

# **Лабораторная работа №8**

**Модель TCP/AQM**

Астраханцева А. А.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Задание</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Теоретическое введение</b>	<b>6</b>
3.1	Упрощение Модели . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Реализация модели в xc32</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Реализация модели в OpenModelica</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Выводы</b>	<b>16</b>
	<b>Список литературы</b>	<b>17</b>

# Список иллюстраций

4.1	Значения переменных среды . . . . .	9
4.2	Настройки для блока интегрирования $Q(t)$ . . . . .	10
4.3	Настройки для блока интегрирования $W(t)$ . . . . .	10
4.4	Настройки для регистрирующего устройства . . . . .	11
4.5	Настройки для регистрирующего устройства . . . . .	12
4.6	Настройки для блока записи выражений . . . . .	12
4.7	Итоговый вид схемы . . . . .	13
4.8	Графики размера окна, размера очереди и фазовый портрет . . .	13
4.9	Графики размера окна, размера очереди и фазовый портрет при $C = 0.9$ . . . . .	13
5.1	График размера окна, размера очереди в OpenModelica . . . . .	14
5.2	Графики фазового портрета в OpenModelica . . . . .	15
5.3	График размера окна, размера очереди в OpenModelica при $C = 0.9$ . . . . .	15
5.4	Графики фазового портрета в OpenModelica при $C = 0.9$ . . . . .	15

# 1 Цель работы

Реализовать модель TCP/AQM в xcos и OpenModelica.

## 2 Задание

1. Построить модель TCP/AQM в xcos;
2. Построить графики динамики изменения размера TCP окна  $W(t)$  и размера очереди  $Q(t)$ ;
3. Построить модель TCP/AQM в OpenModelica; параметров модели.

### 3 Теоретическое введение

Уравнения модели описывают динамику изменения размера ТСП-окна и очереди:

1. Динамика размера ТСП-окна:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t - R(t))}{2R(t - R(t))}p(t - R(t))$$

Это уравнение учитывает фазу медленного старта ТСП и алгоритм избежания перегрузок. Размер окна увеличивается на

$$\frac{1}{W}$$

при получении каждого подтверждения и сокращается вдвое при потере пакета[1].

2. Динамика размера очереди:

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} \frac{N(t)W(t)}{R(t)} - C, & Q(t) > 0 \\ \max\left(\frac{N(t)W(t)}{R(t)} - C, 0\right), & Q(t) = 0 \end{cases}$$

Это уравнение описывает разницу между средней интенсивностью поступления пакетов и пропускной способностью сети.

3. Время двойного оборота:

$$R(t) = \frac{Q(t)}{C} + \tau_p$$

где

$$\tau_p$$

— задержка распространения пакета по сети[1].

### 3.1 Упрощение Модели

Для упрощения модели предполагается, что

$$N(t) \equiv N$$

,

$$R(t) \equiv R$$

, и

$$p(t) = KQ(t)$$

, где

$$K$$

— константа. Это приводит к упрощенным уравнениям:

1. Упрощенная динамика размера TCP-окна:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R} - \frac{W(t)W(t-R)}{2R} KQ(t-R)$$

2. Упрощенная динамика размера очереди:

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} \frac{NW(t)}{R} - C, & Q(t) > 0 \\ \max\left(\frac{NW(t)}{R} - C, 0\right), & Q(t) = 0 \end{cases}$$

Эти уравнения описывают систему с обратной связью, где управление осуществляется через вероятностную функцию сброса пакетов, пропорциональную длине очереди.



## 4 Реализация модели в xcos

Откроем окно Scilab, далее - инструменты - визуальное программирование xcos. Зафиксируем начальные данные:  $N = 1$ ,  $R = 1$ ,  $K = 5.3$ ,  $C = 1$ ,  $W(0) = 0.1$ ,  $Q(0) = 1$ . В меню “Моделирование -> Задать переменные окружения” зададим значения переменных (рис. 4.1).

