Лабораторная работа №11

Модель системы массового обслуживания

Астраханцева А. А.

Содержание

# 1 Введение

## 1.1 Цель работы

Реализовать модель в CPN tools.

## 1.2 Задание

* Реализовать в CPN Tools модель системы массового обслуживания M|M|1.
* Настроить мониторинг параметров моделируемой системы и нарисовать графики очереди.

# 2 Выполнение лабораторной работы

## 2.1 Описание модели

В систему поступает поток заявок двух типов, распределённый по пуассоновскому закону. Заявки поступают в очередь сервера на обработку. Дисциплина очереди - FIFO. Если сервер находится в режиме ожидания (нет заявок на сервере), то заявка поступает на обработку сервером.

Будем использовать три отдельных листа: на первом листе опишем граф систем (рис. 1), на втором — генератор заявок (рис. 2), на третьем — сервер обработки заявок (рис. 3).

Сеть имеет 2 позиции (очередь — Queue, обслуженные заявки — Complited) и два перехода (генерировать заявку — Arrivals, передать заявку на обработку серверу — Server). Переходы имеют сложную иерархическую структуру, задаваемую на отдельных листах модели (с помощью соответствующего инструмента меню — Hierarchy).

Между переходом Arrivals и позицией Queue, а также между позицией Queue и переходом Server установлена дуплексная связь. Между ереходом Server и позицией Complited — односторонняя связь.

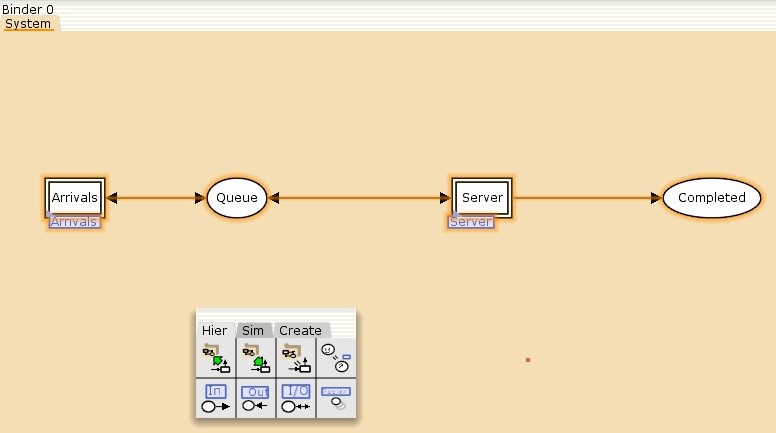


Рис. 1: Граф сети системы обработки заявок в очереди

Граф генератора заявок имеет 3 позиции (текущая заявка — Init, следующая заявка — Next, очередь — Queue из иста System) и 2 перехода (Init — определяет распределение поступления заявок по экспоненциальному закону с нтенсивностью 100 заявок в единицу времени, Arrive — определяет поступление заявок в очередь).

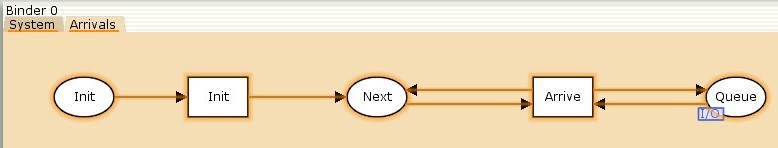


Рис. 2: Граф генератора заявок системы

Граф процесса обработки заявок на сервере имеет 4 позиции (Busy — сервер занят, Idle — сервер в режиме жидания, Queue и Complited из листа System) и 2 перехода (Start — начать обработку заявки, Stop — акончить обработку заявки).

