

На правах рукописи



МУРШЕД ФУАД АБДУЛЛА МОХАММЕД

**УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ НА БАЗЕ
ПОЛЛИНГОВЫХ СИСТЕМ**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Казань – 2018

Работа выполнена на кафедре информатики и прикладной математики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Научный руководитель: доктор педагогических наук, кандидат технических наук, профессор **Нуриев Наиль Кашапович**

Официальные оппоненты: **Смагин Алексей Аркадьевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет», заведующий кафедрой телекоммуникационных технологий и сетей;

Якимов Игорь Максимович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева», доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет».

Защита состоится «07» декабря 2018 года в 16.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.080.13, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета (А–330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и по адресу <http://www.kstu.ru/event.jsp?id=95755>.

Автореферат разослан «_____» 2018 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.080.13, доктор технических наук, профессор



Клинов
Александр
Вячеславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность темы диссертации. Вопросы эффективного администрирования систем, обслуживающих случайные потоки различных типов заявок, возникают в ряде технических, экономических, и социальных систем, что определяет актуальность настоящего исследования в целом.

Поллинговые системы - это особый тип систем массового обслуживания (СМО), где единственное обслуживающее устройство обрабатывает заявки, накапливающиеся в нескольких независимо формирующихся очередях. Они применяются в ситуациях, когда несколько пользователей конкурируют за получение доступа к общему ресурсу, который одновременно может быть доступен только одному из них. В последние два десятилетия интерес к таким системам значительно вырос. Это обусловлено, прежде всего, бурным развитием телекоммуникационных технологий и компьютерных сетей, работа которых построена таким образом, что одно обслуживающее устройство (сервер) принимает в установленном порядке пакеты информации от нескольких несвязанных между собой источников. Поллинговые системы имеют широкий спектр важных приложений в сфере промышленного производства, транспорта, телекоммуникационных технологий. В сфере коммуникации и компьютерных сетей в частности, системами поллинга являются сети с кольцевой топологией (token-ring networks), сети с шинной топологией (token-bus networks), сети волоконно-оптического распределенного интерфейса передачи данных (FDDI network), сети DQDB (двойная шина с распределенной очередью), пассивные оптические сети (EPON networks), сети Bluetooth, мобильные сети (mobile networks), паромные беспроводные сети (ferry-based wireless networks), сети MANET (беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети).

Цель диссертационной работы и задачи исследования. Целью исследования является разработка математических моделей, алгоритмов и комплекса программ для эффективного администрирования поллинговых систем массового обслуживания.

Для решения общей научной проблемы и достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Построить математические модели, описывающие различные режимы функционирования поллинговых систем;
- 2) Разработать математические модели эффективного администрирования поллинговых систем с ограниченным временем жизни заявок;
- 3) Разработать алгоритмы численного исследования поведения поллинговых систем для различных режимов их функционирования;

- 4) Разработать комплекс программ, для реализации имитационных моделей;
- 5) Спроектировать алгоритм схем динамической маршрутизации обслуживающего устройства поллинговой системы.

Объектом исследования являются системы массового обслуживания в телекоммуникационных технологиях.

Предметом исследования являются поллинговые системы массового обслуживания с ограниченным временем жизни заявок.

Методология и методы исследования. В диссертационной работе использованы следующие методы:

- Математический аппарат теории массового обслуживания;
- Имитационное моделирование на основе объектно-ориентированного программирования в среде AnyLogic с использованием языка программирования Java.

Научная новизна исследования:

- 1) С использованием аппарата имитационного моделирования получены численные решения для математических моделей поллинговых систем, трудноразрешимых аналитическими способами;
- 2) Показана и обоснована возможность применения математического аппарата классических систем массового обслуживания для исследования поллинговых систем с учетом соответствующего масштабирования;
- 3) Установлены режимы эффективного администрирования поллинговых систем с ограниченным временем жизни заявок;
- 4) Исследован режим динамической маршрутизации и показано его преимущество перед режимом циклического обслуживания.

Теоретическая значимость состоит в следующем:

- Средствами имитационного моделирования установлено, что в процессе функционирования поллинговой системы наблюдается усреднение по ансамблю интенсивностей входных потоков, пополняющих очереди;
- Показано отсутствие значимых различий технико-экономических характеристик поллинговых систем, работающих в исчерпывающем и шлюзовом режимах;
- Предложен аналитический вид функции плотности вероятности распределения потока обслуживания для систем с ограниченным временем жизни заявок;
- Разработан алгоритм динамической маршрутизации обслуживающего устройства, для поллинговых систем, в которых доступна информация о состоянии в режиме реального времени.

