

ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОЖИДАЕМЫХ ДОХОДОВ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

В. В. Науменко

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы

Гродно, Беларусь

E-mail: victornn86@gmail.com

В работе приведен обзор методов и методик исследования сетей массового обслуживания (МО) некоторых новых типов – различных марковских сетей с доходами (НМ-сетей) с дисциплинами обслуживания заявок FIFO в системах, сетей с ограниченным временем ожидания разнотипных заявок в них, обходами систем обслуживания заявками и сетей с положительными и отрицательными заявками (G-сетей), применяемых при нахождении вероятностно-временных характеристик и доходов в информационных системах и сетях (ИСС) и других объектах в переходном режиме.

Ключевые слова: ограниченное время ожидания, обходы, разнотипные заявки, многолинейные СМО, отрицательные заявки, производящая функция, вероятности состояний, доходы, оптимизация.

ВВЕДЕНИЕ

На практике при проектировании реальных объектов часто необходимо смоделировать их текущее поведение, найти различные характеристики, зависящие от времени. В таких случаях важной задачей является нахождение вероятностей состояний их моделей – экспоненциальных и произвольных с различными особенностями сетей МО в переходном (нестационарном) режиме.

Для многих ИСС часто приходится решать задачи, связанные с оценкой их производительности, с учетом их стоимости. Кроме того, например, при исследовании банковских ИСС важной задачей является оценка стоимостных доходов, которые они получают от функционирования их различных подсистем. Все это привело к возникновению новых математических моделей – сетей МО с доходами, которые отличаются от классических тем, что требуют кроме изучения случайных процессов обслуживания заявок учитывать доходы и расходы, приносящие системам сети этими заявками. Важной задачей в этом случае является оценка и прогнозирование ожидаемых доходов в системах сети.

ВЕРОЯТНОСТНО-СТОИМОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ С ДИСЦИПЛИНАМИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК FIFO

В работе [1] проведено исследование замкнутой марковской НМ-сети с однотипными заявками, когда доходы от переходов между состояниями сети являются случайными

величинами, зависящими от времени обслуживания заявок в системах, а в [2] – замкнутой марковской НМ-сети с разнотипными заявками и многолинейными системами, когда доходы от переходов между ее состояниями детерминированы. Для таких сетей получены выражения для ожидаемых доходов систем и описана методика нахождения среднего числа заявок в системах сети. Полученные результаты были использованы при моделировании изменения доходов РУП «Белтелеком» от предоставления услуги «беспарольный доступ в сеть Интернет», а также при нахождении ожидаемых доходов РУП «Белтелеком» от предоставления услуги «широкополосный доступ в сеть Интернет» в условиях большой нагрузки на сервера от предоставления таких услуг.

В [3] проведен нестационарный анализ открытой НМ-сети с разнотипными заявками и многолинейными системами, когда доходы от переходов между ее состояниями являются случайными величинами. Исследован случай, когда заявки при переходе между системами сети могут менять свой тип. Получены выражения для ожидаемых доходов систем сети для каждого типа заявок. Описана методика нахождения среднего числа занятых линий обслуживания в системах сети. Результаты применены при исследовании модели изменения доходов сервисных пунктов (коллективного пользования) Гродненского филиала РУП «Белтелеком».

Для решения задачи определения объема памяти стохастических информационных систем (ИС) в [4] предложено использовать новую модель, основанную на использовании НМ-сети с зависимыми от времени параметрами входящего потока и обслуживания, вероятностями перехода заявок между системами, когда доходы от переходов между ее состояниями являются случайными процессами. Такая модель учитывает зависимость между объемом сообщений и временем их обработки в системах ИС, возможность изменения объема сообщений со временем. Получены выражения для ожидаемых суммарных объемов сообщений в системах и дисперсий объемов заявок.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕЙ С МНОГОЛИНЕЙНЫМИ СИСТЕМАМИ И ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ОЖИДАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ЗАЯВОК