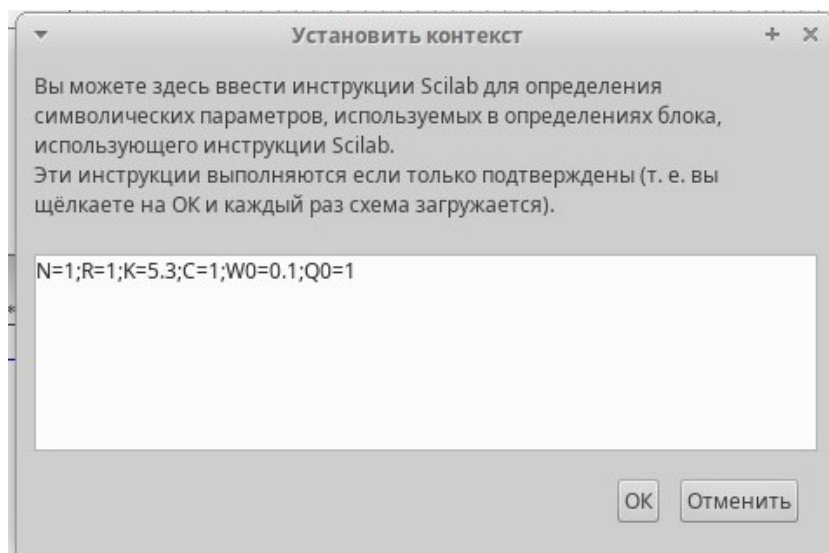


Рис. 4.1: Значения переменных среды

Разместим блоки интегрирования - INTEGRAL\_m: В параметрах необходимо задать начальные значения  $W(0) = 0.1$ ,  $Q(0) = 1$ . Поскольку эти значения я записала в переменные среды, в параметры блоков интегрирования помещу названия переменных (рис. 4.2 - 4.3).

