

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина»

Кафедра ЭВМ

Отчет о лабораторной работе №4
**«Исследование многоканальных СМО при росте суммарной
производительности и неизменной суммарной производительности при
увеличении числа каналов»**
по дисциплине «Моделирование»

Выполнили:

ст. гр. 245

бригада №4

Сокол Илья

Лапин Кирилл

Проверил:

доц. каф. ЭВМ

Саблина В.А.

Рязань 2025

Цель работы: сравнения характеристик многоканальных СМО, моделирующих параллельные вычисления.

Практическая часть:

Задание 1. Построение GPSS модели n -канальной СМО М/М/Н с общей очередью

Построим GPSS модель n -канальной СМО М/М/Н с общей очередью представленная на рисунке 1:

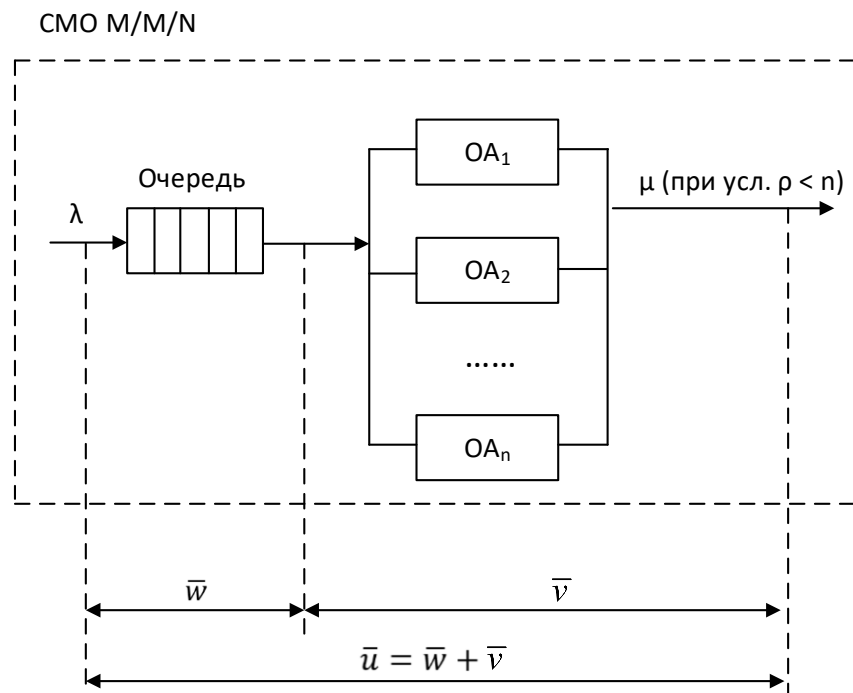


Рисунок 1 – Графическое представление n -канальной СМО М/М/Н

Функции распределения интервала прихода заявок и длительности обслуживания заявок – экспоненциальные. Среднее значение длительности обслуживания заявок $v_{\text{ср}}$ каждым ОА определяется вариантом задания, где $\bar{v} = 400$. Регулируя $\lambda = 1/T_{\text{ср}}$ зададим коэффициент загрузки всей СМО $\rho = \lambda v_{\text{ср}} = 0,9$. Коэффициент загрузки каждого ОА $\rho_1 = \rho/N$. Время моделирования должно обеспечивать прохождение через СМО не менее 100000 заявок.

Рассчитаем интенсивность обслуживания одного канала:

$$\mu = \frac{1}{v_{\text{ср}}} = \frac{1}{400} = 0.0025;$$

Интенсивность входного потока:

$$\lambda = \frac{\rho}{v_{\text{ср}}} = \frac{0.9}{400} = 0.00225;$$

Средний период между поступлениями заявок:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.00225} = 444.444$$

