

Кафедра инженерной кибернетики

ОТЧЕТ

ПО

ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

**«Имитационное моделирование многоканальной системы
массового обслуживания с взаимопомощью между каналами
типа «все как один» и ограниченной очередью»**

учебная дисциплина «Имитационное моделирование»
бакалавриат по направлению 01.03.04 Прикладная математика

Группа: БПМ-19-4

Учащийся: Костромин Александр

Преподаватель: доц., к.т.н. Кожаринов А.С.

Оценка: 3

Дата защиты: 31.05.2022

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Описание заданной системы массового обслуживания

В состав рассматриваемой системы S входят $M > 1$ пунктов обслуживания заявок (ПОЗ), представляющих собой многоканальные СМО с бесконечной очередью и ограничением на время ожидания в очереди. Каждый такой ПОЗ представляет собой модель в виде «СМО с нетерпеливыми клиентами» (см. рис.1).

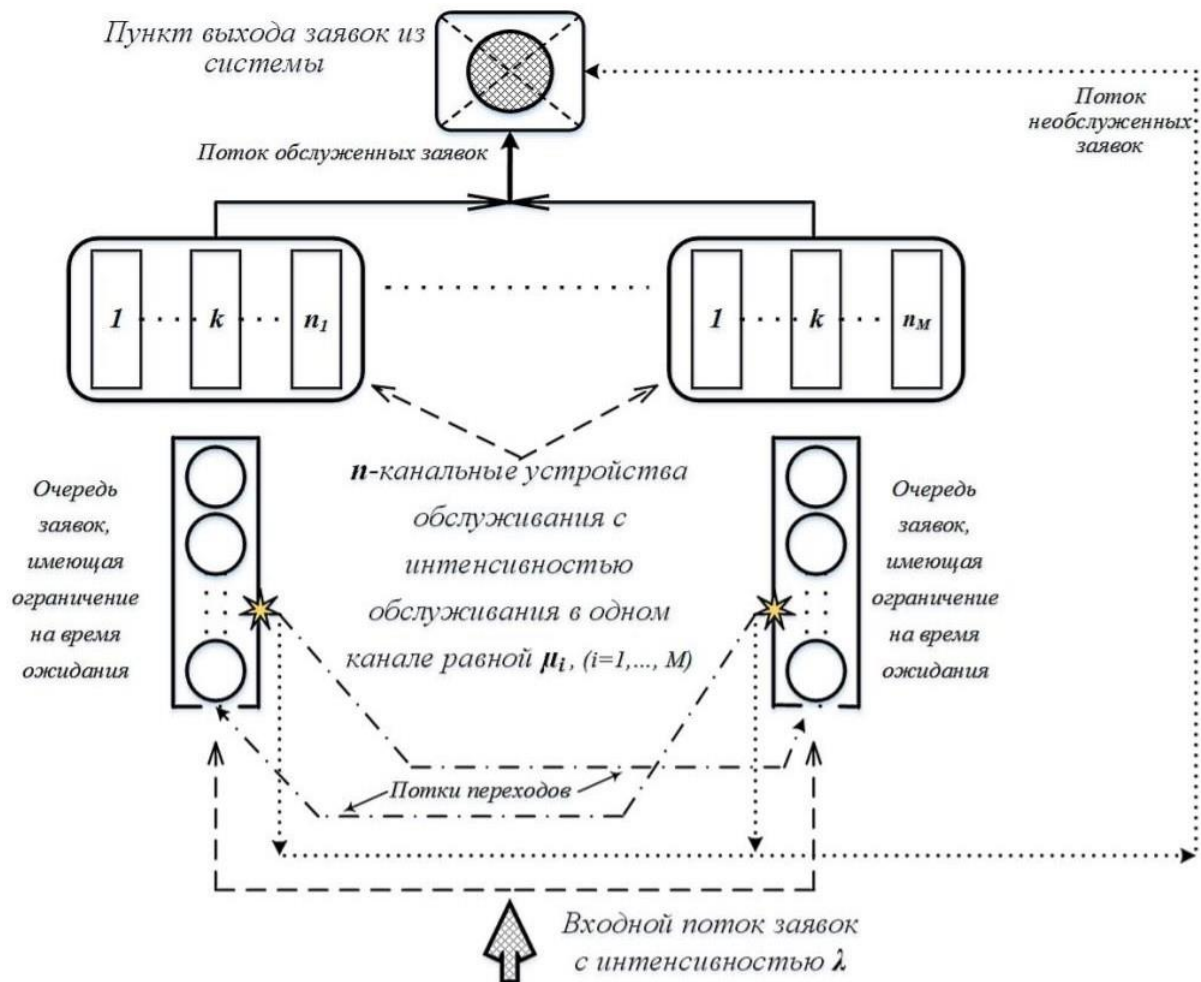


Рисунок 1. Общая схема системы

Известны следующие особенности структуры и функционирования системы S .