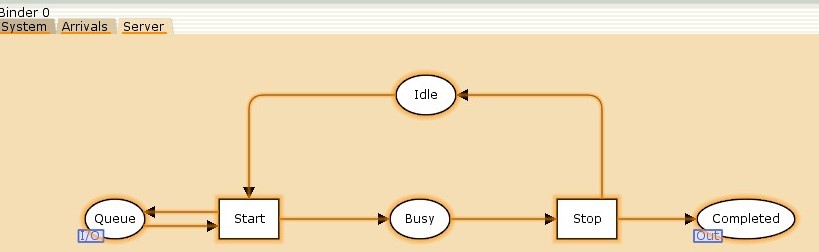


Рис. 3: Граф процесса обработки заявок на сервере системы

Зададим декларации системы (рис. 4).

Определим множества цветов системы (colorset):

* фишки типа UNIT определяют моменты времени;
* фишки типа INT определяют моменты поступления заявок в систему.
* фишки типа JobType определяют 2 типа заявок — A и B;
* кортеж Job имеет 2 поля: jobType определяет тип работы (соответственно имеет тип JobType, поле AT имеет тип INT и используется для хранения времени нахождения заявки в системе);
* фишки Jobs — список заявок;
* фишки типа ServerxJob — определяют состояние сервера, занятого обработкой заявок.

Переменные модели:

* proctime — определяет время обработки заявки;
* job — определяет тип заявки;
* jobs — определяет поступление заявок в очередь.

Определим функции системы:

* функция expTime описывает генерацию целочисленных значений через интервалы времени, распределённые по кспоненциальному закону;
* функция intTime преобразует текущее модельное время в целое число;
* функция newJob возвращает значение из набора Job — случайный выбор типа заявки (A или B).

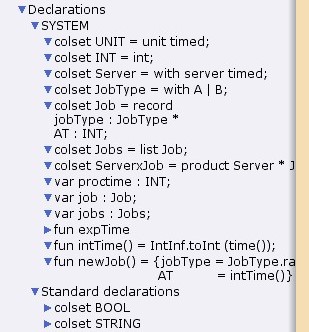


Рис. 4: Задание деклараций системы

Зададим параметры модели на графах сети.

На листе System (рис. 5):

* у позиции Queue множество цветов фишек — Jobs; начальная маркировка 1[] определяет, что изначально очередь пуста.
* у позиции Completed множество цветов фишек — Job.

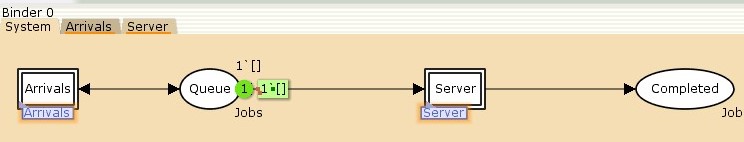


Рис. 5: Параметры элементов основного графа системы обработки заявок в очереди

На листе Arrivals (рис. 6):

* у позиции Init: множество цветов фишек — UNIT; начальная маркировка 1``()@0 определяет, что поступление заявок в систему начинается с нулевого момента времени;
* у позиции Next: множество цветов фишек — UNIT;
* на дуге от позиции Init к переходу Init выражение () задаёт генерацию заявок;
* на дуге от переходов Init и Arrive к позиции Next выражение ()@+expTime(100) задаёт экспоненциальное распределение времени между поступлениями заявок;
* на дуге от позиции Next к переходу Arrive выражение () задаёт перемещение фишки;
* на дуге от перехода Arrive к позиции Queue выражение jobs^^[job] задает поступление заявки в очередь;
* на дуге от позиции Queue к переходу Arrive выражение jobs задаёт обратную связь.

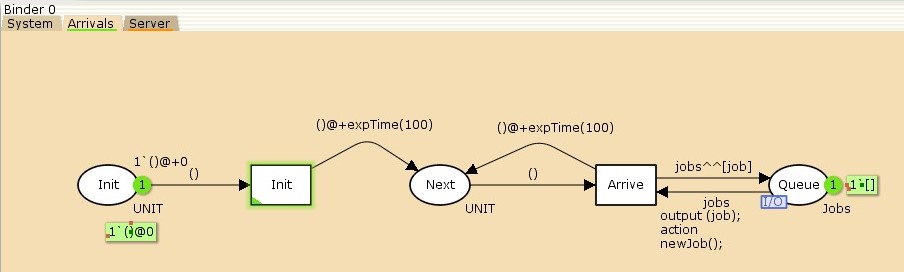


Рис. 6: Параметры элементов генератора заявок системы

На листе Server (рис. 7):

