

# ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С УПРАВЛЕНИЕМ НА ЯЗЫКЕ JULIA

Апреутесей А.М.Ю.

Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей,  
Российский университет дружбы народов,  
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6, 1032193049@rudn.ru

Данная работа посвящена гибриднему моделированию нелинейных систем с управлением. В подобных гибридных системах присутствуют элементы как с непрерывным, так и дискретным характером функционирования.

В качестве рассматриваемой системы выступает модель взаимодействия процесса передачи данных по протоколу Transmission Control Protocol (TCP) и алгоритма активного управления очередью Random Early Detection (RED), контролирующего и предотвращающего перегрузки в очередях маршрутизатора [1]. Математическая модель подобного взаимодействия представляет собой систему дифференциальных уравнений, отражающих поведение непрерывных параметров системы, таких как изменение размера очереди TCP-окна [2]. За управление по алгоритму RED отвечает кусочно-вероятностная функция сброса пакета, зависящая от текущих значений непрерывных функций, пороговых значений размера очереди и параметра, задающего часть отбрасываемых пакетов в случае перегрузки. При моделировании данной системы важно учитывать особенности непрерывных параметров, дискретные переходы между TCP состояниями и функцию сброса пакетов в алгоритме RED.

В реализации описанной модели на языке Julia использовалась библиотека DifferentialEquations, которая обеспечила эффективное решение дифференциальных уравнений, описывающих поведение непрерывных элементов системы. Дискретная вероятностная функция сброса пакетов успешно реализована как контроллер на сетевом оборудовании с использованием опции обратных вызовов. В результате моделирования были получены графики, отражающие динамику управления перегрузкой TCP и динамику очереди в маршрутизаторе с модулем управления очередью по алгоритму RED с течением времени в зависимости от начальных параметров системы.

Таким образом, проведено численное моделирование процесса передачи данных по протоколу TCP и процесса регулирования алгоритмом RED состояния потока при возникновении перегрузок, получены графики, демонстрирующие изменения основных параметров системы при различных начальных настройках маршрутизатора.

## Литература

1. *Misra V., Gong W.-B., Towsley D.* Fluid-Based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED // ACM SIGCOMM Computer Communication Review.—2000.—10.—Vol. 30, no. 4.—P. 151–160.
2. *Королькова А. В., Кулябов Д. С.* Математическая модель динамики поведения параметров систем типа RED // Вестник РУДН, серия .Математика. Информатика. Физика.. — 2010. — № 2. — С. 54–64.