- 1) Все существующие в S потоки случайных событий являются стационарными пуассоновскими и, следовательно, время возникновения очередного события подчиняется показательному (экспоненциальному) закону распределения с известной интенсивностью.
- 2) В систему S из единственного источника поступает общий входной поток заявок с известной интенсивностью λ .

Индивидуальное различие заявок на обслуживание отсутствует, т.е. все заявки

одинаковы по набору свойств и способам поведения (см. далее).

3) Каждый ПОЗ в S принадлежит к классу СМО с «нетерпеливыми клиентами».

Количество каналов устройств в разных ПОЗ различно и равно n_i ($i = 1, \dots, M$). В рамках одного устройства обслуживания интенсивность обслуживания у всех каналов одинакова и равна μ_i [заяв./мин] (где $i = 1, \dots, M$).

Когда очередная заявка поступает в устройство, то её обслуживанием занимается ровно один канал устройства и, таким образом, всё устройство одновременно может обслуживать максимально n_i заявок ($i = 1, \dots, M$).

Обслуженная заявка освобождает занятый канал и покидает систему S в потоке обслуженных заявок через единственный пункт выхода из системы.

Каждый ПОЗ располагает очередью, длина которой не ограничена. Однако общей особенностью всех ПОЗ, входящих в S , является то, что ограничено время ожидания в очереди ($T_{ож}$).

Время ожидания в очереди, после которого заявка покидает ПОЗ, не получив в нем обслуживания, является непрерывной случайной величиной. Она подчиняется экспоненциальному закону распределения и имеет математическое ожидание $M[T_{ож}] = \bar{T}_ж$. Для упрощения будем считать, что для всех ПОЗ, входящих в S , значение $\bar{T}_ж$ одинаково.

Дисциплина очереди в каждом ПОЗ – FCFS (First Come First Served (FIFO)).

Для СМО с нетерпеливыми клиентами существуют особенности повеления заявок, связанные с процессами покидания очереди, которые будут описаны в терминах предметной области. Посетители РД обладают некоторыми дополнительными возможностями поведения в системе, которые могут быть сформулированы в виде следующих правил.

- 1) Каждый клиент, зайдя в РД, направляется к тому ПОЗ, очередь перед которой имеет наименьшую длину. Если таких ПОЗ больше одного, то выбор ПОЗ осуществляется случайным образом.
- 2) В момент занятия клиентом очереди в первый (или очередной) ПОЗ, для него определяется конкретное время ожидания обслуживания в этом ПОЗ.
- 3) Каждый клиент по истечении времени ожидания покидает очередь согласно одному из двух сценариев: переход к другому ПОЗ для покупки еды либо уход из РД без еды (уход необслуженным).
- 4) Каждый клиент обладает следующим свойством – число повторных попыток обслуживания. Свойство это определяет: сколько раз клиент может переходить

от одного ПОЗ к другому.

При переходе к новому ПОЗ клиент выбирает то из них, очередь перед которым имеет наименьшую длину. Если таких ПОЗ больше одного, то выбор ПОЗ осуществляется случайным образом.

Значение такого параметра заявки, как число повторных попыток обслуживания, является целочисленной равномерно распределенной случайной величиной в интервале $[0; M]$. Конкретное значение этого параметра определяется индивидуально для каждого клиента один раз в момент его появления в РД.

Клиент может возвращаться в тот ПОЗ, в котором он уже был ранее и который ему «пришлось» покинуть.

Если клиент исчерпал все попытки получить обслуживание, но так его и не получил, то он покидает РД необслуженным, т.е. «попадает» в поток необслуженных заявок и покидает систему S через пункт выхода (см. рис.1).

Для этого правила существуют два исключения.

Исключение 1.

Клиент по истечении времени ожидания никогда не покидает очередь (остается в ПОЗ) при условии, что он находится на первом или втором месте в очереди. Этим исключением определяется ситуация, когда клиент почти дождался обслуживания и поэтому переходить в другой ПОЗ или уходить из РД нет смысла.