Вероятность простоя P_0 :

$$P_0 = \frac{2 - \rho}{2 + \rho} = \frac{1.1}{2.9} = 0.3793;$$

Среднее время ожидания \bar{w} :

$$\bar{w} = \frac{\rho^2 \bar{v}}{4 - \rho^2} = 101.6;$$

Коэффициент загрузки каждого ОА:

$$R_1 = \rho_1 = \frac{\rho}{n} = \frac{0.9}{2} = 0.45;$$

Средняя длина очереди:

$$\bar{l} = \lambda \bar{w} = 101.6 * 0.00225 = 0.2286;$$

Среднее время пребывания заявки в СМО:

$$\bar{u} = \bar{w} + \bar{v} = 101.6 + 400 = 501.6;$$

Коэффициент мультипрограммирования СМО или среднее число заявок, находящихся внутри СМО:

$$\bar{m} = \lambda \bar{u} = 0.00225 * 501.6 = 1.1286;$$

В результате получим GPSS модель и результат её работы (рисунок 2):

```
Transit TABLE M1,0,25,30 ; Transit time = ucp
EXPON FUNCTION RN1,C24
0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.335/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38
.8,1.6/.84,1.85/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2
.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/.9998,8

MKU STORAGE 2 ; Число каналов N=2
GENERATE 444.444,FN$EXPON ; Интервал между приходами заявок ~ Exp(444.444)
QUEUE OCH ; Заявка встаёт в очередь «ОСН», если все каналы заняты
ENTER MKU ; Попытка захватить один из свободных каналов MKU
DEPART OCH ; Убирается из очереди после захвата канала
ADVANCE 400,FN$EXPON; Время обслуживания ~ Exp(400)
LEAVE MKU ; Заявка освобождает канал после обслуживания
TABULATE Transit ; Запись статистики времени пребывания заявки в системе
TERMINATE 1 ; Завершение заявки
START 46666667 ; Время моделирования для прохождения ≥100000 заявок
```

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES						
0.000	44264919.909	8	0	1						
NAME	VALUE									
EXPON	10001.000									
MKU	10002.000									
OCH	10003.000									
TRANSIT	10000.000									
LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY					
	1	GENERATE	100000	0	0					
	2	QUEUE	100000	0	0					
	3	ENTER	100000	0	0					
	4	DEPART	100000	0	0					
	5	ADVANCE	100000	0	0					
	6	LEAVE	100000	0	0					
	7	TABULATE	100000	0	0					
	8	TERMINATE	100000	0	0					
QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY		
OCH	16	0	100000	71749	0.235	103.945	367.932	0		
STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	2	2	0	2	100000	1	0.902	0.451	0	0
TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE		RETRY	FREQUENCY	CUM.%			
TRANSIT	503.431	480.110			0					
		0.000	-	25.000		4463	4.46			
		25.000	-	50.000		4332	8.79			
		50.000	-	75.000		4067	12.86			
		75.000	-	100.000		4172	17.03			
		100.000	-	125.000		4404	21.44			
		125.000	-	150.000		3597	25.04			
		150.000	-	175.000		3104	28.14			
		175.000	-	200.000		3168	31.31			
		200.000	-	225.000		2956	34.26			
		225.000	-	250.000		3049	37.31			
		250.000	-	275.000		3182	40.49			
		275.000	-	300.000		2668	43.16			
		300.000	-	325.000		2574	45.74			
		325.000	-	350.000		2678	48.41			
		350.000	-	375.000		2515	50.93			
		375.000	-	400.000		2255	53.18			
		400.000	-	425.000		2195	55.38			
		425.000	-	450.000		2261	57.64			
		450.000	-	475.000		2281	59.92			
		475.000	-	500.000		1897	61.82			
		500.000	-	525.000		1863	63.68			
		525.000	-	550.000		1982	65.66			
		550.000	-	575.000		1693	67.36			
		575.000	-	600.000		1620	68.98			
		600.000	-	625.000		1631	70.61			
		625.000	-	650.000		1457	72.06			
		650.000	-	675.000		1236	73.30			
		675.000	-	700.000		1275	74.58			
		700.000	-			25425	100.00			
FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE			
100001	0	44265394.814	100001	0	1					

Рисунок 2 – Результат работы 2-х канальной СМО

По результатам моделирования GPSS было получено: среднее время пребывания заявки в системе $\bar{u} = 503.43$; среднее время ожидания в очереди $\bar{w} = 103.95$; средняя длина очереди $\bar{l} = 0.235$; коэффициент загрузки одного канала $\rho_1 = 0.451$, а через систему прошло около 100000 заявок. Эти данные подтверждают корректную работу модели и соответствие теоретическим ожиданиям для двухканальной СМО с общей очередью.

