITMO\Моделирование\УИР3\track.txt"))

*GENERATE (hyper1(RN_H, qq, tt_1, tt_2))

GENERATE V\$Er1_2

TRANSFER .45,,TO_PR2

TESTL Q\$buf1,E_buf,zyx

QUEUE buf1

ENTER uzel1

DEPART buf1

ADVANCE (Exponential(RN_b,0,t_b))

LEAVE uzel1

TABULATE TU_uzel

TERMINATE 1

TO_PR2 ENTER uzel2

ADVANCE (Exponential(RN_b,0,t_b))

LEAVE uzel2

TERMINATE 1

TABULATE TU_uzel

zyx TERMINATE 1

* Процедура возвращает следующее прочитанное из файла число. *

* Числа в файле расположены по одному на каждой строке. *

* При выходе за границы файла чтение начинается с начала. *

PROCEDURE GetRandomNumberFromFile(FileName) BEGIN

TEMPORARY OpenError, CloseError, LineFromFile, FileId;

FileId = 1;

OpenError = open(FileId,FileName);

if (OpenError /= 0) then begin

FileId = 2;


```

    OpenError = open(FileId,FileName);
    if (OpenError /=0) then begin
        ErrorCodes[1,1] = OpenError;
        return "";
    end;
end;
FilePosition[1,1] = FilePosition[1,1] + 1;
seek(FileId,FilePosition[1,1]);
LineFromFile = read(FileId);
if (LineFromFile = "") then begin
    FilePosition[1,1] = 1;
    seek(FileId,FilePosition[1,1]);
    LineFromFile = read(FileId);
end;
CloseError = close(FileId);
if (CloseError /=0) then begin
    ErrorCodes[2,1] = CloseError;
    return "";
end;
return value(LineFromFile);
END;
*****
* Процедура возвращает значение псевдослучайной величины, *
* распределенной по гиперэкспоненциальному закону, в      *
* соответствии с параметрами распределения qq, tt_1, tt_2. *
*****
PROCEDURE hyper1(RN_H, qq, tt_1, tt_2) BEGIN
    if (uniform(1,0,1) < qq) then return exponential(RN_H,0,tt_1);
    else return exponential(RN_H,0,tt_2);
END;

```

Результаты имитационного моделирования

Вариант 1

Форма 2 – Результаты имитационного эксперимента 1

| Исх.данные (вариант 1): | | К | Е | поток | а | б | КВ | | | |
|----------------------------|-------------|------------------|--------|----------------|---------------|---------------|---------|---------------|--------------|------------|
| | | 2 | 3 | гипер. | 63.56 | 2 | 1 | | | |
| Заявок | Поте- ри | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загру- зка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 10 | 0 | 0,00 | - | 0,002 | 0,110 | 0,629 | - | 0,090 | 0,280 | 44,586 |
| 20 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,001 | 0,012 | 0,236 | -166,53 | 0,667 | 5,539 | 2347,242 |
| 50 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,018 | 0,036 | -555,56 | 0,166 | 9,038 | 25104,938 |
| 100 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,015 | 0,014 | -157,14 | 0,086 | 12,040 | 86000,000 |
| 200 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,014 | 0,021 | 33,33 | 0,186 | 17,360 | 82666,667 |
| 500 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,015 | 0,021 | 0,00 | 0,253 | 23,613 | 112444,444 |
| 1000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,001 | 0,016 | 0,105 | 80,00 | 0,727 | 13,571 | 12924,444 |
| 2000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,015 | 0,034 | -208,82 | 0,307 | 17,698 | 52051,903 |
| 5000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,015 | 0,041 | 17,07 | 0,351 | 16,780 | 40925,640 |
| 10000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,049 | 16,33 | 0,458 | 18,320 | 37387,755 |
| 20000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,051 | 3,92 | 0,537 | 20,638 | 40465,975 |
| 50000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | -13,33 | 0,424 | 18,468 | 41039,012 |
| 100000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,431 | 18,772 | 41716,543 |
| 150000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,043 | -4,65 | 0,422 | 19,235 | 44733,369 |
| 200000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,044 | 2,27 | 0,426 | 18,976 | 43128,099 |
| 300000 | 1 | 0,00 | 100,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 2,22 | 0,423 | 18,424 | 40942,222 |
| 350000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,425 | 18,511 | 41135,802 |
| 400000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,044 | -2,27 | 0,414 | 18,442 | 41913,223 |
| 500000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,044 | 0,00 | 0,421 | 18,754 | 42621,901 |
| 1000000 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,043 | -2,33 | 0,413 | 18,825 | 43779,340 |

За длительность переходного процесса возьмём время, за которое прошло 20000 заявок, так как при увеличении заявок характеристики системы не меняются значительно.