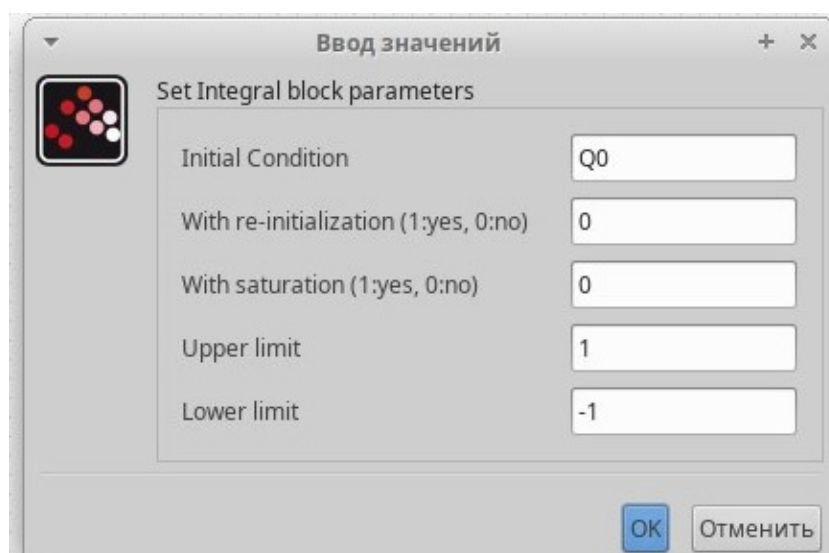


Рис. 4.2: Настройки для блока интегрирования  $Q(t)$

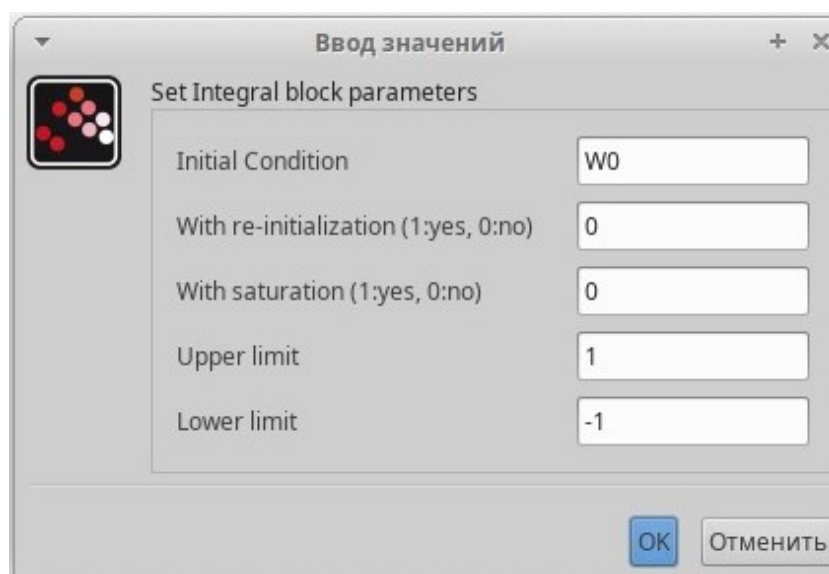


Рис. 4.3: Настройки для блока интегрирования  $W(t)$

Для регистрирующих устройств, используемых для построения графиков, устанавливаем ограничения по осям (рис. 4.4 - 4.5).