* у позиции Busy: множество цветов фишек — Server, начальное значение маркировки — 1``server@0 определяет, что изначально на сервере нет заявок на обслуживание;
* у позиции Idle: множество цветов фишек — ServerxJob;
* переход Start имеет сегмент кода output (proctime); action expTime(90); определяющий, что время обслуживания заявки распределено по экспоненциальному закону со средним временем обработки в 90 единиц времени;
* на дуге от позиции Queue к переходу Start выражение job::jobs определяет, что сервер может начать обработку заявки, если в очереди есть хотя бы одна заявка;
* на дуге от перехода Start к позиции Busy выражение (server,job)@+proctime запускает функцию расчёта времени бработки заявки на сервере;
* на дуге от позиции Busy к переходу Stop выражение (server,job) говорит о завершении обработки заявки на сервере;
* на дуге от перехода Stop к позиции Completed выражение job показывает, что заявка считается обслуженной;
* выражение server на дугах от и к позиции Idle определяет изменение состояние сервера (обрабатывает заявки или ожидает);
* на дуге от перехода Start к позиции Queue выражение jobs задаёт обратную связь.

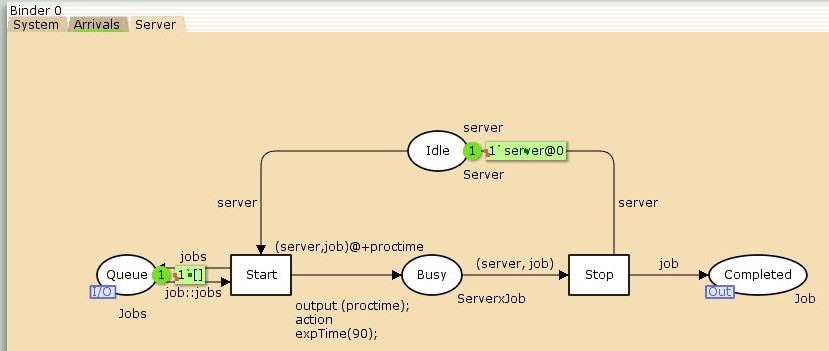


Рис. 7: Параметры элементов обработчика заявок системы

## 2.2 Мониторинг параметров моделируемой системы

Потребуется палитра Monitoring. Выбираем Break Point (точка останова) и устанавливаем её на переход Start. После этого в разделе меню Monitor появится новый подраздел, который назовём Ostanovka. В этом подразделе необходимо внести изменения в функцию Predicate, которая будет выполняться при запуске монитора. Зададим число шагов, через которое будем останавливать мониторинг. Для этого true заменим на Queue\_Delay.count()=200.

В результате функция примет вид (рис. 8):

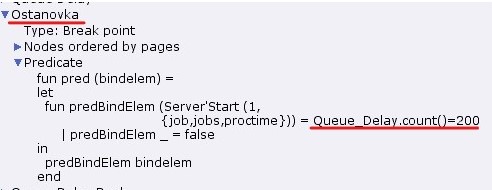


Рис. 8: Функция Predicate монитора Ostanovka

Необходимо определить конструкцию Queue\_Delay.count(). С помощью палитры Monitoring выбираем Data Call и устанавливаем на переходе Start. Появившийся в меню монитор называем Queue Delay (без подчеркивания). Функция Observer выполняется тогда, когда функция предикатора выдаёт значение true. По умолчанию функция выдаёт 0 или унарный минус (~1), подчёркивание обозначает произвольный аргумент. Изменим её так, чтобы получить значение задержки в очереди. Для этого необходимо из текущего времени intTime() вычесть временную метку AT , означающую приход заявки в очередь.