Вариант 2

Форма 2 – Результаты имитационного эксперимента 2

| Исх.данные (вариант <u>1</u>): | | К | Е | поток | а | б | КВ | | | |
|------------------------------------|-------------|------------------|--------|----------------|---------------|---------------|---------|---------------|--------------|--------|
| | | 2 | 3 | гипер. | 63.56 | 40 | 1 | | | |
| Заявок | Поте- ри | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загру- зка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 10 | 0 | 0,000 | - | 0,066 | 0,214 | 17,751 | - | 30,746 | 3,395 | 19,125 |
| 20 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,159 | 0,312 | 18,474 | 3,91 | 33,460 | 3,550 | 19,216 |
| 50 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,066 | 0,862 | 6,049 | -205,41 | 14,899 | 4,828 | 79,808 |
| 100 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,177 | 0,327 | 22,192 | 72,74 | 39,421 | 3,482 | 15,689 |
| 200 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,177 | 0,258 | 21,244 | -4,46 | 49,515 | 4,568 | 21,504 |
| 500 | 2 | 0,004 | 100,00 | 0,184 | 0,307 | 19,444 | -9,26 | 39,814 | 4,013 | 20,641 |
| 1000 | 11 | 0,011 | 63,64 | 0,170 | 0,294 | 19,842 | 2,01 | 40,983 | 4,048 | 20,403 |
| 2000 | 14 | 0,007 | -57,14 | 0,181 | 0,301 | 21,735 | 8,71 | 46,936 | 4,233 | 19,473 |
| 5000 | 30 | 0,006 | -16,67 | 0,163 | 0,300 | 19,700 | -10,33 | 42,965 | 4,275 | 21,699 |
| 10000 | 46 | 0,005 | -30,43 | 0,161 | 0,303 | 19,280 | -2,18 | 41,024 | 4,170 | 21,631 |
| 20000 | 117 | 0,006 | 21,37 | 0,158 | 0,304 | 18,910 | -1,96 | 40,253 | 4,172 | 22,063 |
| 50000 | 265 | 0,005 | -10,38 | 0,156 | 0,303 | 18,805 | -0,56 | 40,005 | 4,170 | 22,173 |
| 100000 | 631 | 0,006 | 16,01 | 0,166 | 0,303 | 18,808 | 0,02 | 40,004 | 4,169 | 22,165 |
| 150000 | 845 | 0,006 | -12,01 | 0,159 | 0,305 | 19,119 | 1,63 | 40,837 | 4,186 | 21,897 |
| 200000 | 1149 | 0,006 | 1,94 | 0,160 | 0,305 | 19,192 | 0,38 | 41,752 | 4,264 | 22,217 |
| 300000 | 1698 | 0,006 | -1,50 | 0,160 | 0,305 | 19,280 | 0,46 | 41,263 | 4,195 | 21,757 |
| 350000 | 1981 | 0,006 | 0,00 | 0,161 | 0,304 | 19,296 | 0,08 | 41,455 | 4,211 | 21,822 |
| 400000 | 2395 | 0,006 | 5,47 | 0,163 | 0,305 | 19,510 | 1,10 | 41,574 | 4,177 | 21,407 |
| 500000 | 2864 | 0,006 | -4,53 | 0,162 | 0,304 | 19,409 | -0,52 | 41,332 | 4,174 | 21,505 |
| 1000000 | 5570 | 0,006 | -2,84 | 0,161 | 0,016 | 19,261 | -0,77 | 41,188 | 4,191 | 21,761 |

За длительность переходного процесса возьмём время, за которое прошло 10000 заявок, так как при увеличении заявок характеристики системы не меняются значительно.

