

Лабораторная работа №8

Модель *TSP/AQM*

Ибатулина Дарья Эдуардовна, НФИбд-01-22

Содержание

1	Теоретическое введение	4
2	Цель работы	5
3	Задание	6
4	Выполнение лабораторной работы	7
4.1	Реализация в xcos	7
4.2	Реализация модели в OpenModelica	11
4.3	Различия в графиках с различными значениями параметра C . .	15
5	Выводы	18
	Список литературы	19

Список иллюстраций

4.1	Установка контекста	7
4.2	Задание времени моделирования	8
4.3	Модель TCP/AQM в xcos	8
4.4	Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$	9
4.5	Фазовый портрет (W, Q)	9
4.6	Изменение параметра $C = 0.9$	10
4.7	Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$ при $C = 0.9$	10
4.8	Фазовый портрет (W, Q) при $C = 0.9$	11
4.9	Код для параметра $C=1$	12
4.10	Установка параметров симуляции	13
4.11	Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$. OpenModelica	13
4.12	Фазовый портрет (W, Q) . OpenModelica	13
4.13	Код для параметра $C=0.9$	14
4.14	Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$. OpenModelica	15
4.15	Фазовый портрет (W, Q) . OpenModelica	15

1 Теоретическое введение

Рассмотрим упрощённую модель поведения *TCP*-подобного трафика с регулируемой некоторым *AQM* алгоритмом динамической интенсивностью потока [1].

$W(t)$ – средний размер *TCP*-окна (в пакетах, функция положительна),

$Q(t)$ – средний размер очереди (в пакетах, функция положительна),

$R(t)$ – время двойного оборота (Round Trip Time, сек.)

C – скорость обработки пакетов в очереди (пакетов в секунду)

$N(t)$ – число *TCP*-сессий

$p(t - R(t))$ – вероятностная функция сброса (отметки на сброс) пакета, значения которой лежат на интервале $[0, 1]$.

Примем $N(t) \equiv N$, $R(t) \equiv R$, т. е. указанные величины положим постоянными, не изменяющимися во времени. Также положим $p(t - R(t)) = KQ(t)$, т.е. функция сброса пакетов пропорциональна длине очереди $Q(t)$ [2–5].

Тогда получим систему:

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R} - \frac{W(t)W(t - R)}{2R} KQ(t - R) \quad (1.1)$$

$$\dot{Q}(t) = \begin{cases} \frac{NW(t)}{R} - C, & Q(t) > 0, \\ \max\left(\frac{NW(t)}{R} - C, 0\right), & Q(t) = 0. \end{cases} \quad (1.2)$$

2 Цель работы

Реализовать модель *TCP/AQM* в *xcos* и *OpenModelica*.

3 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*.

4 Выполнение лабораторной работы

4.1 Реализация в xcos

Построим схему xcos, моделирующую нашу систему, с начальными значениями параметров $N = 1$, $R = 1$, $K = 5.3$, $C = 1$, $W(0) = 0.1$, $Q(0) = 1$. Для этого сначала зададим переменные окружения (рис. 4.1) и зададим конечное время моделирования - 100 (рис. 4.2).

