МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ФАКУЛЬТЕТ ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ

КАФЕДРА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Курсовая работа

по дисциплине

«Моделирование»

на тему

«Компьютерный расчёт показателей разомкнутой системы массового обслуживания с неограниченным временем ожидания»

Выполнил: студент группы P3455

Федюкович С. А.,

____

Проверил: Сентерев Ю. А.

____

Санкт-Петербург

2021г.

Содержание

Задание

В пункте химчистки имеется три аппарата для чистки, $r = 3$. Интенсивность потока посетителей $\lambda = 6$ (чел./ ч). Интенсивность обслуживания посетителей одним аппаратом $\mu = 3$ (чел./ч). Среднее число посетителей, покидающих очередь, не дождавшись обслуживания, $\nu = 1$ (чел./ ч). Найти абсолютную пропускную способность пункта химчистки.

Введение

Теория массового обслуживания — область прикладной математики, занимающаяся анализом процессов в системах производства, обслуживания, управления, в которых однородные события повторяются многократно, например, на предприятиях бытового обслуживания; в системах приема, переработки и передачи информации; автоматических линиях производства и др.

Предметом теории массового обслуживания является установление зависимостей между характером потока заявок, числом каналов обслуживания, производительностью отдельного канала и эффективным обслуживанием с целью нахождения наилучших путей управления этими процессами. Задачи теории массового обслуживания носят оптимизационный характер и в конечном итоге включают экономический аспект по определению такого, варианта системы, при котором будет обеспечен минимум суммарных затрат от ожидания обслуживания, потерь времени и ресурсов на обслуживание и от простоев каналов обслуживания.

1 Теоретические аспекты СМО

1.1 Системы массового обслуживания с отказами

СМО с отказами является такая система, в которой приходящие для обслуживания требования, в случае занятости всех каналов обслуживания, сразу её покидают.

Вероятности состояний системы определяются из Выражения (1):

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} P_0, \tag{1}$$

где $k = 1, 2, ..., N$ — общее число каналов;

$$\rho = \frac{\lambda}{\nu} \text{ — нагрузка;} \tag{2}$$

λ — интенсивность входящего потока требований, ν — интенсивность (производительность) одного канала (прибора) обслуживания, а вероятность отсутствия требований из Выражения (3):

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^{N} \frac{\rho^i}{i!} \right]^{-1}. \tag{3}$$

К основным характеристикам качества обслуживания рассматриваемой СМО относятся:

1. Вероятность отказа $P_{\text{отк}}$ из Выражения (4):

$$P_{\text{отк}} = P_N = \frac{\rho^N / N!}{\sum_{i=0}^{N} \rho^i / i!}. \tag{4}$$

2. Среднее число занятых узлов обслуживания $M_{\text{зан}}$ из Выражения (5):

$$M_{\text{зан}} = \rho(1 - P_N) \tag{5}$$

3. Среднее число свободных узлов обслуживания $M_{\text{св}}$ из Выражения (6):

$$M_{\text{св}} = N - M_{\text{зан}}. \tag{6}$$

4. В системах с отказами события отказа и обслуживания составляют полную группу событий из Выражения (7):

$$P_{\text{отк}} + P_{\text{обс}} = 1. \tag{7}$$

5. Относительная пропускная способность определяется по Выражению (8):

$$Q = P_{\text{обс}} = 1 - P_{\text{отк}} = 1 - P_N. \tag{8}$$

6. Абсолютная пропускная способность СМО с отказами считается по Выражению (9):

$$A = \lambda P_{\text{обс}}. \tag{9}$$

7. Коэффициент занятости узлов обслуживания определяется отношением средним числом занятых каналов к общему числу каналов по Выражению (10):

$$K_{\text{з}} = \frac{M_{\text{зан}}}{N}. \tag{10}$$

1.2 Система массового обслуживания с ограниченной длиной очереди

СМО с ограниченной длиной очереди является такой системой, в которой требование, поступающее на обслуживание, покидает систему, если заняты все каналы обслуживания, и в накопителе заняты все места.