2. Изменение числа каналов СМО

Изменим число каналов СМО от 1 до 4 зафиксируем \bar{l} , l_{max} , \bar{w} , \bar{u} , \bar{m} (рисунок 3-6). Полученные значения представлены в таблице 1.

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY		
OCH	81	9	100009	10064	8.411	3732.386	4150.005	0		
STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	1	0	0	1	100001	1	0.898	0.898	0	8
TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE				RETRY FREQUENCY CUM.%			
TRANSIT	4131.004	4292.229					0			

Рисунок 3 – Отчеты моделирования для модели с 1 каналом

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY		
OCH	16	0	100000	71749	0.235	103.945	367.932	0		
STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	2	2	0	2	100000	1	0.902	0.451	0	0
TABLE	MEAN	STD.DEV.		RANGE			RETRY FREQUENCY		CUM.%	
TRANSIT	503.431	480.110					0			

Рисунок 4 – Отчеты моделирования для модели с 2 каналами

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY		
OCH	9	0	100000	92743	0.031	13.591	187.276	0		
STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	3	3	0	3	100000	1	0.903	0.301	0	0
TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE				RETRY FREQUENCY CUM.%			
TRANSIT	413.203	406.080					0			

Рисунок 5 – Отчеты моделирования для модели с 3 каналами

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY		
OCH	7	0	100000	98539	0.004	1.931	132.138	0		
STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	4	4	0	4	100000	1	0.903	0.226	0	0
TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE				RETRY FREQUENCY CUM.%			
TRANSIT	401.526	401.221					0			

Рисунок 6 – Отчеты моделирования для модели с 4 каналами

Таблица 1 – Изменение характеристик от числа каналов

Экспериментальные	\bar{l}	l_{max}	\bar{w}	\bar{u}	\bar{m}
1 канал	8.411	81	3732.386	4131.004	9.294
2 канала	0.235	16	103.95	503.431	1.132
3 канала	0.031	9	13.591	413.203	0.929
4 канала	0.004	7	1.931	401.526	0.903

Рассчитаем теоретические значения характеристик по полученным отчетам от 1 до 4 каналов с использованием формулы $\bar{v} = \frac{AVE.C.}{\lambda}$ (таблица 2):

Таблица 2 – Теоретический расчет характеристик от числа каналов

Теоретические	\bar{v}	\bar{l}	\bar{w}	\bar{u}	\bar{m}
1 канал	399.111	7.923	3521.5	3920.611	8.821
2 канала	400.88	0.238	106.1	506.98	1.140
3 канала	401.333	0.035	14.03	415.363	0.938
4 канала	401.333	0.004	1.945	403.278	0.907

Построим графики по полученным данным (рисунок 7)

