



Л.В. Липилина

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ТЕЛЕТРАФИКА НА ОСНОВЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ГИПЕРЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫМИ ВХОДНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ

(Поволжский государственный  
университет телекоммуникаций и информатики)

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы моделирования трафика с использованием моделей массового обслуживания с гиперэкспоненциальными входными распределениями типа  $H_2/H_2/1$ ,  $H_2/M/1$ . Проведен обзор достижений в области исследований СМО  $G/G/1$  на примере систем СМО с гиперэкспоненциальным законом распределения, а также построения механизма аппроксимации произвольных законов распределений ( $G$ ) гиперэкспоненциальным распределением.

**Ключевые слова.** Системы массового обслуживания, гиперэкспоненциальный закон распределения, загрузка сети, среднее время ожидания в очереди.

### Введение

В условиях бурного развития информационных технологий на первое место выносится вопрос оценки производительности сети. Возможность интеграции сервисов и повышения качества их предоставления в сети опирается на ее производительность. Однако методам оценки параметров производительности сетей уделяется недостаточное внимание.

В современной научной литературе довольно редко встречаются задачи анализа производительности сетей и, видимо, это связано с отсутствием единой методики для их анализа. Результаты современной теории массового обслуживания ограничены моделями  $M/D/1$ ,  $M/M/1$ ,  $M/M/M$ ,  $M/G/1$ .

Реальные же трафики в современных компьютерных и телекоммуникационных сетях адекватно не могут быть описаны в рамках указанных моделей, в частности из-за не пуассоновских входных потоков. Для этого необходимо использовать СМО типа  $G/G/1$   $G/G/m$ , для расчета характеристик которых, аналитические результаты в конечной форме для практического применения не известны.

### Описание подхода и анализ исследований

Так как гиперэкспоненциальный закон распределения второго порядка  $H_2$ , с функцией плотности  $f(t) = p\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + (1-p)\lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$ , содержит три параметра ( $0 < p < 1$ ,  $\lambda_1, \lambda_2 > 0$ ), он позволяет аппроксимировать произвольные входные распределения с весовым хвостом на уровне трех первых моментов. Также этот закон распределения вероятностей случайной величины, имеющий коэффициент вариации, больший единицы и потому востребованный в теории массового обслуживания.

В работе [1] была поставлена задача исследования времени ожидания для СМО  $G/G/1$  на примере системы  $H_2/H_2/1$ , а также построения механизма ап-



проксимации произвольных законов распределений (G) гиперэкспоненциальным распределением.

Для этого был разработан описанный в работе [2] программный механизм аппроксимации произвольных законов распределений гиперэкспоненциальным как на уровне двух первых моментов, так и на уровне трех первых моментов [3].

В работе [1] проведены вычислительные эксперименты над временем ожидания. При этом использован достаточно широкий диапазон изменения параметров трафика, а именно: загрузки системы  $\rho$  от 0,1 до 0,9, а коэффициентов вариаций интервалов поступления и времени обслуживания  $c_\lambda, c_\mu$  от 2 до 10. Выходными характеристиками являлись: среднее время ожидания  $\bar{W}$  и дисперсия времени ожидания.

Анализ результатов экспериментов в этой работе подтверждает квадратичную зависимость времени ожидания и от коэффициентов вариаций интервалов поступления и времени обслуживания. Кроме того, согласно результатам исследования время ожидания резко возрастает с ростом коэффициента загрузки  $\rho$ . Относительно моментов высших порядков, исследуемое время ожидания рассматривается при нагрузке  $\rho$  от 0,1 до 0,9, при коэффициентах вариаций  $(c_\lambda, c_\mu)$  от 2 до 6 с шагом 2 и изменении коэффициентов асимметрии  $(A_{s\lambda}, A_{s\mu})$  от 4 до 15. Анализ варьируемых данных показывает, что с ростом коэффициентов асимметрий при одной и той же нагрузке, время ожидания уменьшается.

В работе [4] также рассматривается СМО с гиперэкспоненциальным распределением, а также исследуется влияние третьего момента на среднее время ожидания. Анализ полученных результатов свидетельствует о значимом влиянии третьего момента интервалов времени между заявками в потоке, задаваемого в виде коэффициента асимметрии, на среднее время ожидания заявок в системе, причем с увеличением коэффициента асимметрии среднее время ожидания заявок уменьшается. Эта зависимость особенно сильно проявляется при малых загрузках системы и уменьшается с ее увеличением.

Результаты исследований в данной работе показали, что при значениях загрузки 0,1 времена ожидания при разных коэффициентах асимметрии различаются в несколько раз, а при нагрузке 0,99 эта разница составляет несколько процентов. В области значений загрузки от 0,3 до 0,7, наиболее характерной для компьютерных сетей, эта разница достаточно значительна и составляет десятки и сотни процентов, причем растет с увеличением коэффициента вариации интервалов времени между заявками в потоке.

В работе [5] также ставился вопрос аппроксимации гиперэкспоненциальным законом распределения. В ходе исследования были найдены начальные моменты второго и третьего порядка при различных значениях коэффициента загрузки от 0 до 1 с шагом 0,10. Результаты исследования доказывают точность аппроксимации на уровне трех первых моментов в сравнении с аппроксимацией на уровне двух.