Вероятности состояний S_0, S_1, ... , S_N находятся по Выражению (11):

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!}, \text{ где } (k = 1, 2, ..., N). \tag{11}$$

А вероятности состояний S_{N+1}, S_{N+2}, ..., S_{N+l} находятся по Выражению (12):

$$P_k = \frac{\rho^k}{N^{k-N} N!}, \text{ где } (k = N{+}1, ..., N{+}l), l \text{ — максимальная длина очереди.} \tag{12}$$

Вероятность P_0 рассчитывается по Выражению (13):

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{N} \frac{\rho^k}{k!} + \sum_{k=N+1}^{N+l} \frac{\rho^i}{N^{k-N} N!} \right]^{-1} \tag{13}$$

В большинстве практических задач должно соблюдаться отношение $\frac{\rho}{N} < 1$, тогда выражение для P_0 можно переписать в следующем виде по Выражению (14):

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{N} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{N+1}}{N \cdot N!} \frac{1 - (\frac{\rho}{N})^l}{1 - \frac{\rho}{N}} \right]^{-1}. \tag{14}$$

Вероятность отказа в обслуживании определяется из Выражения (15):

$$P_{\text{отк}} = P_{N+l} = \frac{\rho^N}{N!} \left(\frac{\rho}{N} \right)^l P_0. \tag{15}$$

Среднее число каналов, занятых в обслуживании, и коэффициент занятости определяются по Выражению (16):

$$M_{\text{зан}} = \sum_{k=1}^{N} k P_k + N \sum_{i=1}^{l} P_{N+i}; K_{\text{з}} = \frac{M_{\text{зан}}}{N}. \tag{16}$$

Среднее число свободных аппаратов и коэффициент простоя определяются по Выражению (17):

$$M_0 = N - M_{\text{зан}}; K_0 = \frac{M_0}{N}. \tag{17}$$

Средняя длина очереди определяется с помощью Выражения (18):

$$M_{\text{оч}} = \sum_{k=1}^{l} k P_{N+k} = \frac{\rho^N}{N!} P_0 \sum_{k=1}^{l} k \left(\frac{\rho}{N} \right)^k. \tag{18}$$

1.3 Системы массового обслуживания с ожиданием

СМО с ожиданием аналогична системе массового обслуживания с ограниченной длиной очереди при условии, что граница очереди отодвигается в бесконечность.

Вероятность состояний СМО с ожиданием находят по формулам Выражений (19) и (20):

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} P_0, \text{ для } (k = 1, 2, ..., N), \tag{19}$$

$$P_k = \frac{\rho^k}{N! N^{k-N}} P_0, \text{ для } (k = N+1, ..., N+k, ..., N+\infty). \tag{20}$$

При $\rho/N > 1$ наблюдается явление «взрыва» — неограниченный рост средней длины очереди, поэтому для определения P_0 должно выполняться ограничивающее условие $\rho/N < 1$, и с учетом его запишем Выражение (21):

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{N} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{N+1}}{N!(N-\rho)} \right]^{-1}. \tag{21}$$

К основным характеристикам качества обслуживания СМО с ожиданием относят:

1. Вероятность наличия очереди $P_{\text{оч}}$, т.е. вероятность того, что число требований в системе больше числа узлов по Выражению (22):

$$P_{\text{оч}} = \frac{\rho^{N+1}}{N!(N-\rho)} P_0. \tag{22}$$

2. Вероятность занятости всех узлов системы $P_{\text{зан}}$ по Выражению (23):

$$P_{\text{зан}} = \frac{\rho^N}{(N-1)!(N-\rho)} P_0. \tag{23}$$

3. Среднее число требований в системе $M_{\text{ТР}}$ по Выражению (24):

$$M_{\text{ТР}} = P_0 \left(\rho \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{N+1}(N+1-\rho)}{(N-1)!(N-\rho)^2} \right). \tag{24}$$

4. Средняя длина очереди $M_{\text{оч}}$ по Выражению (25):

$$M_{\text{оч}} = \frac{\rho^{N+1} P_0}{(N-1)!(N-\rho)^2}. \tag{25}$$

5. Среднее число свободных каналов обслуживания $M_{\text{св}}$ по Выражению (26):

$$M_{\text{св}} = P_0 \sum_{k=1}^{N} k \frac{\rho^k}{(N-k)!}. \tag{26}$$

6. Среднее число занятых каналов обслуживания $M_{\text{зан}}$ по Выражению (27):

$$M_{\text{зан}} = N - M_{\text{св}}. \tag{27}$$

7. Коэффициент простоя K_0 и коэффициент загрузки $K_{\text{з}}$ каналов обслуживания системы по Выражению (28):

$$K_0 = \frac{M_{\text{св}}}{N}; K_{\text{з}} = \frac{M_{\text{зан}}}{N}. \tag{28}$$