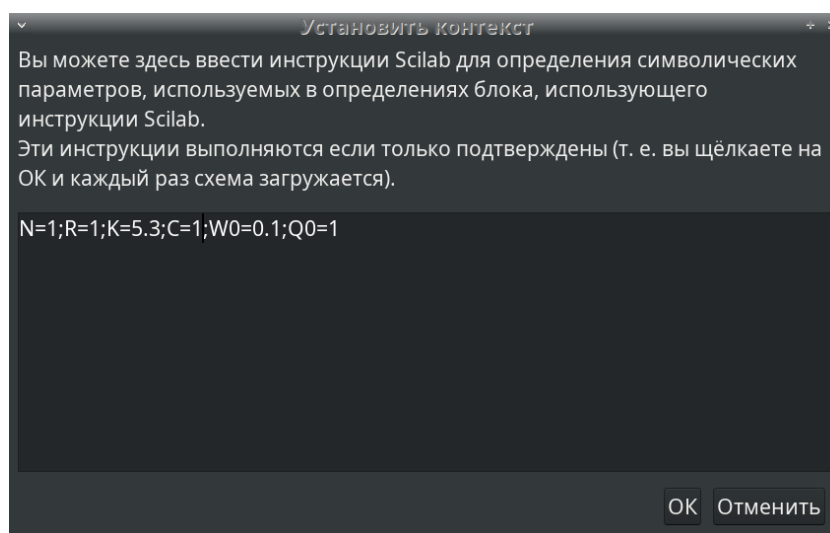


Рис. 4.1: Установка контекста

Параметры моделирования	
Конечное время интегрирования	1.0E02
Количество секунд в единице времени	0.0E00
Абсолютная погрешность интегрирования	1.0E-06
Относительная погрешность интегрирования	1.0E-06
Погрешность по времени	1.0E-10
Максимальный временной интервал интегрирования	1.00001E05
Вид программы решения	Sundials/CVODE - BDF - NEWT
Максимальный размер шага (0 означает "без ограничения")	0.0E00

Рис. 4.2: Задание времени моделирования

Затем реализуем модель *TCP/AQM*, разместив блоки интегрирования, суммирования, произведения, констант, а также регистрирующие устройства (рис. 4.3):

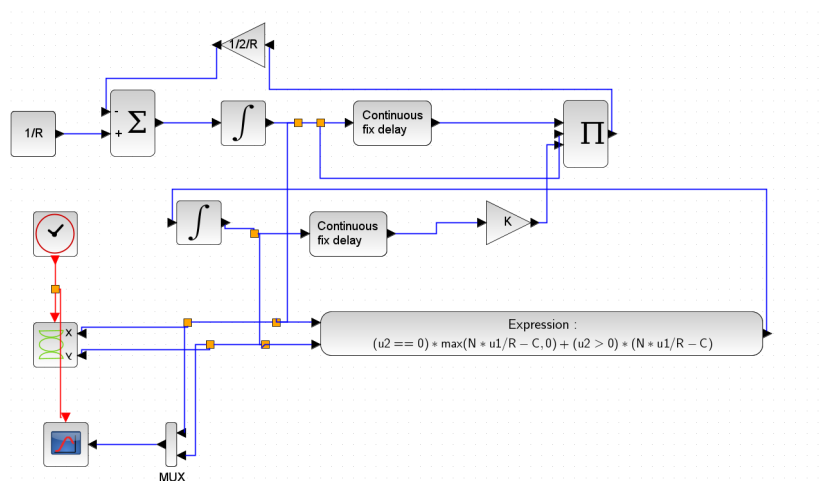


Рис. 4.3: Модель TCP/AQM в xcos

В результате получим динамику изменения размера *TCP*-окна $W(t)$ (зеленая линия) и размера очереди $Q(t)$ (черная линия), а также фазовый портрет, который показывает наличие автоколебаний параметров системы — фазовая траектория осциллирует вокруг своей стационарной точки (рис. 4.4, 4.5):

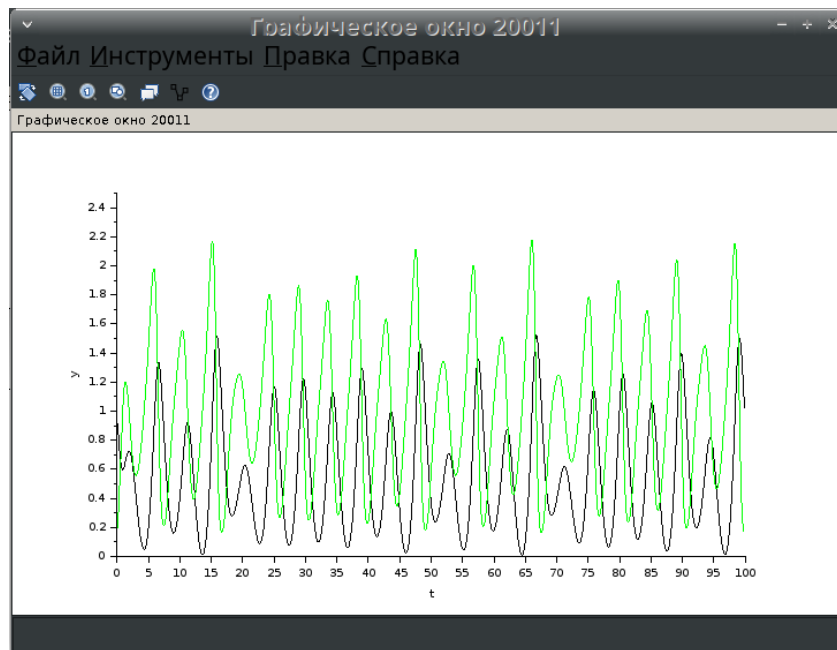


Рис. 4.4: Динамика изменения размера ТСП окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$