Исключение 2.

По истечении времени ожидания клиент не покидает очередь (остается в текущем ПОЗ и не переходит к другому ПОЗ), если одновременно выполняются следующие два условия:

- перед клиентом в очереди находится ровно два других клиента (заявки);
- количество использованных повторных попыток обслуживания больше нуля.

Этим исключением определяется ситуация, когда клиент также почти дождался обслуживания в текущем ПОЗ и поэтому переходить в другое ПОЗ нет необходимости. Однако если количество использованных повторных попыток обслуживания равно нулю, то клиент покидает РД в потоке необслуженных заявок через пункт выхода из системы.

- 1) Получение обслуживания. Основная стандартная ситуация – клиент дождался того момента, когда в ПОЗ (в очереди которого он находился) он может заказать себе еду, т.е. получить обслуживание. Обслуживанием посетителя занимается

ровно один сотрудник. После того как его заявка на приобретение еды выполнена (обслужена), клиент покидает РД.

- 2) Переход клиента к другому ПОЗ. В этой ситуации происходит смена клиентом одного ПОЗ на другой. Когда клиент находится в очереди ПОЗ и время ожидания в этой очереди истекло, он делает ещё одну попытку приобрести еду, перейдя к другому ПОЗ, при условии, что у него не исчерпано число повторных попыток обслуживания и не выполняются условия описанных ранее исключений.

При переходе к новому ПОЗ клиент выбирает тот из них, очередь перед которым имеет наименьшую длину. Если таких ПОЗ больше одного, то выбор осуществляется случайным образом. В новом ПОЗ клиент всегда встает в конец очереди.

- 3) Уход из системы необслуженным. Клиент покидает очередь того ПОЗ, в котором он находится, и уходит из РД без еды (необслуженным) когда выполняются одновременно следующие условия:

- время ожидания в очереди истекло;
- клиент находится в очереди на третьем месте или далее от устройства;
- исчерпано число повторных попыток обслуживания.

Численные значения характеристик СМО

Таблица 1. Данные варианта 18

Количество ПОЗ, M	Количество каналов в устройствах, n_i	Среднее время ожидания, $\bar{T}_{\text{ож}}$	Контрольное условие эффективности системы, S
7	$n_1 = 3$ $n_2 = n_3 = n_4 =$ $n_5 = n_6 = n_7 = 5$	6.50	$P_{0,s} \leq 0.15$

Содержание решаемой задачи

Разработать имитационную модель (ИМ) заданной системы S , используя систему имитационного моделирования AnyLogic©, корректно функционирующую в соответствии с заданными параметрами.

Используя разработанную ИМ: определить такие значения интенсивности входного потока заявок в систему λ и интенсивности обслуживания для каждого устройства μ_i ($i = 1, \dots, M$) в системе S , при которых в установившемся режиме работы S выполнялось контрольное условие эффективности работы системы S .

Контрольным условием эффективности работы системы S является ограничение, накладываемое на оценку вероятности $P_{0,S}$ состояния полного простоя системы S в целом. Это означает то, что общая доля времени, когда в системе S одновременно простаивают (не заняты обслуживанием) все ПОЗ, не должно превышать заданного значения.

Период моделирования – с 7.00 до 24.00. Единица модельного времени – минута. На начало моделирования в системе S заявок нет. Имитационная модель должна иметь анимированную визуализацию с использованием стандартных средств анимации системы AnyLogic©, отражающую поведение объектов.

Требования:

- 1) Разработанная имитационная модель в процессе функционирования должна определять заданное множество специальных *статистик* для системы S в целом и для каждого ПОЗ в отдельности (см. табл. 2).
- 2) Разработанная имитационная модель в процессе функционирования должна визуальнотображать заданное множество статистик на форме ИМ указанными в табл. 2 способами.