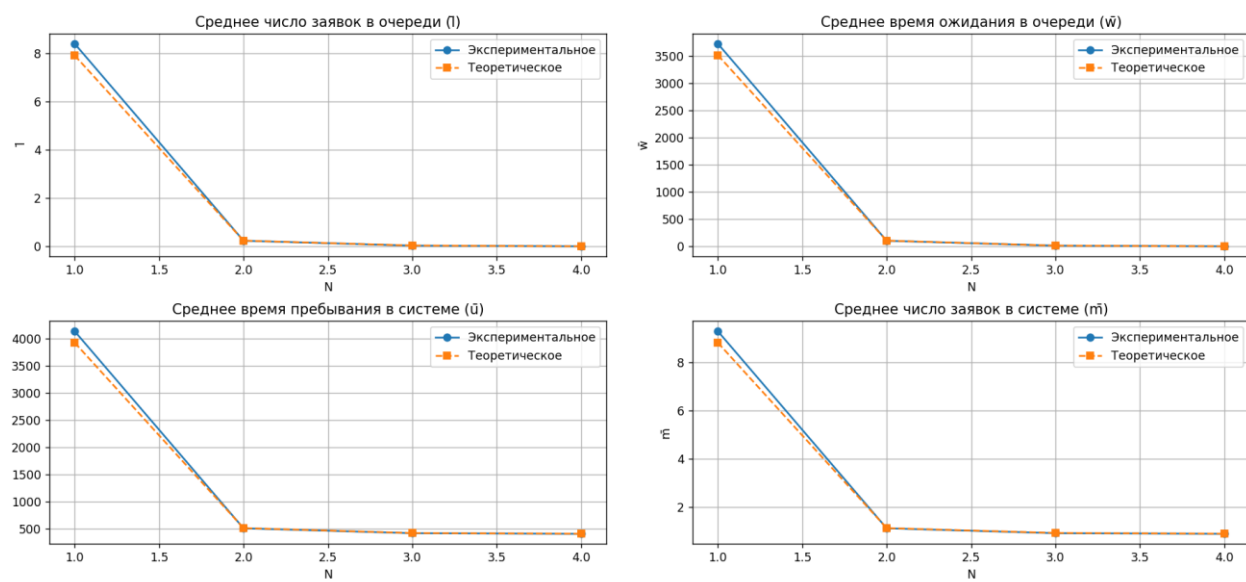


Рисунок 7 – График функций для n-канальной СМО

В результате анализа зависимостей средних характеристик СМО от числа каналов n было показано, что увеличение числа каналов существенно

снижает среднюю длину очереди \bar{l} , среднее время ожидания \bar{w} и среднее время пребывания заявки \bar{u} , а также уменьшает коэффициент мультипрограммирования \bar{m} , что отражает улучшение пропускной способности системы. При увеличении количества каналов с 3 до 4 параметры приблизительно равны, то есть наличие 4 канала мало влияет на производительность СМО. Модельные и теоретические значения практически совпадают, с минимальными расхождениями. Наиболее заметное различие наблюдается при одном канале, где вероятность образования очереди максимальна. В целом результаты подтверждают корректность модели и соответствие теоретическим ожиданиям для СМО М/М/Н с общей очередью.

3. Анализ характеристик СМО от числа обслуживающих каналов при неизменной суммарной вычислительной производительности системы

Рассчитаем среднее значение длительности обслуживания заявок \bar{v}_i каждым OA_i зависящее от числа каналов n (таблица 3):

$$\bar{v}_i = n * \bar{v},$$

где i – номер канала;

Таблица 3 – Среднее значение длительности обслуживания заявок \bar{v}_i

Кол-во каналов	\bar{v}_i
1	400
2	800
4	1600
8	3200
16	6400

Изменяя количество каналов, а также значения \bar{v}_i (первый параметр ADVANCE 400, FN\$EXPON) для соответствующего набора каналов

зафиксируем значения \bar{l} , \bar{w} , \bar{u} , \bar{m} (рисунок 8-12). Полученные значения представлены в таблице 4, причем $\lambda = \frac{\rho_n}{v_i} = \frac{0.9*n}{n*\bar{v}} = \frac{0.9}{400} = 0.00225$.

Таблица 4 – Изменение характеристик от числа каналов при $\rho_n = 0.9 * n$

Экспериментальные	\bar{l}	l_{max}	\bar{w}	\bar{u}	\bar{m}
1 канал	8.411	81	3732.386	4131.004	9.294
2 канала	7.273	61	3223.596	4021.522	9.05
4 канала	6.587	72	2931.268	4520.633	10.17
8 каналов	5.976	53	2648.233	5840.752	13.14
16 каналов	6.589	85	2914.532	9310.890	20.95

```

QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE.(-0) RETRY
OCH             81    9 100009  10064      8.411   3732.386   4150.005    0

STORAGE        CAP. REM. MIN. MAX.  ENTRIES AVL.  AVE.C. UTIL. RETRY DELAY
MKU             1    0    0    1   100001    1    0.898  0.898    0    8

TABLE          MEAN   STD.DEV.      RANGE          RETRY FREQUENCY CUM.%
TRANSIT        4131.004 4292.229              0

```

Рисунок 8 – Отчеты моделирования для модели с 1 каналом при

$$\rho_n = 0.9 * n$$

```

QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE.(-0) RETRY
OCH             61    0 100001  14704      7.273   3223.596   3779.298    0

STORAGE        CAP. REM. MIN. MAX.  ENTRIES AVL.  AVE.C. UTIL. RETRY DELAY
MKU             2    1    0    2   100001    1    1.800  0.900    0    0

TABLE          MEAN   STD.DEV.      RANGE          RETRY FREQUENCY CUM.%
TRANSIT        4021.522 3601.286              0