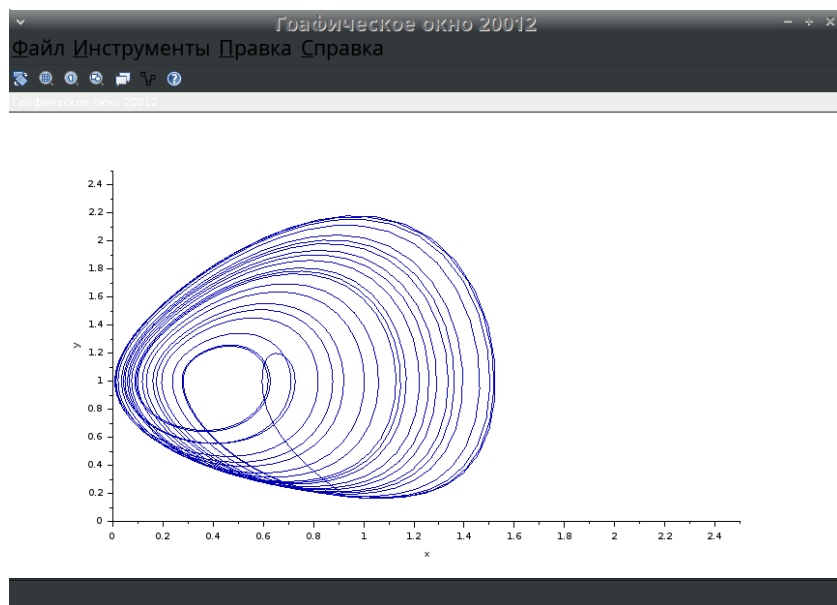


Рис. 4.5: Фазовый портрет (W, Q)

Уменьшив скорость обработки пакетов C до 0.9 (рис. 4.6) увидим, что автоколебания стали более выраженными (рис. 4.7, 4.8).