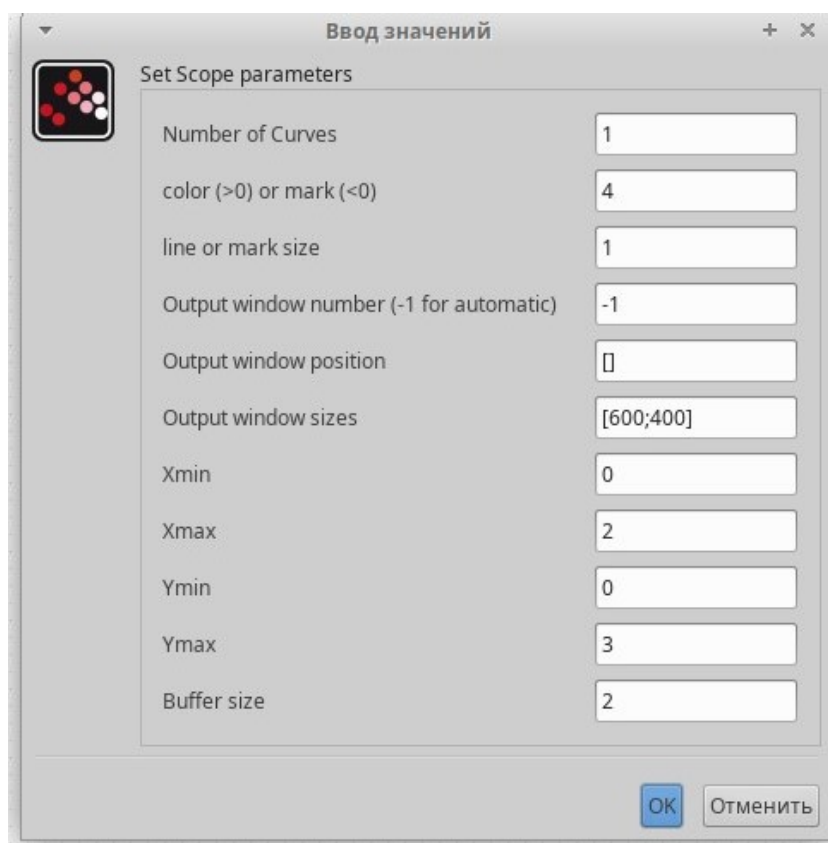


Рис. 4.4: Настройки для регистрирующего устройства

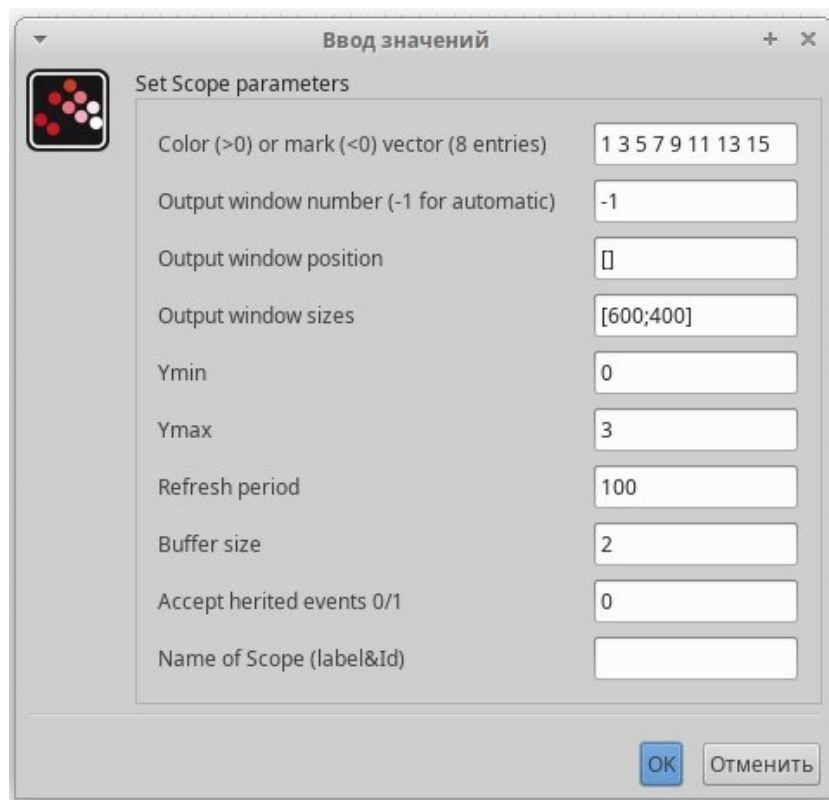


Рис. 4.5: Настройки для регистрирующего устройства

В блок для записи выражения записываем уравнение для вычисления размена очереди (рис. 4.6).

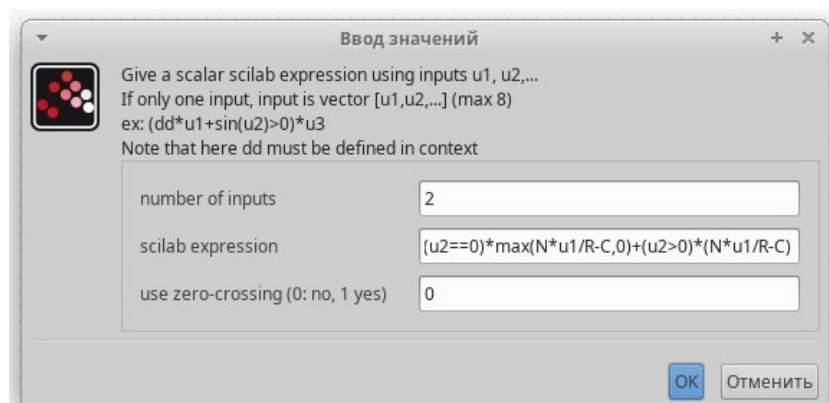


Рис. 4.6: Настройки для блока записи выражений

Получаем такую схему (рис. 4.7).