Вариант 3

Форма 2 – Результаты имитационного эксперимента 3

| Исх.данные (вариант <u>1</u>): | | К | Е | поток | а | б | КВ | | | |
|------------------------------------|-------------|------------------|---------|----------------|---------------|---------------|------------|---------------|--------------|--------|
| | | 2 | 3 | гипер. | 63.56 | 70 | 1 | | | |
| Заявок | Поте- ри | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загру- зка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 10 | 0 | 0,000 | - | 0,042 | 0,645 | 4,652 | - | 10,401 | 4,382 | 94,200 |
| 20 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,247 | 0,677 | 23,708 | 80,38 | 26,116 | 2,159 | 9,107 |
| 50 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,212 | 0,483 | 30,970 | 23,45 | 62,096 | 3,930 | 12,689 |
| 100 | 5 | 0,050 | 100,00 | 0,797 | 0,631 | 88,964 | 65,19 | 97,896 | 2,157 | 2,424 |
| 200 | 4 | 0,020 | -150,00 | 0,384 | 0,450 | 48,511 | - 83,39 | 76,034 | 3,072 | 6,333 |
| 500 | 30 | 0,060 | 66,67 | 0,598 | 0,504 | 69,315 | 30,01 | 99,965 | 2,827 | 4,078 |
| 1000 | 47 | 0,047 | -27,66 | 0,561 | 0,495 | 70,324 | 1,43 | 109,241 | 3,045 | 4,329 |
| 2000 | 57 | 0,029 | -64,91 | 0,459 | 0,516 | 57,747 | -21,78 | 87,235 | 2,961 | 5,127 |
| 5000 | 146 | 0,029 | 2,40 | 0,508 | 0,513 | 64,057 | 9,85 | 95,708 | 2,928 | 4,572 |
| 10000 | 263 | 0,026 | -11,03 | 0,491 | 0,516 | 61,288 | -4,52 | 93,686 | 2,996 | 4,889 |
| 20000 | 883 | 0,044 | 40,43 | 0,497 | 0,518 | 62,152 | 1,39 | 94,242 | 2,972 | 4,782 |
| 50000 | 1495 | 0,030 | -47,66 | 0,497 | 0,516 | 62,890 | 1,17 | 96,008 | 2,992 | 4,758 |
| 100000 | 3387 | 0,034 | 11,72 | 0,511 | 0,520 | 64,238 | 2,10 | 98,486 | 3,005 | 4,678 |
| 150000 | 4833 | 0,032 | -5,12 | 0,508 | 0,520 | 64,048 | -0,30 | 97,614 | 2,987 | 4,664 |
| 200000 | 6327 | 0,032 | -1,85 | 0,505 | 0,520 | 63,791 | -0,40 | 97,612 | 2,999 | 4,702 |
| 300000 | 9579 | 0,032 | 0,92 | 0,501 | 0,520 | 63,183 | -0,96 | 97,123 | 3,013 | 4,768 |
| 350000 | 11023 | 0,031 | -1,38 | 0,502 | 0,518 | 63,341 | 0,25 | 96,943 | 3,000 | 4,736 |
| 400000 | 13030 | 0,033 | 3,32 | 0,504 | 0,519 | 63,330 | -0,02 | 96,565 | 2,989 | 4,719 |
| 500000 | 16097 | 0,032 | -1,18 | 0,504 | 0,518 | 63,437 | 0,17 | 97,008 | 2,997 | 4,725 |
| 1000000 | 31628 | 0,032 | -1,79 | 0,507 | 0,521 | 63,607 | 0,27 | 96,826 | 2,984 | 4,691 |

За длительность переходного процесса возьмём время, за которое прошло 150000 заявок, так как при увеличении заявок характеристики системы не меняются значительно.

Вариант 4

Форма 2 – Результаты имитационного эксперимента 4

| Исх.данные (вариант <u>1</u>): | | К | Е | поток | а | б | КВ | | | |
|------------------------------------|-------------|------------------|------|----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|-----------|
| | | 2 | 10 | гипер. | 63.56 | 2 | 1 | | | |
| Заявок | Поте- ри | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загру- зка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 10 | 0 | 0,000 | - | 0,002 | 0,011 | 0,629 | - | 1,090 | 3,397 | 539,984 |
| 20 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 50 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,001 | 0,022 | 0,076 | 100,00 | 0,365 | 9,413 | 12385,734 |
| 100 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,001 | 0,016 | 0,110 | 30,91 | 0,541 | 9,640 | 8763,306 |
| 200 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,013 | 0,016 | - 587,5 0 | 0,121 | 14,823 | 92640,625 |
| 500 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,049 | 67,35 | 0,428 | 17,120 | 34938,776 |
| 1000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,001 | 0,015 | 0,063 | 22,22 | 0,464 | 14,436 | 22913,580 |
| 2000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,001 | 0,015 | 0,067 | 5,97 | 0,518 | 15,153 | 22617,064 |
| 5000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,015 | 0,050 | -34,00 | 0,475 | 18,620 | 37240,000 |
| 10000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,035 | -42,86 | 0,351 | 19,656 | 56160,000 |
| 20000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,044 | 20,45 | 0,410 | 18,264 | 41508,264 |
| 50000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,040 | -10,00 | 0,401 | 19,649 | 49122,500 |
| 100000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,046 | 13,04 | 0,442 | 18,833 | 40941,399 |
| 150000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | -2,22 | 0,424 | 18,468 | 41039,012 |
| 200000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,428 | 18,642 | 41426,173 |
| 300000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,428 | 18,642 | 41426,173 |
| 350000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,428 | 18,642 | 41426,173 |
| 400000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,428 | 18,642 | 41426,173 |
| 500000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,428 | 18,642 | 41426,173 |
| 1000000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,045 | 0,00 | 0,428 | 18,642 | 41426,173 |