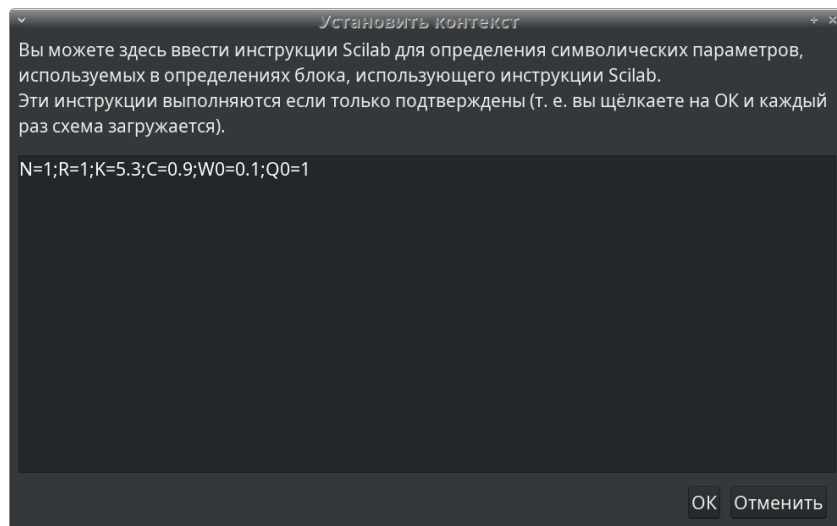


Рис. 4.6: Изменение параметра $C = 0.9$

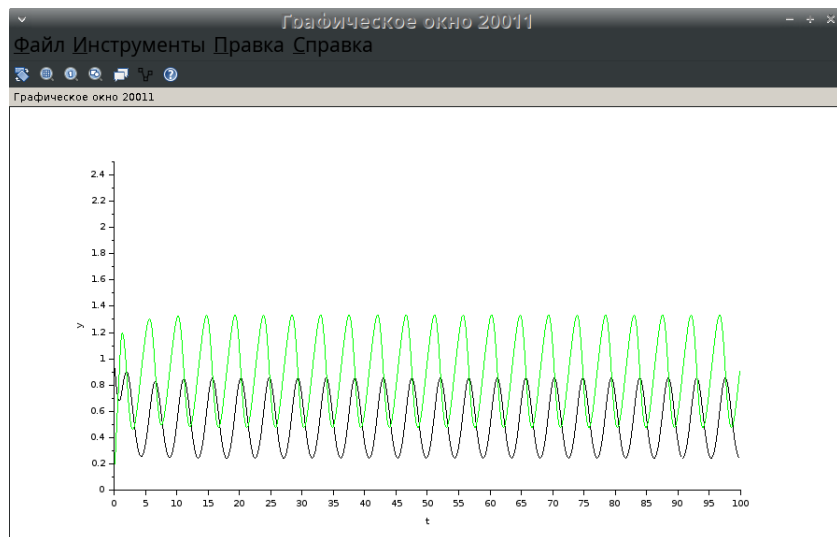


Рис. 4.7: Динамика изменения размера ТСП окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$ при $C = 0.9$

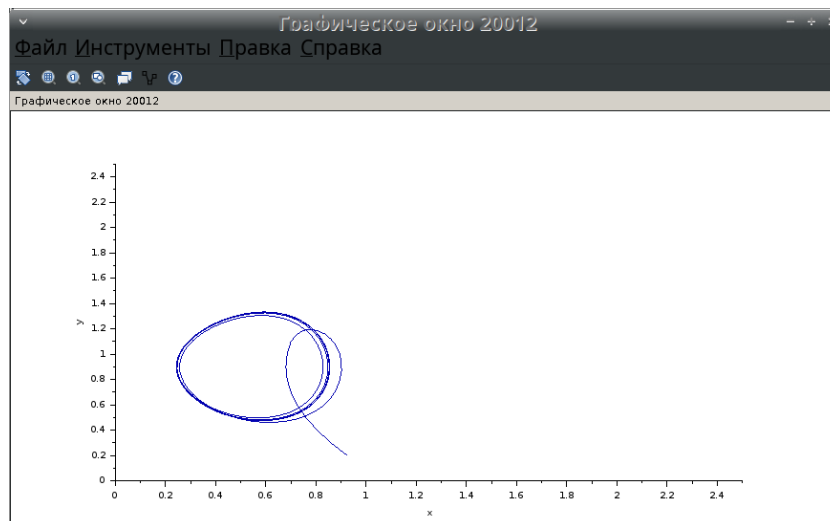


Рис. 4.8: Фазовый портрет (W, Q) при $C = 0.9$

4.2 Реализация модели в OpenModelica

Перейдем к реализации модели в OpenModelica. Зададим параметры, начальные значения и систему уравнений (рис. 4.9).

```
model lab8
parameter Real N=1;
parameter Real R=1;
parameter Real K=5.3;
parameter Real C=1;
parameter Real W0=0.1;
parameter Real Q0=1;
```

```
Real W(start=W0);
Real Q(start=Q0);
```

```
equation
```

```

der(W) = 1 / R - W * delay(W, R) * K * delay(Q,R) / (2 * R);
der(Q) = if (Q > 0) then (N * W / R - C) else max(N * W / R - C, 0);

end lab8;

```

```

1 model lab8
2 parameter Real N=1;
3 parameter Real R=1;
4 parameter Real K=5.3;
5 parameter Real C=1;
6 parameter Real W0=0.1;
7 parameter Real Q0=1;
8
9 Real W(start=W0);
10 Real Q(start=Q0);
11
12 equation
13
14 der(W) = 1 / R - W * delay(W, R) * K * delay(Q,R) / (2 * R);
15 der(Q) = if (Q > 0) then (N * W / R - C) else max(N * W / R - C, 0);
16
17 end lab8;

```

Рис. 4.9: Код для параметра C=1

Задав установки симуляции (время моделирования) (рис. 4.10) и затем выполнив симуляцию, получим динамику изменения размера ТСР окна $W(t)$ (зеленая линия) и размера очереди $Q(t)$ (черная линия), а также фазовый портрет, который показывает наличие автоколебаний параметров системы — фазовая траектория осциллирует вокруг своей стационарной точки (рис. 4.11, 4.12).