```

Рисунок 9 – Отчеты моделирования для модели с 2 каналами при

$$\rho_n = 0.9 * n$$

```

QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE.(-0) RETRY
OCH             72    0 100002  22544      6.587   2931.268   3784.408    0

STORAGE        CAP. REM. MIN. MAX.  ENTRIES AVL.  AVE.C. UTIL. RETRY DELAY
MKU             4    2    0    4   100002    1    3.571  0.893    0    0

TABLE          MEAN   STD.DEV.      RANGE          RETRY FREQUENCY CUM.%
TRANSIT        4520.633 4082.121              0

```

Рисунок 10 – Отчеты моделирования для модели с 4 каналами при

$$\rho_n = 0.9 * n$$

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
OCH	53	1	100008	30312	5.976	2648.233	3799.996	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	8	0	0	8	100008	1	7.204	0.901	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TRANSIT	5840.752	4674.958		0		

Рисунок 11 – Отчеты моделирования для модели с 8 каналами при

$$\rho_n = 0.9 * n$$

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
OCH	85	5	100020	39524	6.589	2914.532	4818.690	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	16	0	0	16	100016	1	14.459	0.904	0	4

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TRANSIT	9310.890	7990.619		0		

Рисунок 12 – Отчеты моделирования для модели с 16 каналами при

$$\rho_n = 0.9 * n$$

Выполним всё то же самое, только при $\rho_n = 0.5 * n$. Для этого рассчитаем по новой характеристики СМО.

Интервал между приходами заявок:

$$\lambda = \frac{\rho_n}{\bar{v}} = \frac{0.5 * n}{n * 400} = 0.00125;$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.00125} = 800.$$

В результате получим следующий код на GPSS:

```
Transit TABLE M1,0,25,30 ; Transit time = ucp
EXPON FUNCTION RN1,C24
0,0/.1,.104/.2,.222/.3,.335/.4,.509/.5,.69/.6,.915/.7,1.2/.75,1.38
.8,1.6/.84,1.85/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/.95,2.99/.96,3.2
.97,3.5/.98,3.9/.99,4.6/.995,5.3/.998,6.2/.999,7/.9998,8

MKU STORAGE 1 ; Число каналов n=1,2,4,8,16
GENERATE 800,FN$EXPON ; Интервал между приходами заявок ~ Exp(800)
QUEUE OCH ; Заявка встаёт в очередь «ОСН», если все каналы заняты
ENTER MKU ; Попытка захватить один из свободных каналов MKU
DEPART OCH ; Убирается из очереди после захвата канала
ADVANCE 400,FN$EXPON; Время обслуживания ~ Exp(400*n)
LEAVE MKU ; Заявка освобождает канал после обслуживания
TABULATE Transit ; Запись статистики времени пребывания заявки в системе
TERMINATE 1 ; Завершение заявки
START 100000 ; Время моделирования для прохождения ≥100000 заявок
```

Изменяя количество каналов, а также значения \bar{v}_i (первый параметр ADVANCE 400, FN\$EXPON) для соответствующего набора каналов

зафиксируем значения \bar{l} , \bar{w} , \bar{u} , \bar{m} (рисунок 13-17). Полученные значения представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Изменение характеристик от числа каналов при $\rho_n = 0.5 * n$

Экспериментальные	\bar{l}	l_{max}	\bar{w}	\bar{u}	\bar{m}
1 канал	0.516	16	410.108	810.223	1.013
2 канала	0.333	14	256.421	1063.521	1.329
4 канала	0.176	14	140.052	1738.039	2.173
8 каналов	0.062	12	49.501	3248.898	4.061
16 каналов	0.011	13	8.593	6404.449	8.006

```

QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE.(-0) RETRY
OCH            16      0 100000 49357      0.516   410.108   809.802    0

STORAGE        CAP. REM. MIN. MAX.  ENTRIES AVL.  AVE.C. UTIL. RETRY DELAY
MKU            1      1  0      1   100000    1      0.503 0.503    0      0

TABLE          MEAN   STD.DEV.      RANGE          RETRY FREQUENCY CUM.%
TRANSIT       810.223  812.210                      0