Таблица 1. Определяемые характеристики и показатели эффективности СМО

Название характеристики СМО	Способ отражения	
	Число	График (диаграмма)
Система в целом		
Интенсивность входного потока	+	—
Интенсивность выходного потока обслуженных заявок	+	—
Интенсивность выходного потока необслуженных заявок	+	—
Оценка вероятности простоя системы в целом $P_{0,S}$	+	+
Количество заявок, вошедших в систему	+	—
Общее число обслуженных заявок	+	—
Общее число заявок, покинувших систему необслуженными	+	—
Общее число переходов из одного ПОЗ в другой	+	—
Среднее число заявок в системе	+	+
Среднее число заявок во всех очередях	+	+
Среднее число заявок, находящихся на обслуживании	+	+
Среднее время пребывания заявки в системе	+	+

Пункт обслуживания заявок		
Интенсивность обслуживания одним каналом	+	—
Оценка вероятности простоя для каждого устройства p_0	+	—
Интенсивность потока покидания очереди	+	+
Число обслуженных заявок	+	—
Число заявок, покинувших очередь необслуженными	+	—
Среднее время пребывания заявки в ПОЗ	+	—
Среднее время ожидания заявки в очереди	+	—
Среднее число занятых каналов	+	+
Среднее число заявок в очереди	+	+

Все перечисленные показатели эффективности работы СМО вычисляются для каждого момента модельного времени.

ОПИСАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Диаграмма процесса

Для моделирования заданной системы массового обслуживания, состоящей из источника заявок, многоканальных СМО с бесконечной очередью и ограничениями на время ожидания в очереди и выхода из системы, будем использовать следующую диаграмму процесса:

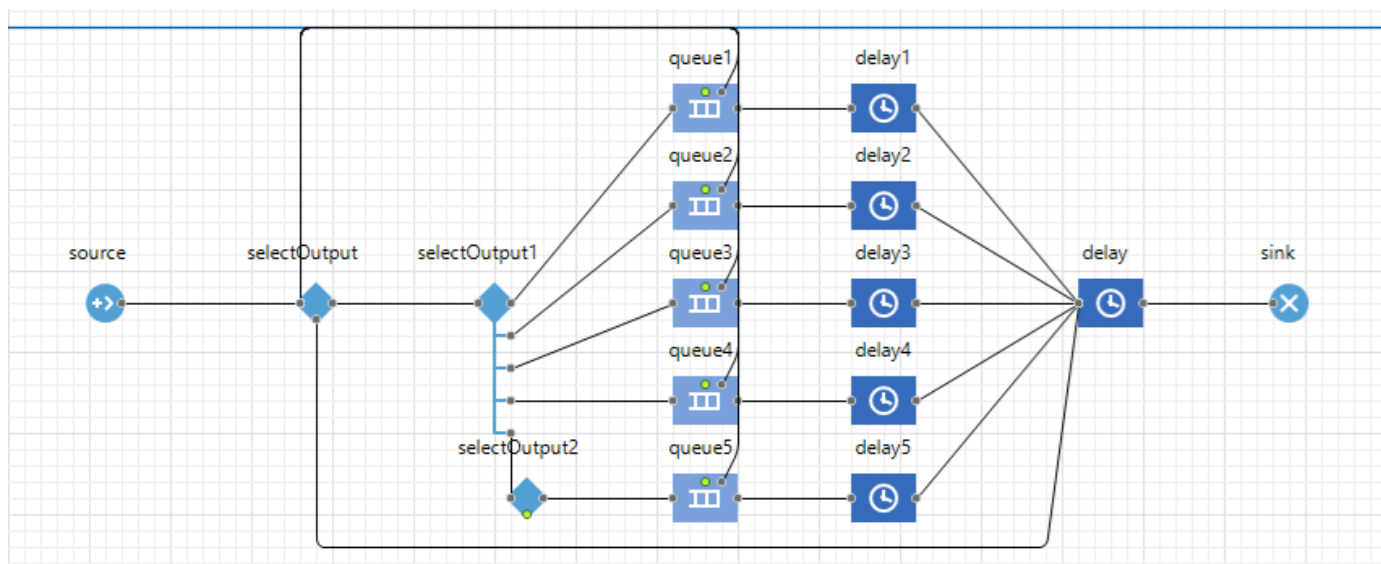


Рисунок 2. Диаграмма процесса

Схема модели состоит из источника агентов *Customer*, которые поступают в блок *SelectOutput*, и далее, если они не исчерпали попытки повторного обслуживания, направляются в очередь соответствующего ПОЗ. Если посетитель ожидает в очереди дольше *time_limit*, он покидает блок через порт *outTimeout* и направляется к входу *SelectOutput*, где снова происходит анализ количества попыток повторного обслуживания и в случае выполнения условия снова происходит выбор очереди, если условие не выполняется, то заявка покидает систему, попадая в блок *Sink*.