В работе [6] исследуется несколько подходов к моделированию трафика. Сравнительный анализ вероятности задержки в процентном соотношении показывает значительное преимущество метода аппроксимации гиперэкспоненциальным законом распределения на уровне трех моментов.

В работе [7] рассмотрено влияние третьего момента гиперэкспоненциального и гипоекспоненциального распределений времени обслуживания на характеристики системы. Здесь показано, что для входного потока с гиперэкспоненциальным законом  $H_2$  с одним и тем же вторым моментом можно получить разные значения для третьего момента входного потока, то есть распределение интервалов между заявками  $\tau$  обладает асимметричным законом. Причем, чем больше значение второго момента, тем больше значение третьего момента и их различие.

Данные результаты также согласуются с работой [8], в которой представлено существенное влияние третьего момента (коэффициента асимметрии) интервалов времени между пакетами потока на среднее время ожидания заявок в системе. Как показано в работе [9], с увеличением значения третьего момента среднее время ожидания заявок уменьшается, при этом такая зависимость особенно сильно проявляется при малых нагрузках системы и уменьшается с ее увеличением. Кроме того, полученные в исследованиях автора результаты также хорошо согласуются с результатами двухмоментной аппроксимации [10].

### Заключение

В докладе проведен анализ исследований в работах, где автором ставилась задача исследования СМО  $G/G/1$  на примере систем с гиперэкспоненциальным входным законом распределения, а также построения механизма аппроксимации произвольных законов распределений ( $G$ ) с тяжелыми хвостами гиперэкспоненциальным распределением. Гиперэкспоненциальный закон распределения может быть использован для аппроксимации произвольных распределений в случае коэффициента вариации большего 1. Тот факт, что распределение  $H_2$  является трехпараметрическим дает возможность аппроксимации как на уровне двух первых моментов, так и на уровне трех первых моментов. Результаты анализа современных исследований доказывают необходимость выполнения аппроксимации распределения задержки для расчета джиттера с учетом третьего момента в связи с существенным влиянием третьего момента распределения (коэффициента асимметрии) интервалов времени между пакетами потока на среднее время ожидания заявок в системе.

### Литература

1. Тарасов В.Н., Липилина Л.В., Карташевский И.В. Исследование задержки в системе  $G/G/1$  // Инфокоммуникационные технологии – 2015. - №2. – С.153-158.
2. Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Липилина Л.В. Автоматизация расчета характеристик систем массового обслуживания для широкого диапазона изменения их параметров // Информационные технологии – 2016. -№12.-С.952-957.
3. Тарасов В.Н., Липилина Л.В. Программный комплекс расчета характеристик систем массового обслуживания типа  $H_2/H_2/1$ ,  $H_2/M/1$  и  $M/M/1$  с за-



паздыванием во времени // Св-во о гос.регистрации программы для ЭВМ № 2016612657 от 03.03.2016.

4. Муравьева-Витковская Л.А. Оценка параметров трафика на качество функционирования компьютерной сети с использованием СМО-моделей // ИММОД, 2009. – С.178 -181.

5. Joseph Abate, Ward Whitt. Transient behavior of the M/M/1 queue. Queueing systems 2, 1987. -С 41-65.

6. Geet Jan Franx, Ger Koole, Auke Pot. Approximating multi-skill blocking systems by HyperExponential Decomposition // Perfomance evaluation, 2006. -С 799-824.

7. Нгуен Д.Т. Методы и средства исследования распределенных сетей передачи данных с неоднородным трафиком на основе неэкспоненциальных моделей. Диссертация к.т.н. по спец. 05.13.13. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.

8. Муравьева-Витковская Л.А. Анализ влияния характера информационных потоков на качество функционирования телекоммуникационной сети // Научно-технический вестник СПб ГИТМО (ТУ). Вып. 6. Информационные, вычислительные и управляющие системы -СПб: СПб ГИТМО(ТУ), 2002. – С. 27-30.

9. Макаренко С.И, Сидорчук В.П., Краснокунский А.В. Методика оценки времени задержки пакета в сети воздушной радиосвязи в условиях нестациональности входного трафика // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10, № 6. – С.70-74.

10. Кругликов В.К., Тарасов В.Н. Анализ и расчет сетей массового обслуживания методом двумерной диффузионной аппроксимации // Изв. АН СССР Автоматика и телемеханика, 1983, №8. - С.74-83.

С.В. Лукачев, С.С. Каюков, В.В. Бирюк

## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ТОПЛИВОПОДАЧИ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК

(Самарский университет)

Для тепловых двигателей и энергоустановок летательных аппаратов характерна постановка задач по формированию импульсов впрыска топлива с различными параметрами. Традиционный подход при расчете систем топливоподачи заключается в решении систем уравнений динамики иглы и баланса расхода [1], что является трудоемким вариантом при наличии множества исходных данных. Альтернативой для выполнения расчетов является использование пакетов таких как PTC MathCad, Matlab Simulink. Однако при решении задач связанных с поиском оптимальных параметров проектируемых элементов СТП в данных пакетах сложно реализовать одновременное вычисление одной модели с разным набором комбинаций проектных параметров. Одним из расчетных комплексов в котором возможно осуществить вычисление нескольких