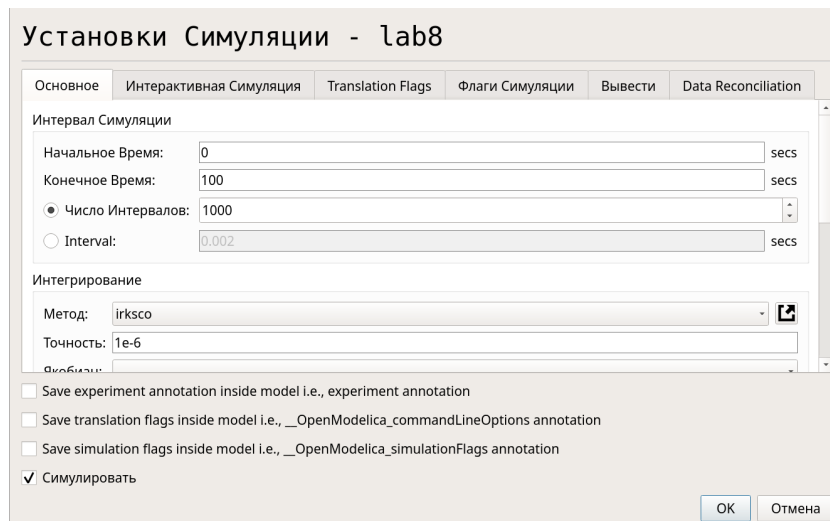


Рис. 4.10: Установка параметров симуляции

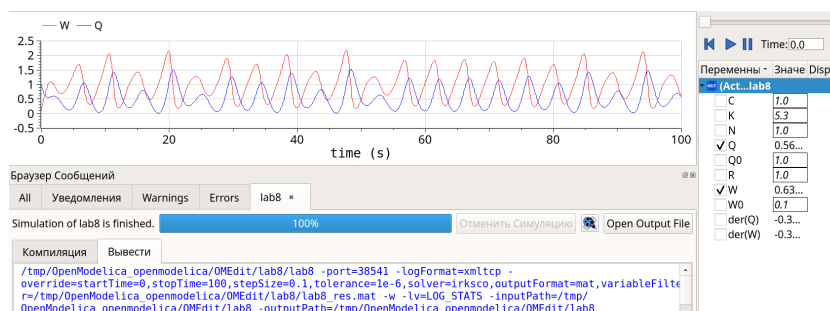


Рис. 4.11: Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$.

OpenModelica

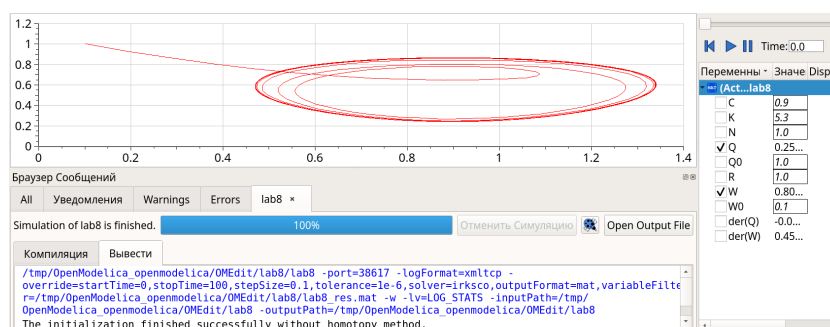


Рис. 4.12: Фазовый портрет (W, Q) . OpenModelica

Затем выполним построение, задав параметр $\gamma = 0.9$ (рис. 4.13, 4.14, 4.15).

```

model lab8

parameter Real N=1;
parameter Real R=1;
parameter Real K=5.3;
parameter Real C=0.9;
parameter Real W0=0.1;
parameter Real Q0=1;

Real W(start=W0);
Real Q(start=Q0);

equation

der(W) = 1 / R - W * delay(W, R) * K * delay(Q,R) / (2 * R);
der(Q) = if (Q > 0) then (N * W / R - C) else max(N * W / R - C, 0);

end lab8;

```

```

1 model lab8
2 parameter Real N=1;
3 parameter Real R=1;
4 parameter Real K=5.3;
5 parameter Real C=0.9;
6 parameter Real W0=0.1;
7 parameter Real Q0=1;
8
9 Real W(start=W0);
10 Real Q(start=Q0);
11
12 equation
13
14 der(W) = 1 / R - W * delay(W, R) * K * delay(Q,R) / (2 * R);
15 der(Q) = if (Q > 0) then (N * W / R - C) else max(N * W / R - C, 0);
16
17 end lab8;