Практической значимостью является следующее:

- Разработаны алгоритмы исследования поведения поллинговых систем, путем их сравнения с классическими системами массового обслуживания с учётом соответствующего масштабирования;
- Разработаны новые приемы эффективного администрирования, использующие близость технико-экономических характеристик систем поллинга, функционирующих в исчерпывающем и шлюзовом режимах обслуживания;
- Разработаны алгоритмы, которые позволяют расширить возможности администрирования поллинговых систем массового обслуживания, в частности найдены условия, допускающие подключение к обслуживанию дополнительной очереди.
- Разработан программный комплекс в среде AnyLogic, реализующий предложенные модели и алгоритмы решения задач имитационного моделирования поллинговых систем.
- Эффективность разработанных моделей и алгоритмов показана на примере поллинговых систем с четырьмя независимыми очередями.
- Результаты работы переданы для внедрения в исследовательскую и проектную деятельность компании Almokhtas, а также внедрены в учебный процесс кафедры информатики и прикладной математики КНИТУ.

Основные результаты, выносимые на защиту:

- Математические модели, описывающие различные режимы функционирования поллинговых систем;
- Модели эффективного администрирования поллинговых систем с ограниченным временем жизни заявок;
- Алгоритмы численного исследования поведения поллинговых систем для различных режимов их функционирования;
- Комплекс программ для реализации имитационных моделей.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов работы подтверждается корректным применением математического аппарата, данными имитационного моделирования и широким спектром публикаций и выступлений на **международных конференциях:**

VIII Международной научно-практической конференции «ИКТ в современном мире: технологические, организационные, методические и педагогические аспекты их использования» (г. Казань, 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Наука 21 века: открытия, инновации, технологии» (г. Смоленск, 2016); Международной научно-практической конференции «Наука XXI века: открытия, инновации, технологии» (г. Смоленск, 2017); IX Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в современном мире» (г.

Казань, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования в науке и образовании» (г. Смоленск, 2018);

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 15 работах, в том числе 9 статей – из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Министерством образования и науки Российской Федерации.

Структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и двух приложений (акты внедрения и исходные коды имитационных моделей). Работа изложена на 161 странице машинописного текста, содержит 22 таблицы и 41 рисунок. Библиографический список включает 157 литературных источников.

Личный вклад автора заключается в выполнении основного объема теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертационной работе, включая разработку теоретических моделей, методик экспериментальных исследований, проведение исследований, анализ и оформление результатов в виде публикаций и научных докладов. Все результаты диссертационной работы соответствуют пунктам 4, 5, 8 паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

СТРУКТУРА И КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, определены объект и предмет исследования, раскрыты его научная новизна и практическая ценность, сформулированы основные результаты, выносимые на защиту, приведены данные апробации результатов исследования.

В первой главе представлен обзор систем массового обслуживания, выполненный по материалам литературных источников. Обозначены основные направления, где в настоящее время ведутся активные исследования, с использованием аппарата теории массового обслуживания, как инструмента решения задач. Выделены проблемы, которые представляют наибольший интерес при решении задач управления и администрирования систем массового обслуживания. Выполнен детальный анализ поллинговых систем, являющихся одной из сложных разновидностей систем массового обслуживания. Проведен анализ опыта использования поллинговых систем в информационно-коммуникационных, производственных, транспортных, и ряде других областей. Сопоставлены методы и инструменты их моделирования, обоснована целесообразность использования аппарата имитационного моделирования.

Во второй главе в первых трех разделах представлены математические модели поллинговых систем, функционирующих в исчерпывающем и шлюзовом режимах обслуживания. Эти модели отличаются очень высоким уровнем сложности и большинство из них не могут быть доведены до конкретных расчетных схем, хотя и представляют несомненный теоретический интерес.

Рассмотрена система, имеющая одно обслуживающее устройство и N ($N \geq 2$) очередей с неограниченным числом мест ожидания. В i -ю очередь поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью λ_i . Времена обслуживания заявок в очереди Q_i независимы и одинаково распределены с функцией распределения $B_i(t)$, со средним $b_i = \int_0^\infty t dB_i(t)$, и вторым моментом $b_i^{(2)}$. Обозначим через $\rho_i = \lambda_i b_i$ коэффициент загрузки очереди Q_i , а через $\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i$ – коэффициент загрузки системы. Обслуживающее устройство посещает очереди по циклическому порядку, и обслуживает их либо по исчерпывающему, либо по шлюзовому режиму.