Одним из способов сокращения очередей перед обслуживающими устройствами является ограничение на время ожидания в очереди. Сети МО со случайным временем ожидания в очередях позволяют моделировать ситуации с нетерпеливыми клиентами, которые покидают очередь, не дождавшись своего обслуживания. Отметим, что относительно недавно получен ряд важных результатов по исследованию таких сетей в переходном режиме [5, 6]. Учитывалось, что ограничение на время ожидания в очереди накладывается на все заявки независимо от того, какое место в очереди эти заявки занимают. На практике же аналогичное ограничение может накладываться, как правило, на последнюю заявку в очереди. Предполагалось, что заявки, время ожидания которых в системах обслуживания истекло, передвигаются по сети согласно общей для всех заявок матрице переходов. В реальных системах с ограниченным ожиданием заявки, время ожидания которых в очереди истекло, могут теряться либо, если это недопустимо, перераспределяются в сети, но уже согласно своей матрице переходов. Заявки, которые покидают системы МО (СМО), не получив в ней обслуживания, называются нетерпеливыми.

Было проведено исследование в переходном режиме сети с ограниченным временем ожидания разнотипных заявок и многолинейных СМО. Для сети, функционирующей так, что во всех системах сети число заявок каждого типа больше либо равно числу линий обслуживания в них, а параметры входящего потока заявок и обслуживания зависят от вре-

мени, получены выражения для многомерных производящих функций вероятностей состояний в виде многократного ряда, коэффициенты которого являются вероятностями состояний в переходном режиме. Предложена методика нахождения средних характеристик СМО сети [7]. Такая сеть может быть использована при моделировании функционирования сервисного центра информационной сети с учетом ограниченности времен ожидания клиентов в очередях.

Проведено также исследование открытой НМ-сети с указанными здесь особенностями. Заявки при переходе между системами сети могут менять свой тип. Рассматривается случай, когда доходы от переходов между состояниями сети являются функциями, зависящими от времен обслуживания заявок. Получены приближенные выражения для ожидаемых доходов систем сети. НМ-сеть использована при моделировании ожидаемых доходов пункта коллективного пользования [8]. В работе [9] найдены дисперсии доходов систем сети и сформулирована оптимизационная задача, связанная с максимизацией доходов и приведен алгоритм ее решения.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАРКОВСКИХ СЕТЕЙ С ОБХОДАМИ СИСТЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВКАМИ

В классической литературе рассматриваются сети МО, в которых заявка, направленная в какую-либо систему, принимается на обслуживание с вероятностью 1. Однако весьма важен и случай, когда эта вероятность отлична от 1. Таким образом, заявка может с некоторой вероятностью обходить определенные СМО по своему маршруту. Рассмотрим марковские сети с возможностью обходов систем заявками. Такие сети учитывают возможность обхода систем из-за ограничений на количество заявок в СМО или на предполагаемое время ожидания поступающей заявки. Такая ситуация, к примеру, может возникнуть в сервисных пунктах информационных сетей. Клиент, приходя в один из таких пунктов, оценивает, сколько времени ему необходимо будет ожидать в очереди и принимает решение перейти к другому свободному оператору для обслуживания своего запроса, или же к оператору с наименьшей очередью клиентов.