8. Среднее время ожидания начала обслуживания $T_{\text{ож}}$ для требования, поступившего в систему по Выражению (29):

$$T_{\text{ож}} = \frac{\rho^N}{\mu(N-1)!(N-\rho)^2} P_0. \tag{29}$$

9. Общее время, которое проводят в очереди все требования, поступившие в систему за единицу времени $T_{\text{оож}}$ по Выражению (30):

$$T_{\text{оож}} = \frac{\rho^{N+1}}{(N-1)!(N-\rho)^2} P_0. \tag{30}$$

10. Среднее время $T_{\text{тр}}$, которое требование проводит в системе обслуживания по Выражению (31):

$$T_{\text{тр}} = T_{\text{ож}} + \mu^{-1}. \tag{31}$$

11. Суммарное время, которое в среднем проводят в системе все требования, поступившие за единицу времени $T_{\text{стр}}$ по Выражению (32):

$$T_{\text{стр}} = T_{\text{оож}} + \rho. \tag{32}$$

1.4 Система массового обслуживания с ограниченным временем ожидания

В системах массового обслуживания с ограниченным временем ожидания время ожидания в очереди каждого требования ограничено случайной величиной $t_{\text{ож}}$, среднее значение которого $\overline{t_{\text{ож}}}$.

Величина, обратная среднему времени ожидания, означает среднее количество требований, покидающих очередь в единицу времени, вызванное появлением в очереди одного требования: $\nu = 1 \ / \ \overline{t_{\text{ож}}}$.

При наличии в очереди k требований интенсивность потока покидающих очередь требований составляет $k\nu$.

Для дальнейшего рассмотрения СМО с ограниченным временем ожидания введём новый параметр $\beta = \frac{\nu}{\mu}$, означающий среднее число требований, покидающих систему не обслуженными, приходящиеся на среднюю скорость обслуживания требований.

Формулы для определения вероятностей состояний такой системы имеют вид по Выражениям (33) и (34):

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot P_0, \text{ при } k = 1, 2, ..., N; \tag{33}$$

$$P_{N+l} = P_N \cdot \frac{\rho^l}{\prod_{i=1}^{l}(N + i\beta)}, \text{ при } i = N + 1, ..., N + l. \tag{34}$$

Вероятность P_0 определяют по Выражению (35):

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{N} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^N}{N!} \sum_{l=1}^{\infty} \frac{\rho^l}{\prod_{i=1}^{l}(N + i\beta)} \right]^{-1}, \tag{35}$$

где $\displaystyle\prod_{i=1}^{l}(N + i\beta)$ — произведение сомножителей $N + i\beta$.

В практических задачах сумму бесконечного ряда вычислить достаточно просто, так как члены ряда быстро убывают с увеличением номера.

Средняя длина очереди по Выражению (36):

$$M_{\text{оч}} = \frac{\rho^N}{N!} P_0 \sum_{l=1}^{\infty} l \frac{\rho^l}{\prod_{i=1}^{l}(N + i\beta)}. \tag{36}$$

Вероятность отказа по Выражению (37):

$$P_{\text{отк}} = \frac{\beta}{\rho} M_{\text{оч}}. \tag{37}$$

Среднее число занятых каналов обслуживания и коэффициент загрузки по Выражениям (38) и (39):

$$M_{\text{зан}} = \sum_{k=1}^{N} k P_k + N \sum_{l=1}^{\infty} P_{N+l}; \tag{38}$$

$$K_{\text{з}} = \frac{M_{\text{зан}}}{N}. \tag{39}$$

Среднее число свободных каналов обслуживания и коэффициент простоя по Выражению (40):

$$M_{\text{св}} = N - M_{\text{зан}}; K_0 = \frac{M_{\text{зан}}}{N}. \tag{40}$$

Относительная пропускная способность по Выражению (41):

$$Q = 1 - P_{\text{отк}}. \tag{41}$$

2 Практическая реализация СМО

2.1 Решение задачи

Сперва необходимо решить поставленную в работе задачу на бумаге.

Имеем: $r = 3, \lambda = 6, \mu = 3, \nu = 1$. Находим: $\rho = \lambda/\mu = 6/3 = 2$,

$$P_0 = \left[1 + \frac{2}{1!} + \frac{2^2}{2!} + \frac{2^3}{3!} + \frac{2^3}{3!} \cdot 1,219\right]^{-1} \approx 0,126.$$

Вероятность занятости всех приборов равна $P_{\text{зан}} = 1 - P_0 = 0,874$. Тогда абсолютная пропускная способность может быть получена как произведение: $A = NP_{\text{зан}} = 3 \cdot 0,874 = 2,622$. Таким образом, $A = 2,622$ посетителя в час.