Среднее время цикла обслуживающего устройства для таких систем определяется равенством

$$C = \frac{s}{1 - \rho},$$

где, ρ – коэффициент загрузки системы, s – время переключения между очередями. Для поллинговых систем с циклическим порядком опроса и исчерпывающим или шлюзовым обслуживанием очередей, необходимое и достаточное условия бесперебойной работы имеет вид: $\rho < 1$. Так как обслуживающее устройство обслуживает заявки i -й очереди в долю времени равную ρ_i , то для исчерпывающего обслуживания, среднее время посещения этой очереди в цикле равно: $v_i = \rho_i C + s_i$, а для шлюзового обслуживания, будет равно:

$$v_i = \rho_i C + s_{i+1}.$$

Средняя длина i -й очереди в произвольный момент времени может быть выражена через L_{ij}

$$L_i = \sum_{j=1}^N q_{j1} L_{ij}, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где, L_{ij} – является средней длиной i -й очереди в произвольный момент посещения обслуживающим устройством j -й очереди, $i, j = \overline{1, N}$. Величина q_{j1} определяет вероятность того, что в произвольный момент цикла обслуживающее устройство будет обращено к j -й очереди, $j = \overline{1, N}$. Найдем среднее время ожидания W_i и среднюю длину L_i i -й очереди для систем с исчерпывающим режимом обслуживания.

$$W_i = L_i b_i + \rho_i R_{B_i} + \frac{S_i}{C} R_{S_i} + (1 - q_{i,1})(R_{V_{i+1,N-1}} + s_i). \quad (2)$$

и, применяя закон Литтла,

$$L_i = \lambda_i W_i, \quad (3)$$

можем преобразовывать равенство (2) к виду

$$L_i = \frac{\lambda_i}{1 - \rho_i} \left(\rho_i R_{B_i} + \frac{S_i}{C} R_{S_i} + (1 - q_{i,1})(R_{V_{i+1,N-1}} + s_i) \right). \quad (4)$$

величина $R_{V_{i,j}}$ для произвольного $j, j = \overline{1, N}$, равна:

$$R_{V_{i,j}} = \frac{q_{i,1}}{q_{i,2}} \left(\frac{R_{V_{i,j}}}{\prod_{n=1}^{j-1} (1 - \rho_{i+n})} + \sum_{n=1}^{j-1} \frac{S_{i+n} + L_{i+n,i} b_{i+n}}{\prod_{m=n}^{j-1} (1 - \rho_{i+m})} \right) + \left(1 - \frac{q_{i,1}}{q_{i,j}} \right) R_{V_{i+1,j-1}}. \quad (5)$$

Среднее время ожидания W_i и средняя длина L_i i -й очереди для систем с шлюзовым режимом обслуживания определяются как:

$$W_i = \tilde{L}_i b_i + R_{V_{i,N}} \quad i = \overline{1, N},$$

которое в сочетании с (3) приводит к следующему равенству для вычисления длины очереди

$$L_i = \rho_i \tilde{L}_i + \lambda_i R_{V_{i,N}} \quad i = \overline{1, N}. \quad (6)$$

Величина $R_{V_{i,j}}$ для произвольного j находится аналогичным образом, как и в случае исчерпывающего режима:

$$\begin{aligned} R_{V_{i,j}} = & \frac{q_{i,1}}{q_{i,j}} \left(R_{V_{i,1}} \prod_{n=1}^{j-1} (1 + \rho_{i+n}) + \sum_{n=1}^{j-1} (S_{i+n+1} + \tilde{L}_{i+n,i} b_{i+n}) \times \right. \\ & \left. \times \prod_{m=n+1}^{j-1} (1 + \rho_{i+m}) \right) + \left(1 - \frac{q_{i,1}}{q_{i,j}} \right) R_{V_{i+1,j-1}}. \end{aligned} \quad (7)$$

В четвертом разделе представлены имитационные модели циклических поллинговых систем, в которых обслуживающее устройство посещает очереди по заранее оговоренному циклическому маршруту. Это означает, что обслуживающее устройство с очереди Q_i переходит к очереди Q_{i+1} , с очереди Q_{i+1} к очереди Q_{i+2} и так далее до очереди Q_N , а затем с очереди Q_N к очереди Q_1 , после чего цикл обхода полностью повторяется.

Именно для такой структуры, в составе которой имеются четыре независимые очереди, пополняемые пуассоновскими потоками заявок, была построена имитационная модель. На этой модели изучалось поведение и характер изменения таких характеристик поллинговых систем, как время ожидания обслуживания в

очередях, время прохождения цикла, нагрузка системы, нагрузка обслуживающего устройства, пропускная способность системы. Полученные результаты позволили установить зависимость эффективности работы системы от упомянутых характеристик, что является актуальным для решения задач администрирования. На рис. 1 представлены графики зависимости времени ожидания заявок в каждой очереди от коэффициента нагрузки обслуживающего устройства.