В работах [10, 11] проведено исследование открытой экспоненциальной сети с многолинейными СМО с обходами систем обслуживания однотипными заявками в переходном режиме. Описана методика нахождения зависящих от времени вероятностей состояний сети и средних характеристик сети такого типа. Для этого применен аппарат многомерных производящих функций. Это сделано в случае, когда параметры входящего потока заявок и обслуживания зависят от времени, а вероятности обходов в СМО зависят от ее состояний и времени. Проводится также исследование открытой экспоненциальной сети с обходами систем обслуживания разнотипными заявками с абсолютным приоритетом, которые при переходе между системами сети могут менять свой тип [12, 13]. Заявки, поступающие в систему с вероятностью, зависящей от ее состояния и типа поступающей заявки, становятся на обслуживание, вытесняя заявки, которые обслуживались, в очередь с дообслуживанием, или мгновенно переходят в другую систему или могут покинуть сеть. На практике это означает, что заявки различают по их приоритету, т.е. по важности. Заявки высокого приоритета обслуживаются в первую очередь. Абсолютный приоритет дает право прервать обслуживание менее важной заявки и занять ее место в системе (если все СМО заняты столь же важными заявками). Если заявка с абсолютным приоритетом поступила в СМО, то поступившая заявка сразу начинает обслуживаться, прерывая на время своего обслуживания находящуюся там заявку. Вытесненная таким образом заявка возвращается в начало своей очереди и ожидает продолжение обслуживания (дообслужива-

ния), или мгновенно переходит в следующую систему, либо покидает сеть. В ИСС заявкам с абсолютным приоритетом соответствуют команды операторов. А в [14] исследована сеть с рандомизированным выбором заявок на обслуживание.

В [15] предложена методика нахождения ожидаемых доходов в системах открытой экспоненциальной НМ-сети с обходами систем обслуживания однотипными заявками. Рассмотрено два случая: когда доходы от переходов между состояниями сети являются детерминированными функциями, зависящими от состояний сети и времени, а системы сети являются однолинейными; и когда доходы от переходов между состояниями сети являются функциями, зависящими от времен обслуживания заявок.

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ АНАЛИЗ И НАХОЖДЕНИЕ ОЖИДАЕМЫХ ДОХОДОВ В МАРКОВСКИХ G-СЕТЯХ

Применение классических моделей теории МО, которые учитывают характерные особенности систем и возможное влияние различных дестабилизирующих факторов, как например, внезапные сбои, попадание вирусов, потеря передаваемых или обрабатываемых данных, не всегда дает адекватные результаты. Чтобы учесть подобные факторы, была предложена концепция G-сетей, в которых помимо потоков обычных заявок рассматриваются также дополнительные пуассоновские потоки отрицательных заявок [16, 17]. В таких сетях при поступлении в систему отрицательной заявки (при этом она не получает никакого обслуживания), она уничтожает одну положительную заявку, если такая имеется в данной системе, тем самым уменьшая число положительных заявок в системе на единицу (эффект проникновения вируса в компьютерную сеть). Например, в компьютерных сетях “положительными” заявками являются задания (программы), а “отрицательными” заявками – компьютерные вирусы. При поступлении в компьютерную сеть вирус уничтожает или наносит вред, заражает одну из исполняемых программ, уменьшая количество действующих программ или запросов в системе на единицу. Затем вирус исчезает из сети, не получая для себя никакого обслуживания.

В работах [18–23] проведено исследование в переходном режиме сетей МО с положительными и отрицательными заявками, сигналами, в том числе со случайной задержкой и однолинейными СМО, функционирующими в условиях высокой нагрузки. Выведены системы разностно-дифференциальных уравнений (РДУ) для вероятностей состояний таких сетей. Предложена методика решения таких систем РДУ и нахождения их средних характеристик, основанная на использовании многомерных производящих функций. При этом интенсивности обслуживания заявок в системах сети могут зависеть от ее состояний.