```

Рисунок 13 – Отчеты моделирования для модели с 1 каналом при

$$\rho_n = 0.5 * n$$

```

QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE.(-0) RETRY
OCH            14      0 100000 66440      0.333   265.421   790.886    0

STORAGE        CAP. REM. MIN. MAX.  ENTRIES AVL.  AVE.C. UTIL. RETRY DELAY
MKU            2      2  0      2   100000    1      1.001 0.500    0      0

TABLE          MEAN   STD.DEV.      RANGE          RETRY FREQUENCY CUM.%
TRANSIT       1063.521  990.688                      0

```

Рисунок 14 – Отчеты моделирования для модели с 2 каналами при

$$\rho_n = 0.5 * n$$

```

QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE.(-0) RETRY
OCH            14      0 100002 82320      0.176   140.052   792.078    0

STORAGE        CAP. REM. MIN. MAX.  ENTRIES AVL.  AVE.C. UTIL. RETRY DELAY
MKU            4      2  0      4   100002    1      2.006 0.501    0      0

TABLE          MEAN   STD.DEV.      RANGE          RETRY FREQUENCY CUM.%
TRANSIT       1738.039 1665.574                      0

```

Рисунок 15 – Отчеты моделирования для модели 4 каналами при

$$\rho_n = 0.5 * n$$

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
OCH	12	0	100002	93976	0.062	49.501	821.472	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	8	6	0	8	100002	1	4.020	0.503	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TRANSIT	3248.898	3217.534		0		

Рисунок 16 – Отчеты моделирования для модели с 8 каналами при

$$\rho_n = 0.5 * n$$

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
OCH	13	0	100004	99035	0.011	8.593	886.788	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
MKU	16	12	0	16	100004	1	8.032	0.502	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TRANSIT	6404.449	6413.491		0		

Рисунок 17 – Отчеты моделирования для модели с 16 каналами при

$$\rho_n = 0.5 * n$$

Используя код на языке Python, посчитаем все теоретические значения характеристик при $\rho_n = 0.5 * n$ и $\rho_n = 0.9 * n$. Код представлен ниже:

```
import math
import pandas as pd

# Среднее время обслуживания
v1 = 400

# Функция для вычисления P0
def calc_p0(rho, n):
    # Сумма членов от 0 до n
    sum_terms = 0
    for i in range(0, n + 1):
        term = (rho ** i) / math.factorial(i)
        sum_terms += term

    # Последний член формулы
    last_term = (rho ** (n + 1)) / (math.factorial(n) * (n - rho))
    return 1 / (sum_terms + last_term)

# Функция для расчёта параметров
def mmn_characteristics(n):
    # Интенсивность входного потока
    lambd = 0.9 / v1 # Для rhoN = 0.9 * N
    # Среднее время обслуживания для N-канальной системы
    vi_avg = n * v1
    # Интенсивность обслуживания одного канала
    mu = 1 / vi_avg
    # Коэффициент загрузки системы rhoN
    rhoN = lambd * vi_avg
    # Коэффициент загрузки для формул
    rho = rhoN
    # Вероятность пустой системы P0
    P0 = calc_p0(rho, n)
    # Среднее время ожидания в очереди w
    w = (P0 * rho ** n) / (math.factorial(n - 1) * mu * (n - rho) ** 2)
    # Среднее время обслуживания
    v_serv = 1 / mu
```

```

# Среднее время пребывания в системе u
u = w + v_serv
# Среднее число заявок в очереди l
l = lambd * w
# Среднее число заявок в системе m
m = lambd * u
return l, w, u, m, P0

# Количество каналов
N_values = [1, 2, 4, 8, 16]

# Для  $\rho N = 0.9 \cdot N$ 
data = []
for n in N_values:
    # Рассчёт всех характеристик
    l, w, u, m, P0 = mmn_characteristics(n)
    data.append([n, l, w, u, m])

result = pd.DataFrame(data, columns=["N", "lcp", "wcp", "ucp", "mcp"])

# Округление значений
result["lcp"] = result["lcp"].round(3)
result["wcp"] = result["wcp"].round(3)
result["ucp"] = result["ucp"].round(3)
result["mcp"] = result["mcp"].round(3)

print(result)