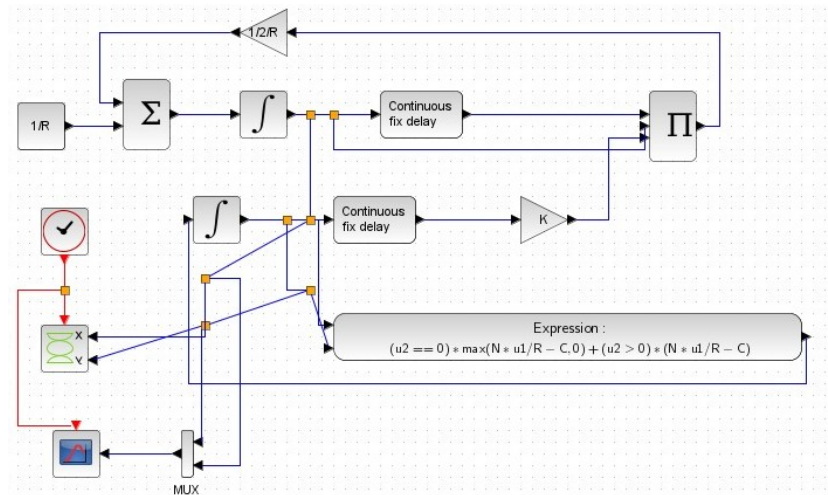


Рис. 4.7: Итоговый вид схемы

При запуске симуляции рисуются графики размера окна, размера очереди и фазовый портрет (рис. 4.8).

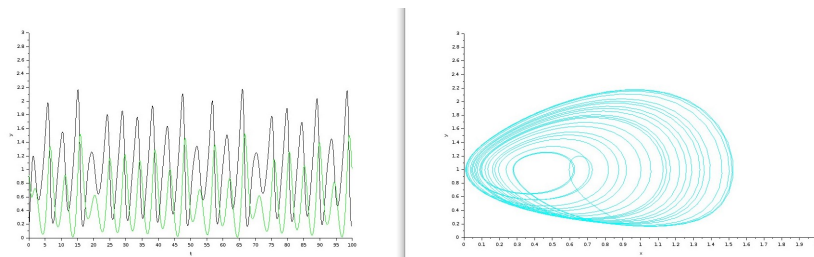


Рис. 4.8: Графики размера окна, размера очереди и фазовый портрет

Если изменить скорость обработки пакетов на  $C = 0.9$ , то получим следующие графики (рис. 4.9).

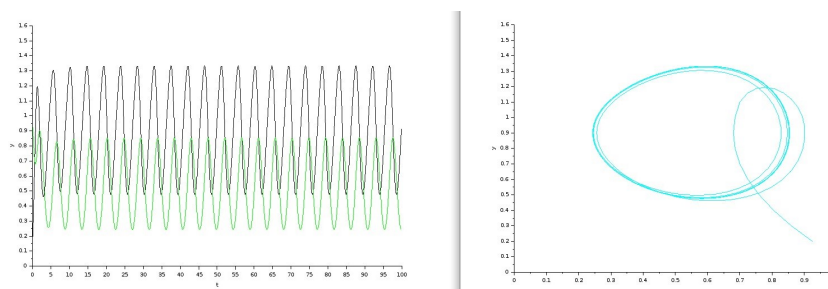


Рис. 4.9: Графики размера окна, размера очереди и фазовый портрет при  $C = 0.9$

## 5 Реализация модели в OpenModelica

Открываем OMEdit, создаем новый класс. Записываем в него код для моделирования:

```
model lab8
  parameter Real N=1;
  parameter Real R=1;
  parameter Real K=5.3;
  parameter Real C=0.9;
  Real W(start=0.1);
  Real Q(start=1);
equation
  der(W)= 1/R - W*delay(W, R)/(2*R)*K*delay(Q, R);
  der(Q)= if (Q==0) then max(N*W/R-C,0) else (N*W/R-C);
end lab8;
```

При запуске симуляции рисуются графики размера окна, размера очереди и фазовый портрет. Они аналогичны тем, что были построены с помощью xcos (рис. 5.1 - 5.2).