В [24–28] предложены методики нахождения ожидаемых доходов и дисперсий доходов в системах НМ-сетей указанных выше типов. Они могут быть использованы при прогнозировании доходов в ИСС с учетом попадания в них вирусов. Исследования проведены в случаях, когда доходы от переходов между состояниями сети являются детерминированными функциями, зависящими от ее состояний, и случайными величинами с заданными средними значениями. Поставлена задача оптимизации сети с положительными и отрицательными заявками и многолинейными СМО. При этом вероятности переходов заявок между СМО зависят от времени, а доходы от переходов между ее состояниями являются случайными величинами с заданными средними значениями. Предложена методика решения данной задачи.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что они могут использоваться при моделировании функционирования различных ИСС, моделями

которых являются вышеуказанные сети и при прогнозировании доходов и расходов в ИСС с учетом попадания в них компьютерных вирусов, при DDoS-атаках на ИСС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе описаны новые научные теоретические и прикладные результаты в области исследования и оптимизации сетей МО с ограниченным временем ожидания заявок в системах, с обходами систем обслуживания заявками, с положительными и отрицательными заявками и ряда сетей с дисциплиной обслуживания заявок FIFO в системах в переходном режиме, которые в совокупности решают важную задачу нахождения вероятностно-стоимостных характеристик и оптимальных параметров таких сетей, получивших широкое применение в качестве адекватных вероятностных моделей ИСС и других объектов. Для оценки точности полученных приближенных выражений и для исследования немарковских НМ-сетей МО указанных типов разработаны имитационные модели их функционирования с произвольными распределениями времен обслуживания заявок в системах. Путем сравнения с результатами имитационного моделирования показано, что полученные методы и методики обладают достаточно высокой точностью.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные в ней методы позволяют повысить эффективность и качество проектирования различных ИСС и других объектов, моделями которых являются сети МО с ограниченным временем ожидания заявок в системах, с обходами систем обслуживания заявками, с положительными и отрицательными заявками и ряда сетей с дисциплиной обслуживания заявок FIFO в системах в переходном режиме. Полученные результаты позволяют существенно расширить область применения сетей МО в качестве адекватных вероятностных моделей. Важно отметить, что некоторые из полученных результатов позволяют моделировать поведение вирусов в ИСС, проводить прогноз расходов ИСС при DDoS-атаках и управлять нагрузкой в ИСС.

Экономическую ценность представляет программное обеспечение, реализующее разработанные методы для расчета вероятностно-стоимостных характеристик построенных моделей. Применение его для решения задач проектирования и оптимизации позволяет получить определенный эффект за счет повышения качества проектных решений и экономии труда проектировщиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Науменко, В. В.* Оценка ожидаемых доходов РУП «Белтелеком» при оказании услуги «беспарольный доступ в Интернет» / В. В. Науменко, А. В. Паньков // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2011. № 2. С. 77–84.
2. *Науменко, В. В.* Оценка ожидаемых доходов РУП «Белтелеком» при оказании услуги «доступ в Интернет» / В. В. Науменко, А. В. Паньков // Технологии информатизации и управления: материалы II Международной научно-практической конференции. ГУО ИТДиУ БГУ. Гродно, 2011. С. 57–63.
3. *Науменко, В. В.* Исследование модели изменения доходов пункта коллективного пользования. / В. В. Науменко // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2012. № 1. С. 143–157.
4. *Matalytski, M.* Zastosowanie НМ-sieci kolejkowych dla wyznaczenia objętości pamięci systemów informacyjnych / М. Matalytski, V. Naumenko // Studia Informatica. 2014. V. 35. № 3. S. 63–69.
5. *Статкевич, С. Э.* Анализ сети массового обслуживания с ограниченным временем ожидания заявок в переходном режиме / С. Э. Статкевич // Вестник ГрГУ. Серия 2. Математика, физика, информатика, вычислительная техника и управление. 2011. № 3. С. 97–110.
6. *Статкевич, С. Э.* Оптимизация замкнутых сетей с ограниченным временем ожидания заявок в переходном режиме / С. Э. Статкевич, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Серия 2. Математика, физика, информатика, вычислительная техника и управление. 2012. № 1. С. 134–142.