2.2 Расчёт показателей

Следующим шагом рассчитаем все основные показатели СМО для последующей проверки:

1. Вероятности состояний системы:

$$P_1 = \frac{2^1}{1!} \cdot 0,126 = 0,252;\ \rho_1 = \frac{0,252 \cdot 1!}{0,126} = 2;$$

$$P_2 = \frac{2^2}{2!} \cdot 0,126 = 0,252;\ \rho_1 = \frac{0,252 \cdot 2!}{0,126} = 4;$$

$$P_3 = \frac{2^3}{3!} \cdot 0,126 = 0,168;\ \rho_1 = \frac{0,168 \cdot 3!}{0,126} = 8.$$

2. Средняя длина очереди:

$$M_{\text{оч}} = \frac{2^3}{3!} \cdot 0,126 \cdot 2,343 \approx 0,392$$

3. Среднее число требований:

$$\beta = \frac{1}{3}$$

4. Вероятность отказа:

$$P_{\text{отк}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,392 = 0,065$$

5. Среднее число занятых каналов обслуживания и коэффициент загрузки:

$$M_{\text{зан}} = 1 \cdot 0,252 + 2 \cdot 0,252 + 3 \cdot 0,168 + 3 \cdot 0,461 \approx 1,869;$$

$$K_{\text{З}} = \frac{1,721}{3} \approx 0,623.$$

6. Среднее число свободных каналов обслуживания и коэффициент простоя:

$$M_{\text{св}} = 3 - 1,869 = 1,131;$$
$$K_0 = \frac{1,721}{3} = K_{\text{З}} = 0,623.$$

7. Относительная пропускная способность:

$$Q = 1 - P_{\text{отк}} = 0,935.$$

2.3 Расчёт показателей при помощи электронных таблиц

Электронная таблица — компьютерная программа, позволяющая проводить вычисления с данными, представленными в виде двумерных массивов, имитирующих бумажные таблицы.

В данной работе в качестве электронной таблицы будет использоваться Google Sheets.

Для расчёта была создана новая таблица и введена информация о характеристиках СМО в колонки на Рисунке 1:

	A	B
1	Характеристики СМО:	
2	r:	3
3	lamda:	6
4	mu:	3
5	nu:	1

Рисунок 1: Характеристики СМО

Следующим шагом рассчитаем значение ρ, введя нужную формулу в ячейку $E2$ на Рисунке 2:

E2 fx =B3 / B4

	A	B	C	D	E
1	Характеристики СМО:			Расчитанные характеристики:	
2	r:	3		rho:	2
3	lamda:	6			
4	mu:	3			
5	nu:	1			

Рисунок 2: Расчёт ρ СМО

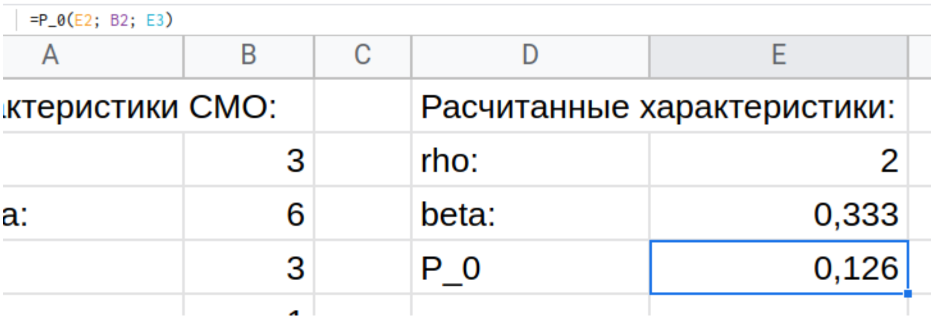
Дальше рассчитаем значение β, введя формулу в ячейку $E3$ на Рисунке 3:

fx =B5 / B4

A	B	C	D	E
рактеристики СМО:			Расчитанные характеристики:	
	3		rho:	2
ıda:	6		beta:	0,333

Рисунок 3: Расчёт β СМО

После пишем формулу для вероятности того, что все каналы свободны на Рисунке 4:



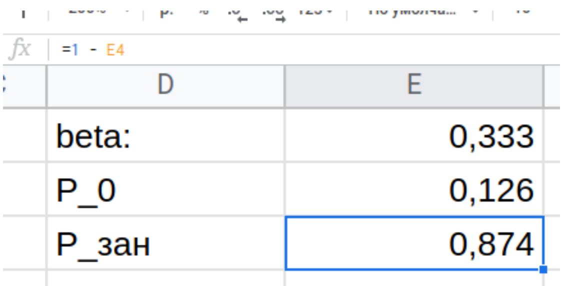
=P_0(E2; B2; E3)

A	B	C	D	E
ктеристики СМО:			Расчитанные характеристики:	
	3		rho:	2
a:	6		beta:	0,333
	3		P_0	0,126

Рисунок 4: Расчёт P_0 СМО

В данном случае функция P_0 является макросом, написанным на языке JavaScript, код которого приведён ниже.

Находим вероятность того, что все каналы заняты на Рисунке 5:

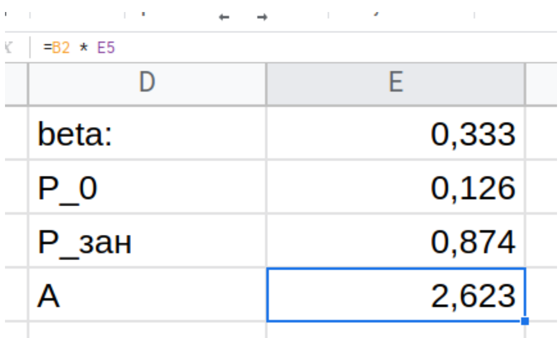


=1 - E4

D	E
beta:	0,333
P_0	0,126
P_зан	0,874

Рисунок 5: Расчёт $P_{\text{зан}}$ СМО

В итоге, находим абсолютную пропускную способность пункта химчистки на Рисунке 6:



=B2 * E5

D	E
beta:	0,333
P_0	0,126
P_зан	0,874
A	2,623

Рисунок 6: Расчёт A СМО

Находим вероятности состояний системы, написав формулу один раз и перенеся её на три строчки ниже, на Рисунке 7:

=СТЕПЕНЬ(E2; 3) / ФАКТР(3) * E4

D	E
P_зан:	0,874
A:	2,623
P_1:	0,251
P_2:	0,251
P_3:	0,168

Рисунок 7: Расчёт вероятностей СМО

Аналогично добавим формулы вероятностей на Рисунке 8:

=(E9 * ФАКТР(3)) / E4

D	E
P_3:	0,168
p_1:	2
p_2:	4
p_3:	8

Рисунок 8: Расчёт вероятностей СМО

Дальше добавим формулу $M_{\text{оч}}$ на Рисунке 9:

=M_Q(E2; B2; E4; E3)

C	D	E
	p_2:	4
	p_3:	8
	M_оч:	0,392

Рисунок 9: Расчёт $M_{\text{оч}}$ СМО

Следующим шагом рассчитаем вероятность отказа $P_{\text{отк}}$ на Рисунке 10:

fx =(E3 / E2) * E13

B	C	D	E
		p_2:	4
		p_3:	8
		M_оч:	0,392
		P_отк	0,065

Рисунок 10: Расчёт $P_{\text{отк}}$ СМО

После рассчитаем $M_{\text{зан}}$ на Рисунке 11:

=M_B(E7:E9; E2; E3)

C	D	E
	M_оч:	0,392
	P_отк	0,065
	M_зан:	1,869

Рисунок 11: Расчёт $M_{\text{зан}}$ СМО

Дальше найдём коэффициент загрузки $K_{\text{з}}$ на Рисунке 12:

=E15 / B2

C	D	E
	M_оч:	0,392
	P_отк	0,065
	M_зан:	1,869
	K_з:	0,623

Рисунок 12: Расчёт $K_{\text{з}}$ СМО

Последней характеристикой рассчитаем относительную пропускную способность Q на Рисунке 13:

=1 - E14

D	E
M_зан:	1,869
K_з:	0,623
M_св:	1,131
Q:	0,935

Рисунок 13: Расчёт Q СМО

В итоге, получаем таблицу со всеми характеристиками СМО на Рисунке 14:

Характеристики СМО:			Расчитанные характеристики:	
r:	3		rho:	2
lamda:	6		beta:	0,333
mu:	3		P_0:	0,126
nu:	1		P_зан:	0,874
			A:	2,623
			P_1:	0,251
			P_2:	0,251
			P_3:	0,168
			p_1:	2
			p_2:	4
			p_3:	8
			M_оч:	0,392
			P_отк	0,065
			M_зан:	1,869
			K_з:	0,623
			M_св:	1,131
			Q:	0,935