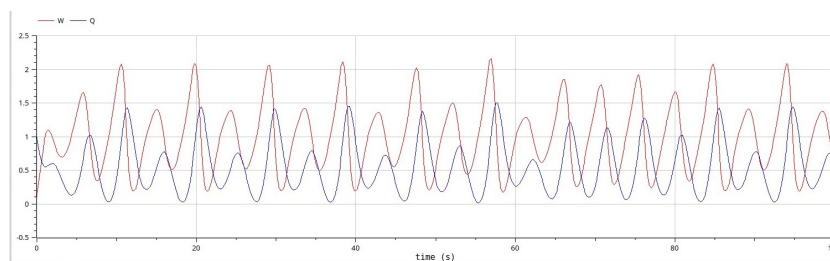


Рис. 5.1: График размера окна, размера очереди в OpenModelica

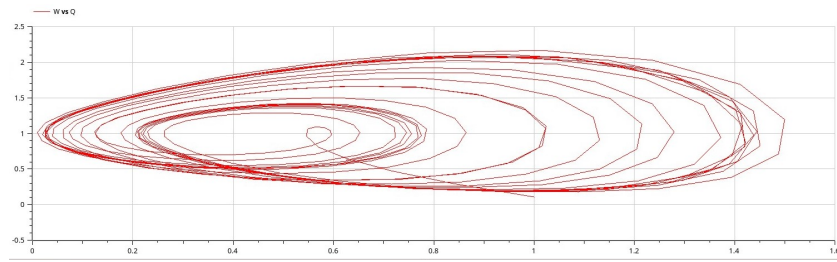


Рис. 5.2: Графики фазового портрета в OpenModelica

Если изменить скорость обработки пакетов на  $C = 0.9$ , то снова получим графики, аналогичные тем, что были построены с помощью xcos (рис. 5.3 - 5.4).

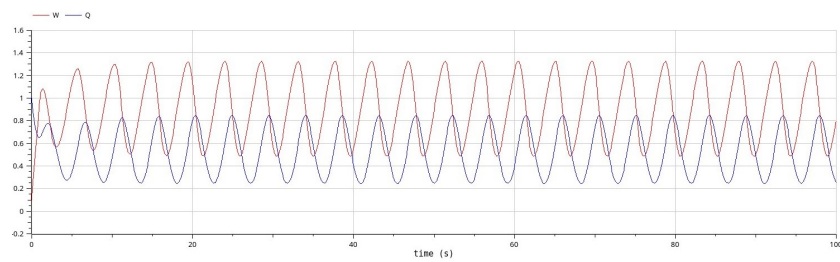


Рис. 5.3: График размера окна, размера очереди в OpenModelica при  $C = 0.9$

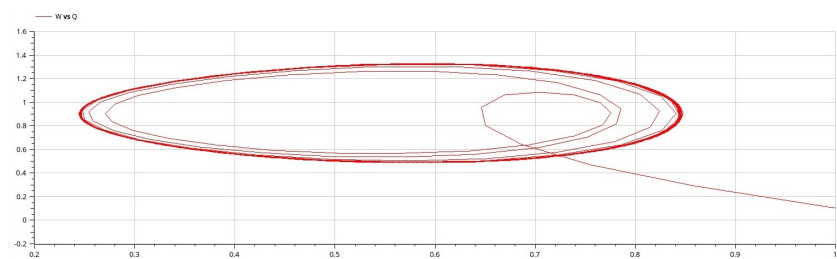


Рис. 5.4: Графики фазового портрета в OpenModelica при  $C = 0.9$

## 6 Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы я реализовала модель TCP/AQM в xcos и OpenModelica.



## Список литературы

1. Королькова А.В., Кулябов Д.С. Руководство к лабораторной работе №8. Моделирование информационных процессов. Модель «TCP/AQM» - 2025. — 5 с.
2. Реализация модели в OpenModelica. Хильдинг Элмквист, Свен Эрик Маттссон, Мартин Оттер. Modelica – A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling. – Springer, 2019.
3. Общие сведения о компьютерных сетях. Kurose, J. F., & Ross, K. W. Computer networking: A top-down approach. – 7-е изд. – Pearson, 2017.
4. Моделирование трафика [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Моделирование\\_трафика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Моделирование_трафика) (дата обращения: 29.03.2025).
5. Мохаммед Ала Абдулрахман Саид. Методы декомпозиции показателей качества обслуживания трафика в сети следующего поколения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 2017. – 128 с. URL: <https://dis.mtuci.ru/upload/srd/Dis-Mohammed-AAS/dis-Mohammed-AAS.pdf>.