7. Науменко, В. В. Исследование сетей с многолинейными системами обслуживания и ограниченным временем ожидания разнотипных заявок // В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2014. № 4. В печати.
8. Науменко, В. В. Прогнозирование доходов пункта коллективного пользования с нетерпеливыми клиентами / В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2012. № 2. С. 135–144.
9. Науменко, В. В. Исследование и оптимизация модели пункта коллективного пользования с нетерпеливыми клиентами / В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2012. № 3. С. 107–116.
10. Matalytski, M. Analysis of the queuing network with messages bypass of systems in transient behavior / M. Matalytski, V. Naumenko // Scientific Research of the Institute of Mathematics and Computer Science, Czestochowa University of Technology, 2012. V. 11. № 2. P. 71–83.
11. Matalytski, M. Analysis of networks with time-dependent transition probabilities and messages bypass between the queuing systems / M. Matalytski, V. Naumenko // Scientific Research of the Institute of Mathematics and Computer Science Czestochowa University of Technology, 2012. V. 11. № 4. P. 93–104.
12. Науменко, В. В. Анализ сети с обходами систем обслуживания разнотипными заявками с абсолютным приоритетом в переходном режиме / В. В. Науменко // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2013. № 1. С. 141–151.
13. Matalytski, M. Nonstationary analysis of the queueing network with bypass of systems of many-type and absolute priority messages / M. Matalytski, V. Naumenko // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics. 2013. V. 1. № 12. P. 93–105.
14. Науменко, В. В. Анализ сети с обходами систем обслуживания разнотипными заявками / В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2013. № 1. С. 152–159.
15. Matalytski, M. Finding incomes of HM-network with one-type messages bypass of systems / M. Matalytski, V. Naumenko // Scientific Research of the Institute of Mathematics and Computer Science, Czestochowa University of Technology, 2012. V. 11. № 3. P. 111–123.
16. Gelenbe, E. Product form queueing networks with negative and positive customers / E. Gelenbe // Journal of Applied Probability. 1991. V. 28. P. 656–663.
17. Gelenbe, E. Stability of product-form G-networks / E. Gelenbe, R. Schassberger // Probability Statistics for Engineers Scientists. 1992. V. 6. P. 271–276.
18. Науменко, В. В. Анализ сети с положительными и отрицательными заявками в переходном режиме // В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2013. № 3. С. 135–142.
19. Matalytski, M. Nonstationary analysis of queueing network with positive and negative messages / M. Matalytski, V. Naumenko // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics. 2013. V. 2. № 12. P. 61–71.
20. Науменко, В. В. Анализ сетей с положительными и отрицательными заявками в переходном режиме / В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 4. С. 61–70.
21. Матальцкий, М. А. Анализ G-сети со случайной задержкой сигналов в переходном режиме и ее применение / М. А. Матальцкий, В. В. Науменко // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2014. № 1. С. 135–147.
22. Matalytski, M. Investigation of G-network with signals at transient behavior / M. Matalytski, V. Naumenko // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics. V. 13. Is. 1. 2014. P. 75–86.
23. Matalytski, M. Investigation of G-network with random delay of signals at nonstationary behaviour / M. Matalytski, V. Naumenko // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics. V. 13. Is. 3. 2014. P. 155–166.
24. Науменко, В. В. Анализ марковских сетей с доходами, положительными и отрицательными заявками / В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Информатика. 2014. № 1. С. 5–14.
25. Науменко, В. В. Анализ доходов в марковских G-сетях методом последовательных приближений / В. В. Науменко // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2014. № 1. С. 125–134.
26. Matalytski, M. Application of a z-transforms method for investigation of markov G-networks / M. Matalytski, V. Naumenko // Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics. V. 13. Is. 1. 2014. P. 61–73.
27. Науменко, В. В. Нахождение ожидаемых доходов в марковской G-сети с сигналами // В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2014. № 2. С. 134–143.
28. Науменко, В. В. Исследование и применение G-сети с доходами и сигналами со случайным временем активизации // В. В. Науменко, М. А. Матальцкий // Вестник ГрГУ. Сер. 2. 2014. № 3. С. 142–152.