Рисунок 14: Таблица с характеристиками СМО

Код макроса для расчёта характеристик:

```
/** @OnlyCurrentDoc */

function factorial (n) {
  if (n <= 1)
    return 1;
  return factorial(n - 1) * n;
}

function P_0(rho, n, beta) {
  return 1 / (
      Array(n + 1).fill(0).reduce(
        (res, v, k) => res + Math.pow(rho, k) / factorial(k),
         ↪  0)
       + (
        Math.pow(rho, n) / factorial(n))
      * Array(1000).fill(0).reduce(
        (res, v, l) => res + Math.pow(rho, l + 1) / Array(l +
         ↪  1).fill(0).reduce((resi, v, i) => resi * ( n + (i
         ↪  + 1) * beta), 1),
      0)
  );
}

function M_Q(rho, n, p_0, beta) {
  return (Math.pow(rho, n) / factorial(n)) * p_0 *
   ↪  Array(1000).fill(0).reduce(
    (res, v, l) => res + (l + 1) * Math.pow(rho, l + 1) /
     ↪  Array(l + 1).fill(0).reduce((resi, v, i) => resi * ( n
     ↪  + (i + 1) * beta), 1),
  0);
```

```
}

function M_B(p_n, rho, beta) {
  const n = p_n.length ? p_n.length * p_n[0].length : 0;
  if (!n) return 0;

  return p_n.reduce((res, p_k, k) => res + (k + 1) * p_k[0],
   ↪  0) + n * Array(1000).fill(0).reduce(
    (res, v, l) => res + p_n[p_n.length - 1][0] *
     ↪  Math.pow(rho, l + 1) / Array(l +
     ↪  1).fill(0).reduce((resi, v, i) => resi * ( n + (i + 1)
     ↪  * beta), 1),
  0);
}
```

Все найденные характеристики сходятся с вычислительными значениями, а это значит, что всё выполнено верно.

Заключение

Теория массового обслуживания для химчистки — это, по сути, средство анализа затрат. Для отдела было бы непомерно дорого или свидетельствовало бы о том, что у них не так много клиентов, чтобы никому из их клиентов никогда не приходилось стоять в очереди. В качестве упрощенного примера, для химчистки, чтобы исключить обстоятельства, когда людям приходится стоять в очереди, чтобы постирать одежду. Таким образом, химчистка может использовать информацию, полученную из теории очередей, чтобы настроить свои операционные функции таким образом, чтобы найти баланс между стоимостью обслуживания клиентов и неудобствами для клиентов, вызванными простоями в очереди.

Работа химчистке отличается достаточно большим потоком информации от клиентов и сотрудников, которая достаточно быстро распределяется. При помощи имитационного моделирования, осуществлен расчёт основных характеристик СМО.

Список литературы

1. Головко Николай Иванович. Исследование моделей систем массового обслуживания в информационных сетях : диссертация ... доктора технических наук : 05.13.18 / Головко Николай Иванович; [Место защиты: Ин-т автоматики и процессов управления ДВО РАН].- Владивосток, 2007.- 404 с.;

2. Климов Г.П. Теория массового обслуживания. / 2-е издание, переработанное. – М.: Издательство Московского университета. – 2011. – 312с.

3. Mosquera, A., Olarte Pascual, C. y Juaneda Ayensa , E. (2017): Understanding the customer experience in the age of omni-channel shopping, Icono 14, volumen 15 (2), pp. 235-255. doi: 10.7195/ri14.v15i2.1070;

4. Ngai, E. W. T., Moon, K. K., Lam, S. S., Chin, E. S. K., & Tao, S. S. C. (2015). Social media models, technologies, and applications. Industrial Management & Data Systems, 115(5), 769–802;

5. Кетокиви М.А., Шредер Р.Г. (2004) Стратегические, структурные непредвиденные обстоятельства и институциональные объяснения в принятии инновационных методов производства. Дж Опер Манаг 22: 63–89;

6. Pourkhani, A. & Abdipour, Khadije & Baher, B. & Moslehpour, Massoud. (2019). The impact of social media in business growth and performance: A scien-tometrics analysis. International Journal of Data and Network Science;

7. Астахова Н.И. Менеджмент : учебник для прикладного бакалавриата / Н. И. Астахова [и др.] ; ответственный редактор Н. И. Астахова, Г. И. Моск-витин. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 422 с;