В результате функция примет вид (рис. 9):

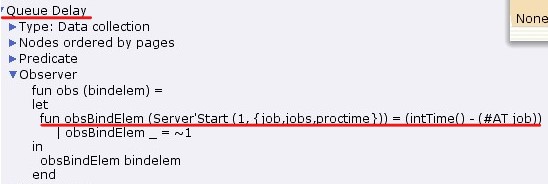


Рис. 9: Функция Observer монитора Queue Delay

После запуска программы на выполнение в каталоге с кодом программы появится файл Queue\_Delay.log (рис. 10), содержащий в первой колонке — значение задержки очереди, во второй — счётчик, в третьей — шаг, в четвёртой — время.

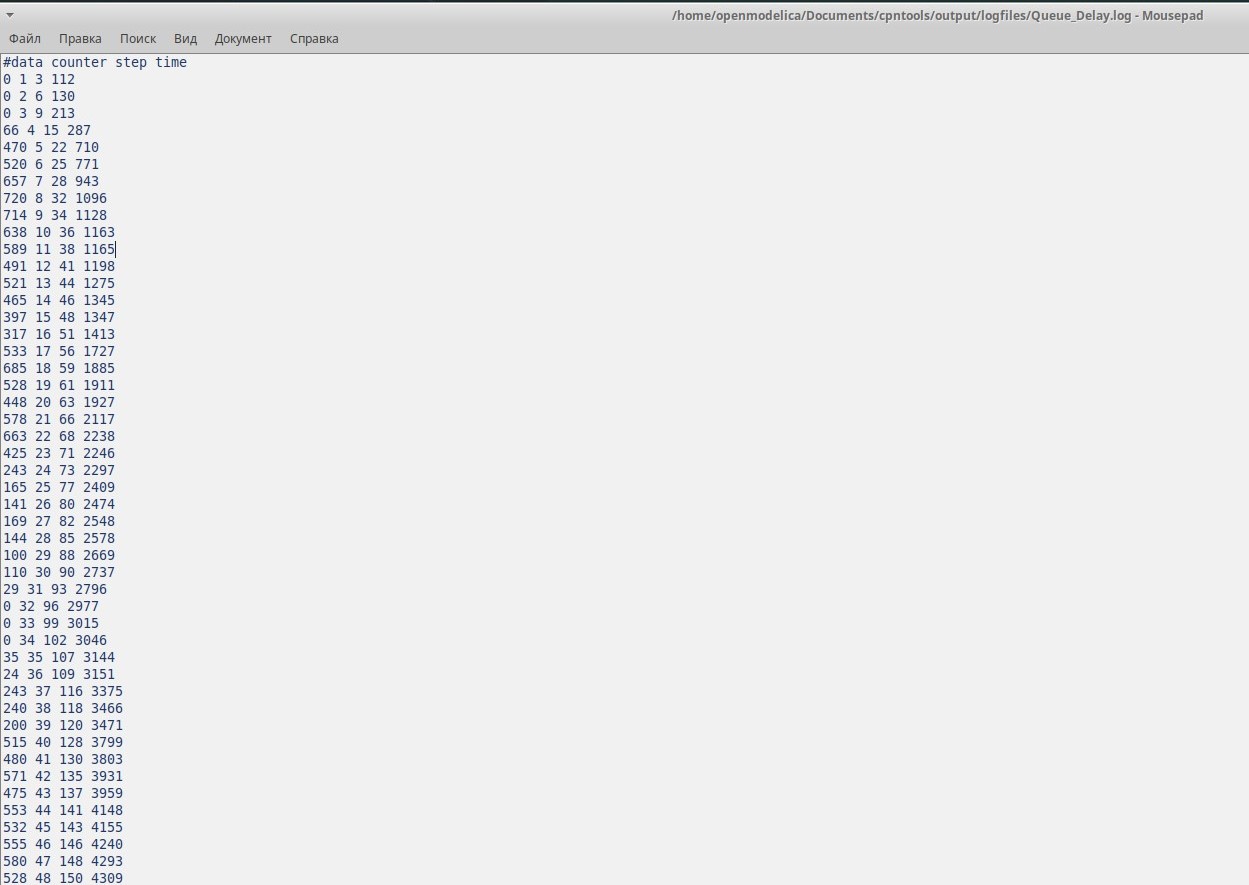


Рис. 10: Файл Queue\_Delay.log

С помощью gnuplot можно построить график значений задержки в очереди (рис. 11), выбрав по оси x время, а по оси y — значения задержки:

gnuplot  
set termnal png  
set output "plot.png"  
plot "Queue\_Delay.log" using ($4):($1) with lines  
quit

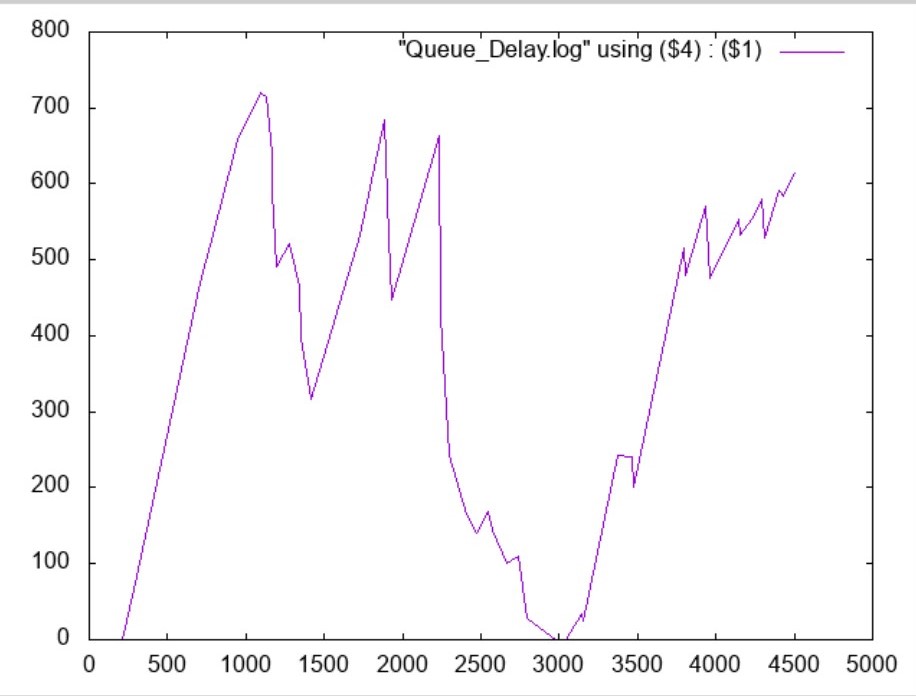


Рис. 11: График изменения задержки в очереди

Посчитаем задержку в действительных значениях. С помощью палитры Monitoring выбираем Data Call и устанавливаем на переходе Start. Появившийся в меню монитор называем Queue Delay Real. Функцию Observer изменим следующим образом(рис. 12):

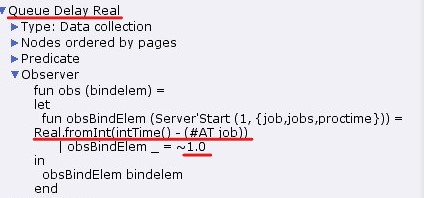


Рис. 12: Функция Observer монитора Queue Delay Real

По сравнению с предыдущим описанием функции добавлено преобразование значения функции из целого в действительное, при этом obsBindElem \_ принимает значение ~1.0. После запуска программы на выполнение в каталоге с кодом программы появится файл Queue\_Delay\_Real.log с содержимым, аналогичным содержимому файла Queue\_Delay.log, но значения задержки имеют действительный тип (рис. 13):