Блок *source* создает агентов *Customer* с интенсивностью λ

Если клиент не исчерпал попытки повторного обслуживания

```
agent.remainingAttempts >= 0
```

он направляется на выход **True** блока *SelectOutput*, уменьшается счетчик его попыток. При выходе **False** увеличивается число необслуженных покупателей *totalNotServed*

Действия	
При входе:	<pre>totalInQueueSelect++; currInQueueSelect++;</pre>
При выходе (true):	<pre>currInQueueSelect--; transitions++; atem = agent.queue;</pre>
При выходе (false):	<pre>currInQueueSelect--; totalNotServed++; timeInSystem.add(0)</pre>

Рисунок 3. Блок *SelectOutput*

Далее для каждой из 7 ПОЗ существует блок **queue** и **delay**

Блок **queue**


В данном блоке происходит ожидание посетителей своей очереди, предусмотрен уход по таймауту.


Действия	
При входе:	<pre>totalInQueue++; currInQueue++; agent.stateStart = time(); t1.add(time());</pre>
При подходе к выходу:	
При выходе:	<pre>currInQueue--; timeInQueue.add(time() - agent.stateStart); IntLeave1.add(0); avgTimeInQ1.add(time() - agent.stateStart);</pre>
При уходе по таймауту:	<pre>currInQueue--; timeInQueue.add(time() - agent.stateStart); i1++; agent.remainingAttempts--; IntLeave1.add(0); countNotServed_1++; agent.queue = selectQueue();</pre>
При извлечении:	


Блок delay

В данном происходит обслуживание заявок, одновременно могут обслуживаться n_i количество заявок


Функция задержки


Время задержки:  минуты ▼


Вместимость: 


Максимальная вместимость:  ☐

▼ Действия

При входе: 

При подходе к выходу: 

При выходе: 

При извлечении: 

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

При запуске модели отображены основные статистики СМО с описанием, их представление в виде графиков, приведена 3D анимация.



Рисунок 6. Запущенная модель

Количество пунктов обслуживания заявок, $M = 5$

Количество каналов в устройствах ПОЗ, $n_i, n_1 = n_2 = n_3 = 4, n_4 = n_5 = 5$

Среднее время ожидания, $T_{ож} = 8,00$

Контрольное условие эффективности системы было достигнуто посредством выбора значения $\lambda = 14$. Такое значение параметра обеспечило существование отказов в обслуживании, что при высоком пороге среднего времени ожидания в очереди ($T_{ож} = 8,00$) могло наблюдаться только при высокой нагрузке системы.