```

Рис. 4.13: Код для параметра C=0.9

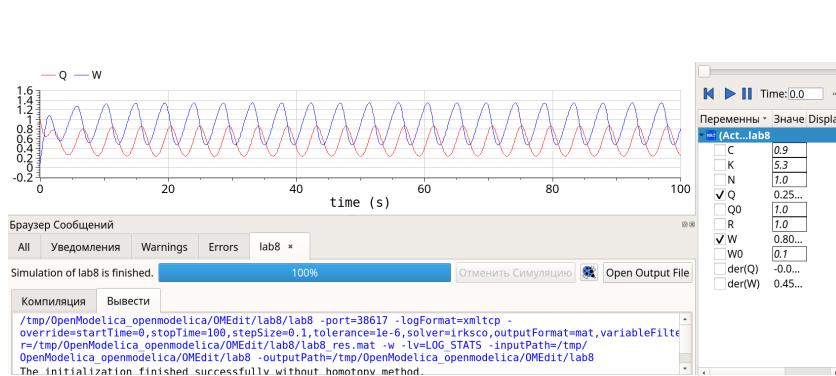


Рис. 4.14: Динамика изменения размера TCP окна $W(t)$ и размера очереди $Q(t)$.
OpenModelica

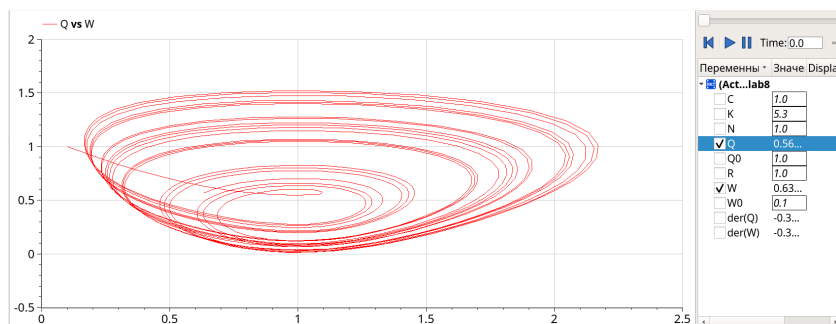


Рис. 4.15: Фазовый портрет (W, Q) . OpenModelica

4.3 Различия в графиках с различными значениями параметра C

1. График длины очереди (Q)

При $C = 1$:

- Более высокая скорость уменьшения очереди ($N \cdot W / R - C$ будет меньше при равных W).
- Быстрее достигается состояние $Q=0$.
- Меньшие пиковые значения при перегрузках.

При $C = 0.9$:

- Уменьшенная пропускная способность вызывает:
- Более медленное опустошение очереди.
- Большую среднюю длину очереди.
- Возможность накопления пакетов при тех же значениях W .

2. График размера окна (W)

При $C = 1$:

- Более стабильное поведение с меньшими колебаниями.
- Быстрее достигается равновесие.

При $C = 0.9$:

- Более агрессивное снижение скорости передачи (W) из-за роста Q .
- Увеличенная амплитуда колебаний.
- Задержки в реакции системы из-за $\text{delay}(Q, R)$.

3. Фазовый портрет (Q vs W)

При $C = 1$:

- Меньшая область притяжения.
- Быстрее достигается стационарная точка.
- Узкие предельные циклы.

При $C = 0.9$:

- Расширенная фазовая плоскость.

- Возможно появление бифуркаций.
- Увеличенный гистерезис при переходных процессах.

Математическое обоснование

Различие следует из уравнения для $der(Q)$ (Q'):

$der(Q) = if(Q > 0) then (N * W/R - C) else max(N * W/R - C, 0)$ При $C = 0.9$ порог срабатывания условия $N * W/R - C > 0$ достигается при меньших значениях W , что приводит к более раннему началу роста очереди.

Итог

При $C = 1$ система демонстрирует устойчивое равновесие с малыми колебаниями.

При $C = 0.9$ наблюдается тенденция к нелинейным колебаниям и увеличению амплитуды.

Различие особенно заметно при моделировании переходных процессов.

5 Выводы

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

Список литературы

1. Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. Динамические системы и модели биологии. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 400 с.
2. OMoverall User's Guide. OpenModelica, 2020.
3. Xcos. Scilab Enterprises.
4. Modelica Language. Modelica Association.
5. OpenModelica. Open Source Modelica Consortium.