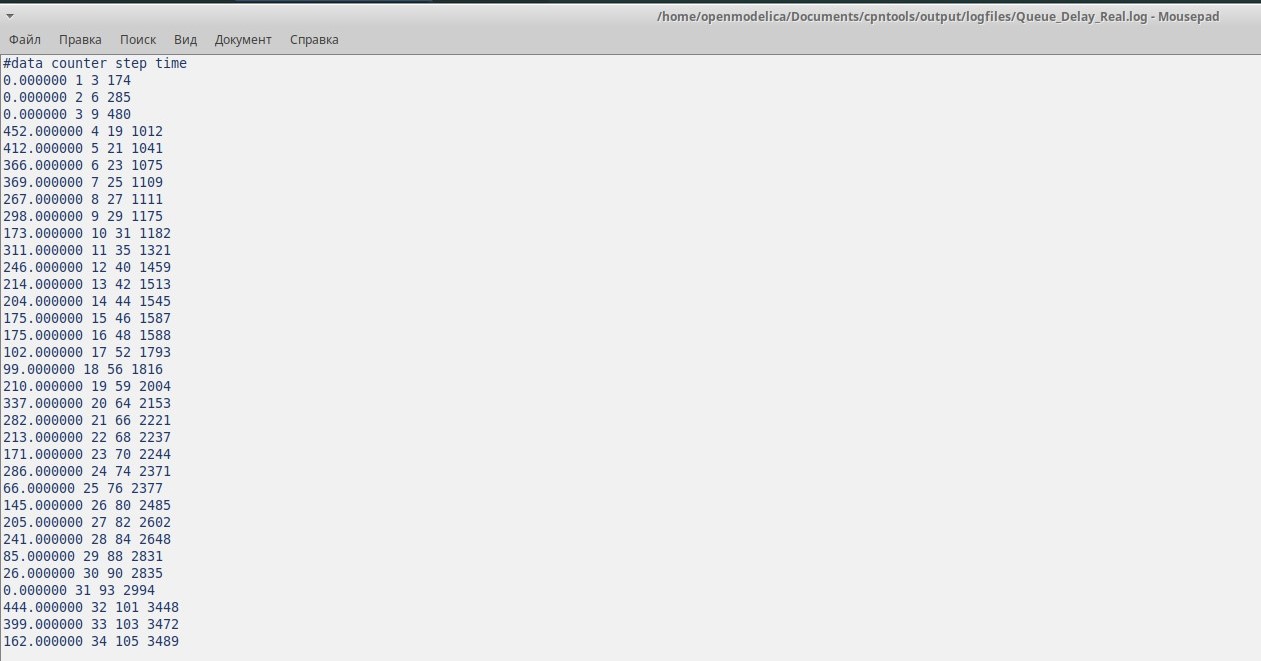


Рис. 13: Содержимое Queue\_Delay\_Real.log

Посчитаем, сколько раз задержка превысила заданное значение. С помощью палитры Monitoring выбираем Data Call и устанавливаем на переходе Start. Монитор называем Long Delay Time. Функцию Observer изменим следующим образом (рис. 14):

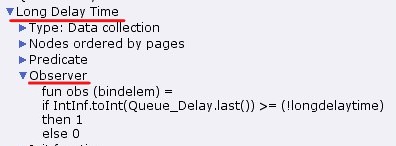


Рис. 14: Функция Observer монитора Long Delay Time

При этом необходимо в декларациях задать глобальную переменную (в форме ссылки на число 200): longdelaytime (рис. 15).

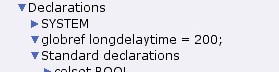


Рис. 15: Определение longdelaytime в декларациях

После запуска программы на выполнение в каталоге с кодом программы появится файл Long\_Delay\_Time.log (рис. 16)