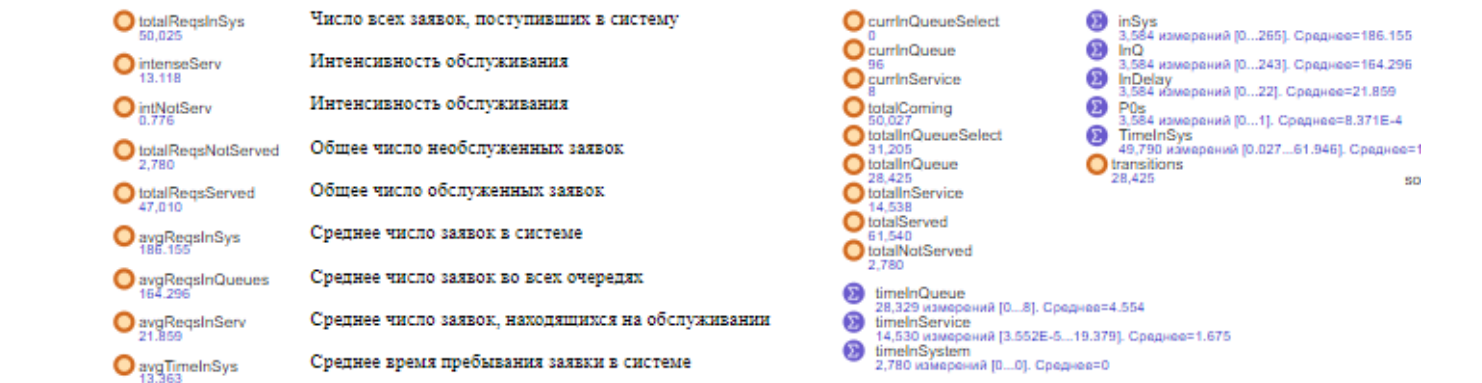
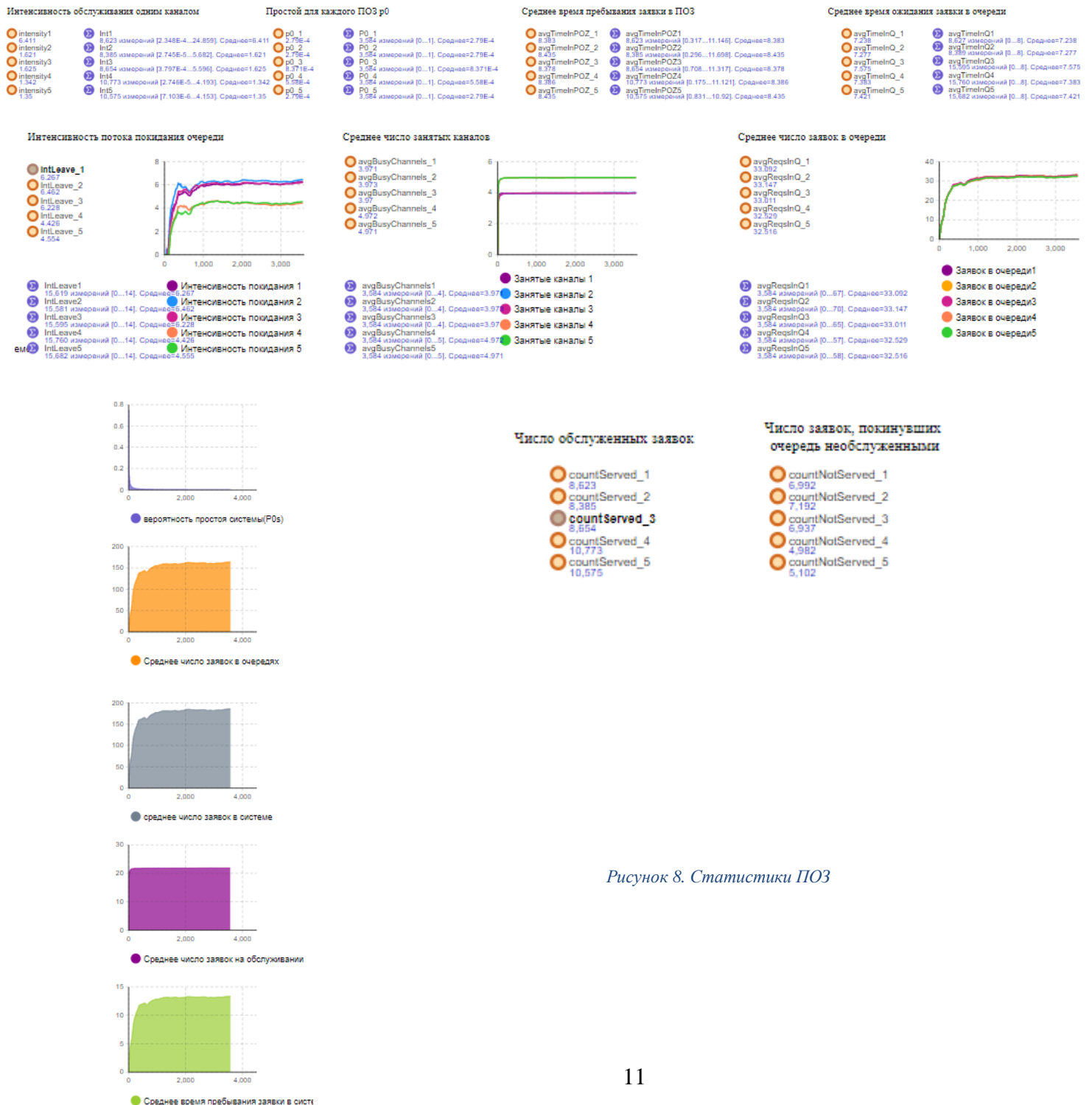


Рисунок 7. Статистики системы в целом



ВЫВОДЫ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

В результате выполнения данной лабораторной работы была разработана абстрактная система с 5 пунктами ПОЗ, представляющих из себя СМО «с нетерпеливыми клиентами». Модель была разработана и визуализирована с помощью системы имитационного моделирования AnyLogic®. Разработанная имитационная модель определяет и визуально отображает на форме ИМ заданное множество специальных статистик в процессе функционирования. Имитационная модель имеет анимированную визуализацию с использованием стандартных средств анимации системы AnyLogic®, отражающую поведение посетителей ресторанного дворика.