```

В результате получим следующие значения представленные в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Теоретические характеристики при $\rho_n = 0.9 * n$

Теоретические	\bar{l}	\bar{w}	\bar{u}	\bar{m}
1 канал	8.100	3600.000	4000.000	9.000
2 канала	7.674	3410.526	4210.526	9.474
4 канала	7.090	3151.013	4751.013	10.690
8 каналов	6.314	2806.132	6006.132	13.514
16 каналов	5.322	2365.374	8765.374	19.722

Таблица 7 – Теоретические характеристики при $\rho_n = 0.5 * n$

Теоретические	\bar{l}	\bar{w}	\bar{u}	\bar{m}
1 канал	0.500	400.000	800.000	1.000
2 канала	0.333	266.667	1066.667	1.333
4 канала	0.174	139.130	1739.130	2.174
8 каналов	0.059	47.235	3247.235	4.059
16 каналов	0.009	7.215	6407.215	8.009

В результате получим графики с теоретическими и экспериментальными значениями параметров для $\rho_n = 0.9 * n$ и $\rho_n = 0.5 * n$ соответственно (рисунок 18-19):

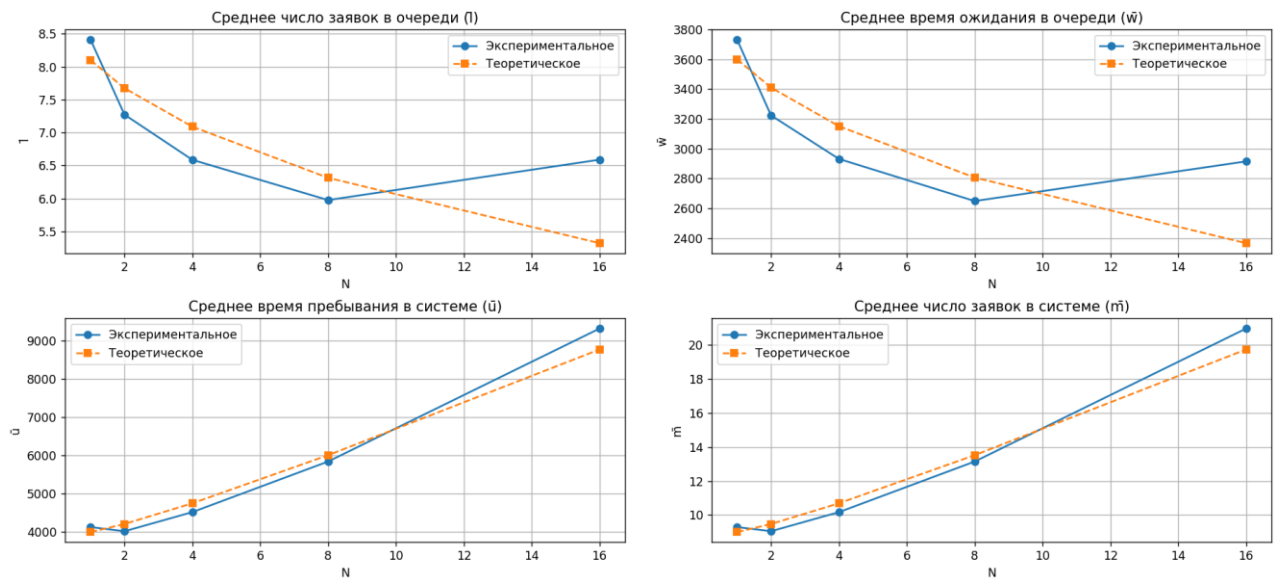


Рисунок 18 – Графики с теоретическими и экспериментальными значениями при $\rho_n = 0.9 * n$