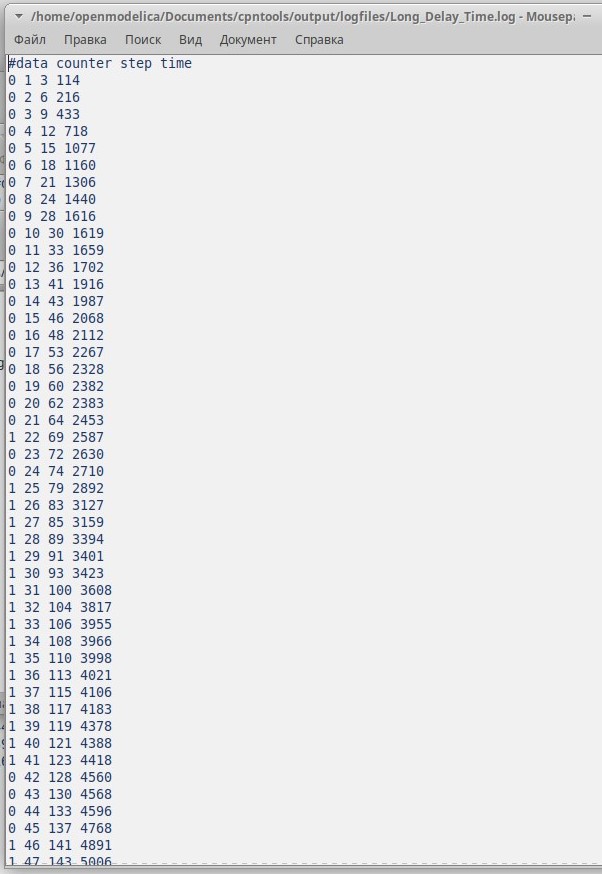


Рис. 16: Содержимое Long\_Delay\_Time.log

С помощью gnuplot можно построить график (рис. 17), демонстрирующий, в какие периоды времени значения задержки в очереди превышали заданное значение 200.

gnuplot  
set termnal png  
set output "plot2.png"  
set yrange [0:1.2]  
plot [0:] [0:1.2] "Long\_Delay\_Time.log" using ($4):($1) with lines  
quit

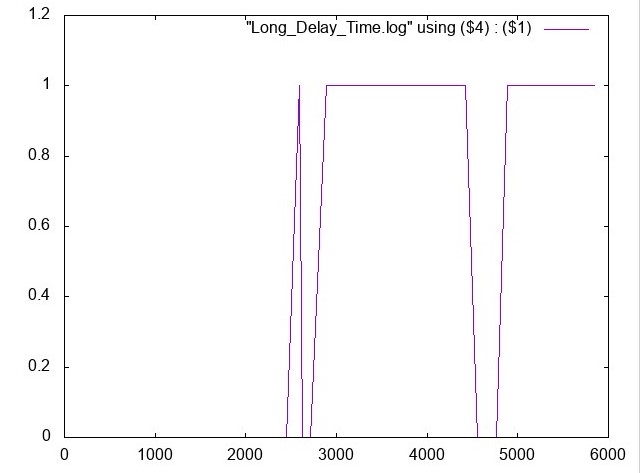


Рис. 17: Периоды времени, когда значения задержки в очереди превышали заданное значение

# 3 Выводы

В процессе выполнения данной лабораторной работы я реализовала модель системы массового обслуживания в CPN Tools.

# Список литературы

1. Королькова А.В., Кулябов Д.С. Руководство к лабораторной работе №11. Моделирование информационных процессов. Модель системы массового обслуживания M|M|1 - 2025. — 10 с.
2. Modeling with Coloured Petri Nets [Электронный ресурс] // URL: https://cpntools.org/2018/01/16/getting-started.
3. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems // Software Tools for Technology Transfer. 2007. — URL: https://cs.au.dk/fileadmin/site\_files/cs/research\_areas/centers\_and\_projects/sttt2007.pdf.
4. Ratzer A.V., Wells L., Lassen H.M., et al. CPN Tools for Editing, Simulating, and Analysing Coloured Petri Nets // ICATPN Proceedings, 2003 — URL: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:12059006.
5. Beaudouin-Lafon M., Mackay W.E., Andersen P., et al. Editing and Simulating Coloured Petri Nets // CPNTools.doc, University of Aarhus, 2000 — URL: https://www.lri.fr/~mbl/papers/PN2000/paper.pdf.