За длительность переходного процесса возьмём время, за которое прошло 150000 заявок, так как при увеличении заявок характеристики системы не меняются значительно.

Вариант 5

Форма 2 – Результаты имитационного эксперимента 5

| Исх.данные (вариант <u>1</u>): | | К | Е | поток | а | б | КВ | | | |
|------------------------------------|-------------|------------------|---------|----------------|---------------|---------------|------------|---------------|--------------|--------|
| | | 2 | 10 | трасса | 63.56 | 70 | 1 | | | |
| Заявок | Поте- ри | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загру- зка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 10 | 0 | 0,000 | - | 0,059 | 0,366 | 16,241 | - | 28,131 | 3,395 | 20,903 |
| 20 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,435 | 0,531 | 46,828 | 65,32 | 80,256 | 0,000 | 0,000 |
| 50 | 0 | 0,000 | 0,00 | 1,147 | 0,674 | 118,595 | 60,51 | 123,460 | 2,040 | 1,720 |
| 100 | 0 | 0,000 | 0,00 | 1,145 | 0,599 | 126,75 0 | 6,43 | 182,081 | 2,816 | 2,221 |
| 200 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,741 | 0,449 | 89,251 | - 42,02 | 145,290 | 3,191 | 3,575 |
| 500 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,831 | 0,539 | 87,388 | -2,13 | 117,774 | 2,642 | 3,023 |
| 1000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,931 | 0,520 | 106,244 | 17,75 | 152,617 | 2,815 | 2,650 |
| 2000 | 3 | 0,002 | 100,00 | 0,748 | 0,527 | 88,900 | -19,51 | 89,127 | 1,965 | 2,210 |
| 5000 | 0 | 0,000 | 0 | 0,742 | 0,529 | 88,710 | -0,21 | 135,508 | 2,994 | 3,375 |
| 10000 | 10 | 0,001 | 100,00 | 0,788 | 0,533 | 93,862 | 5,49 | 143,181 | 2,990 | 3,185 |
| 20000 | 21 | 0,001 | 4,76 | 0,876 | 0,533 | 103,702 | 9,49 | 151,131 | 2,856 | 2,754 |
| 50000 | 24 | 0,000 | -118,75 | 0,827 | 0,533 | 98,946 | -4,81 | 147,317 | 2,918 | 2,949 |
| 100000 | 104 | 0,001 | 53,85 | 0,886 | 0,533 | 104,824 | 5,61 | 156,446 | 2,925 | 2,791 |
| 150000 | 119 | 0,001 | -31,09 | 0,879 | 0,533 | 104,539 | -0,27 | 154,579 | 2,898 | 2,772 |
| 200000 | 163 | 0,001 | 2,66 | 0,859 | 0,533 | 102,316 | -2,17 | 153,681 | 2,944 | 2,877 |
| 300000 | 291 | 0,001 | 15,98 | 0,868 | 0,533 | 103,500 | 1,14 | 156,593 | 2,965 | 2,865 |
| 350000 | 254 | 0,001 | -33,66 | 0,846 | 0,533 | 100,549 | -2,93 | 151,006 | 2,944 | 2,927 |
| 400000 | 383 | 0,001 | 24,21 | 0,877 | 0,533 | 103,938 | 3,26 | 155,473 | 2,932 | 2,821 |
| 500000 | 463 | 0,001 | -3,40 | 0,868 | 0,533 | 102,953 | -0,96 | 154,107 | 2,934 | 2,850 |
| 1000000 | 818 | 0,001 | -13,20 | 0,871 | 0,533 | 103,156 | 0,20 | 152,919 | 2,906 | 2,817 |

За длительность переходного процесса возьмём время, за которое прошло 5000 заявок, так как при увеличении заявок характеристики системы не меняются значительно.