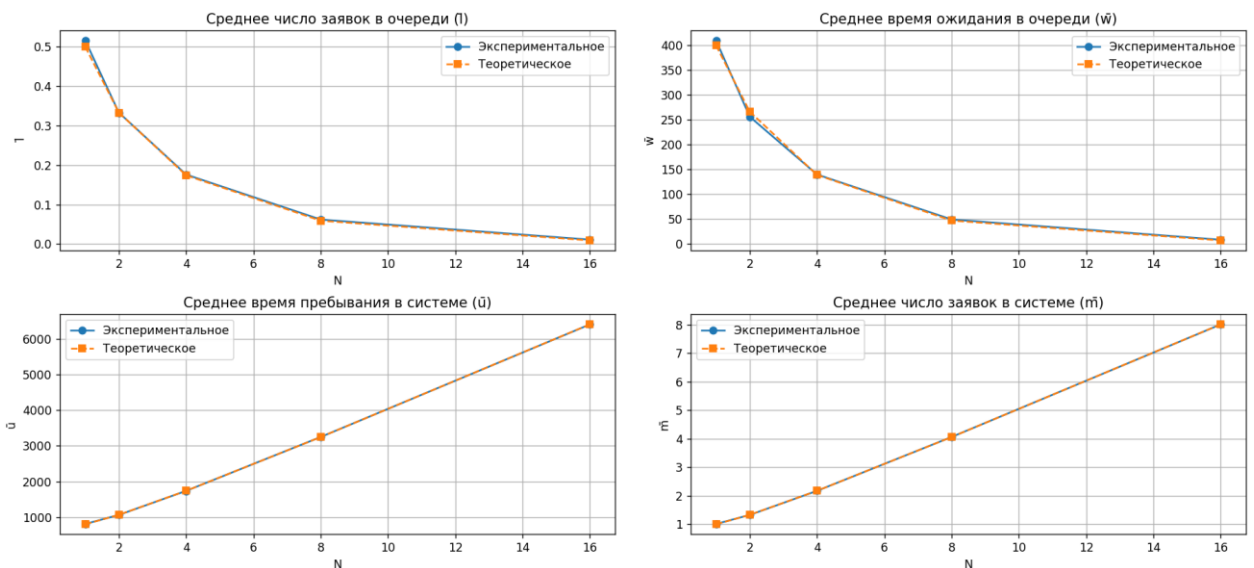


Рисунок 19 – Графики с теоретическими и экспериментальными значениями при $\rho_n = 0.5 * n$

Сравнительный анализ графиков для коэффициентов загрузки $\rho_n = 0.5 * n$ и $\rho_n = 0.9 * n$ показывает принципиально различное поведение системы. При высокой нагрузке ($\rho_1 = 0.9$) средняя длина очереди и среднее время ожидания существенно выше, что отражает значительную загрузку

каналов, и наблюдаются достаточно сильные расхождения между теоретическими и экспериментальными значениями, особенно при большом количестве каналов. В то же время при умеренной нагрузке ($\rho_1 = 0.5$) система работает практически в идеальном режиме: очереди минимальны, а среднее время ожидания и пребывания заявок остаётся небольшим, и экспериментальные значения хорошо согласуются с теоретическими.

Отсюда можно сделать вывод, что при высокой нагрузке и большом числе каналов СМО с неизменной суммарной вычислительной производительностью становится нестабильной, поскольку в условиях высокой загрузки значительно увеличивает чувствительность системы к случайным выбросам входного потока, что приводит к существенным отклонениям экспериментальных от теоретических данных.

4. Выбор оптимальных параметров

Выберем оптимальное количество каналов СМО с неизменной суммарной вычислительной производительностью на основе полученных графиков (рисунок 18-19) параметров системы от числа каналов.

Для системы с $\rho_1 = 0.9$ оптимальным количеством каналов будет являться $n = 8$, поскольку при увеличении числа каналов среднее число заявок в очереди \bar{l} растёт вместе с временем ожидания \bar{w} , что свидетельствует о потере эффективности системы.

Для системы с $\rho_1 = 0.5$ оптимальным количеством каналов будет являться $n = 16$, поскольку все параметры системы являются минимальными и стабильными из-за достаточного запаса производительности, что позволяет компенсировать случайные выбросы входного потока.

Вывод

В ходе работы было изучено влияние числа каналов и коэффициента загрузки на характеристики многоканальной СМО, моделирующей параллельные вычисления.