Вариант 6

Форма 2 – Результаты имитационного эксперимента 6

| Исх.данные (вариант <u>1</u>): | | К | Е | поток | а | б | КВ | | | |
|------------------------------------|-------------|------------------|------|----------------|---------------|---------------|--------|---------------|--------------|-------------|
| | | 2 | 3 | эрланг. | 63.56 | 2 | 1 | | | |
| Заявок | Поте- ри | Вер-ть потери | П(%) | Длина очер. | Загру- зка | Ср.вр. ож. | О(%) | СКО вр.ож. | Дов. инт. | Д(%) |
| 10 | 0 | 0,000 | - | 0,000 | 0,008 | 0,000 | - | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,015 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 50 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,017 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 100 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,011 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 200 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,018 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 500 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,015 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 1000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,003 | 100,00 | 0,105 | 68,600 | 2286666,667 |
| 5000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,002 | -50,00 | 0,043 | 42,140 | 2107000,000 |
| 10000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,002 | 0,00 | 0,084 | 82,320 | 4116000,000 |
| 20000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 50,00 | 0,120 | 58,800 | 1470000,000 |
| 50000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,135 | 66,150 | 1653750,000 |
| 100000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,129 | 63,210 | 1580250,000 |
| 150000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,113 | 55,370 | 1384250,000 |
| 200000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,132 | 64,680 | 1617000,000 |
| 300000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,122 | 59,780 | 1494500,000 |
| 350000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,118 | 57,820 | 1445500,000 |
| 400000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,124 | 60,760 | 1519000,000 |
| 500000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,118 | 57,820 | 1445500,000 |
| 1000000 | 0 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,016 | 0,004 | 0,00 | 0,123 | 60,270 | 1506750,000 |

За длительность переходного процесса возьмём время, за которое прошло 5000 заявок, так как при увеличении заявок характеристики системы не меняются значительно.

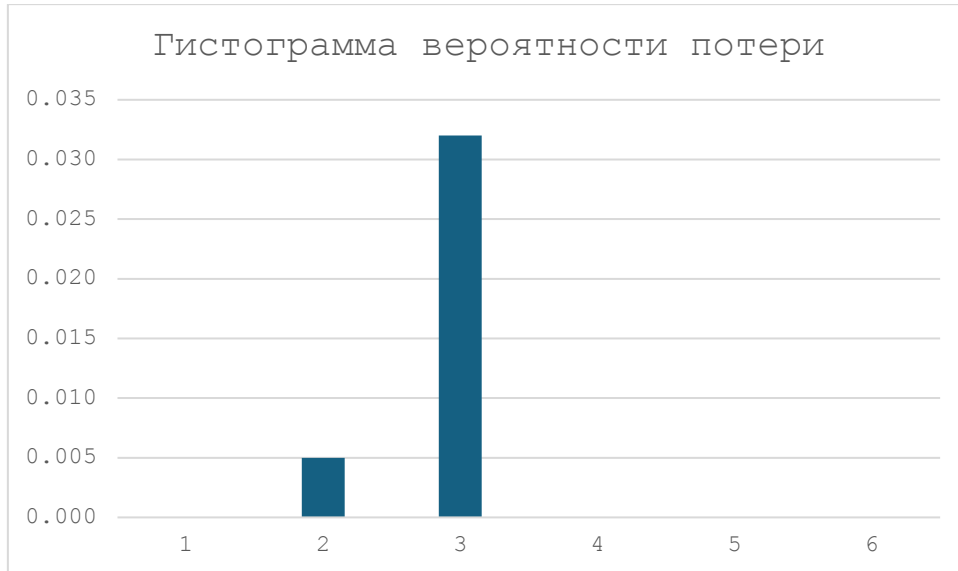
Гистограммы полученных результатов

Длина очереди



Заметим, что средняя длина очереди, увеличивается в зависимости от нагрузки системы и от самой ёмкости очереди, если и нагрузка, и ёмкость накопителя велики, то и средняя длина очереди увеличивается. Но длина очереди нашей системы не сильно велика, так как загрузка системы не принимает большие значения.

Вероятность потери



Заметим, что в случаях, когда среднее время обслуживания увеличивается (то бишь приближается или даже превышает интервалы времени поступления заявок), то мы начинаем наблюдать небольшую вероятность потери заявок, но в силу того, что у нас два прибора, и есть накопитель, эта вероятность крайне мала. В 5 эксперименте у нас среднее время обслуживания больше, чем интенсивность поступления заявок, но увеличенная ёмкость спасает положение, и мы не замечаем увеличение вероятности потери. Таким образом, при разных уровнях нагрузки система всё равно быстро обрабатывает заявки.

Загрузка



Заметим, что загрузка напрямую зависит от нагрузки системы и тут в независимости от того, по какому закону распределены интервалы поступления заявок, мы получаем высокую загрузку только при высоком отношении интенсивности обслуживания к интенсивности поступления. То бишь изменение среднего времени обслуживания сильно влияет на загрузку системы. Но загрузка ни в одном эксперименте не превысила 1, следовательно, система не будет копить заявки бесконечно.

Среднее время ожидания



Заметим, что, рассматривая данную характеристику, мы получаем схожий результат со средней длиной очереди.

Длина переходного процесса



Заметим, что длительность переходного процесса не сильно меняется от эксперимента к эксперименту. Но при увеличении очереди, мы наблюдаем увеличение длительности переходного процесса, так как большая очередь при даже низкой нагрузке оттягивает момент наступления статического режима системы.

Сравнение результатов имитационного моделирования и метода марковских процессов

| Признак | Имитационное моделирование | Метод марковских процессов |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Загрузка | 0,016 | 0,08 |
| Вероятность потери | 0 | 0,2 |
| Среднее время ожидания | 0,051 | 3 |
| Длина очереди | 0 | 0,8 |

Как мы видим, имитационное моделирование и метод марковских процессов дают сильно разные результаты. Объясняется это тем, что, во-первых: при рассмотрении нашей системы в имитационном моделировании и в методе марковских процессов мы по-разному нагружали нашу систему и использовали совершенно разные законы распределения интенсивности поступления заявок на систему, а во-вторых: метод марковских процессов, конечно же менее точен, чем имитационное моделирование. Система достаточно сложна, чтобы точно оценить её методом марковских процессов. Хотя оба эти метода и являются статическими, имитационное моделирование смотрится в разы выгоднее.

Сравнение для СМО типа М/М/1

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0.0157}{0.5} = 0,03$$

Вероятность потери – 0

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{0.0157^2}{0.5(0.5 - 0.0157)} = 0,001$$

$$W_q = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{0.5 - 0.0157} = 2,064$$

| Признак | Наша система | М/М/1 |
|------------------------|--------------|-------|
| Загрузка | 0,016 | 0,03 |
| Вероятность потери | 0 | 0 |
| Среднее время ожидания | 0,051 | 2,064 |
| Длина очереди | 0 | 0,001 |

Заметим, что наша система оказалось лучше, так как в нашей системе заявки не простаивают так долго как в СМО типа М/М/1.

Сравнение для СМО типа M/G/1

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0.0157}{0.5} = 0,03$$

Вероятность потери – 0

$$L_q = b + \frac{\lambda^2 b^2}{2(1 - \rho)} = 2 + \frac{0.0157^2 \cdot 4}{2(1 - 0.03)} = 2,0005$$

$$W_q = \frac{\lambda^2 b^2}{2(1 - \rho)} = \frac{0.0157^2 \cdot 4}{2(1 - 0.03)} = 0,0005$$

| Признак | Наша система | M/M/1 |
|------------------------|--------------|--------|
| Загрузка | 0,016 | 0,03 |
| Вероятность потери | 0 | 0 |
| Среднее время ожидания | 0,051 | 2,0005 |
| Длина очереди | 0 | 0,0005 |

Заметим, что наша система оказалось лучше, так как в нашей системе заявки не простаивают так долго как в СМО типа M/G/1.

Вывод

Выполнив данную лабораторную работу, мы научились пользоваться языком высокого уровня GPSS World для имитационного моделирования одно- и многоканальных СМО. Заметим, что имитационное моделирование хоть и является крайне точным способом оценить систему, оно не является быстрым способом понять зависимости наших характеристик от наших параметров. Но получив определённые результаты, мы выяснили, что нагрузка системы сильно влияет на характеристики системы. Чувствительнее всего оказалась загрузка системы. Любые изменения нагрузки, сильно влияют на загрузку. Остальные характеристики в силу особенностей нашей системы меняются незначительно, особенно длительность переходного процесса. Длительность переходного процесса дольше всего при высокой нагрузке и одновременно при большой ёмкости накопителя. Также характеристики системы сильно зависят от вида потока поступления заявок, так, например, при использовании распределения Эрланга 2-го порядка, система вообще устойчива почти к любым видам нагрузки. Но всё же огромную роль играет среднее время обслуживания заявок, именно этот параметр способен поменять все значения характеристик нашей системы.