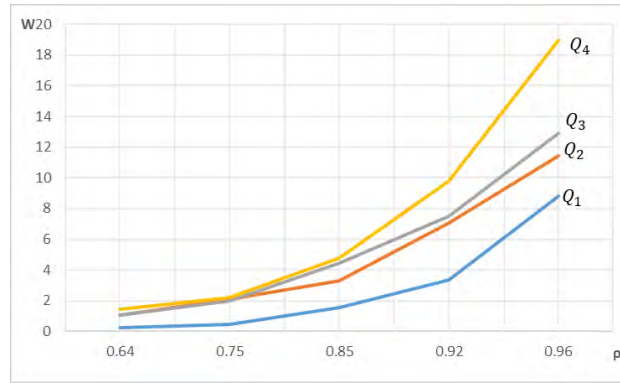


Рисунок 1. График зависимости среднего времени ожидания обслуживания W от коэффициента нагрузки обслуживающего устройства rho. Интенсивности потоков, пополняющих очереди: $\lambda_1 = 1$; $\lambda_2 = 2$; $\lambda_3 = 3$; $\lambda_4 = 4$;

Третья глава посвящена проблеме имитационного моделирования поллинговых систем и получению численных результатов, пригодных для вынесения обоснованных аналитических суждений. Это особенно важно в ситуациях, когда сложность аналитической модели такова, что получение на ее основе расчетной схемы приемлемой сложности практически невозможно.

В первом разделе настоящей главы аппарат имитационного моделирования используется для сравнения функционирования системы поллинга (СП) с классической одноканальной СМО с одной очередью неограниченной емкости (упрощенная система, УС), пополняющейся пуассоновским потоком заявок, интенсивность которого равна среднему значению суммарной интенсивности входных потоков, пополняющих очереди системы поллинга, т.е.,

$$\lambda = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i. \quad (8)$$

Основанием и мотивационной причиной подобного исследования является то обстоятельство, что если принять гипотезу эргодичности, то, с позиции администратора, поллинговая система будет эквивалентна обычной системе массового обслуживания с единственной очередью, интенсивность потока пополнения которой есть какая-то функция времени $\lambda = \lambda(t)$.

Анализ полученных результатов показывает, что в области разрядных частот, где обслуживается основная часть (95% и более) требований, характеристики систем, функционирующих в исчерпывающем и шлюзовом режимах, отличаются друг от друга крайне незначительно – менее чем на 5% (таблица 1). Это позволяет утверждать, что в условиях практической эксплуатации технико-экономические показатели поллинговых систем, действующих в рамках этих схем обслуживания, можно считать одинаковыми.

Обозначив через ϕ отношение числа заявок, обслуженных системой поллинга к числу заявок, обслуженных упрощенной системой, заметим, что величина этого отношения демонстрирует устойчивое постоянство ($\phi \approx 4$) для основных разрядных частот и не зависит от режима организации обслуживания поллинговой системы. Важным является так же то обстоятельство, что величина ϕ остается неизменной при перераспределении интенсивностей входных потоков требований между очередями системы. Следовательно, фактически поллинговая система выступает в роли механизма усреднения интенсивностей потоков пополнения очередей по всему ансамблю пользователей.

Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования СП и УС

Параметры	Интервал, ед.вр.	Исчерпывающее обслуживание			Шлюзовое обслуживание		
		Частота ПС, заявка	Частота УС, заявка	ϕ	Частота ПС, заявка	Частота УС, заявка	ϕ
$\lambda = (1,2,3,4)$ заявка/ ед. вр., $\mu=10$	0 - 0.08	19886	4916	4.05	19712	5018	3.93
	0.08 - 0.16	8724	2155	4.05	8649	2178	3.97
	0.16 - 0.24	3919	1025	3.82	3989	1036	3.86
	0.24 - 0.32	1782	441	4.04	1812	480	3.78
	0.32 - 0.4	833	183	4.55	778	234	3.32
	0.4 - 0.48	352	96	3.67	357	93	3.84
	0.48 - 0.56	164	39	4.21	158	40	3.95
$\lambda = (7,1,1,1)$ заявка/ ед. вр., $\mu=20$	0 - 0.04	19858	4923	4.03	19870	4967	4.00
	0.04 - 0.08	8889	2305	3.86	8797	2256	3.90
	0.08 - 0.12	4105	998	4.11	3892	987	3.94
	0.12 - 0.16	1869	466	4.01	1841	462	3.98
	0.16 - 0.2	901	203	4.44	863	183	4.72
	0.2 - 0.24	392	87	4.51	367	83	4.42
	0.24 - 0.28	152	36	4.22	134	40	3.35

Этот результат может оказаться весьма полезным для расчета технико-экономических характеристик поллинговых систем и решения задач оперативного администрирования, поскольку допускает использование для этой цели известных

соотношений, описывающих поведение классических СМО. Величина ϕ , численно равная количеству независимых очередей в составе системы, участвует в расчетах как масштабирующий множитель. Устойчивость значений множителя ϕ наглядно демонстрируется гистограммами на рисунке 2.

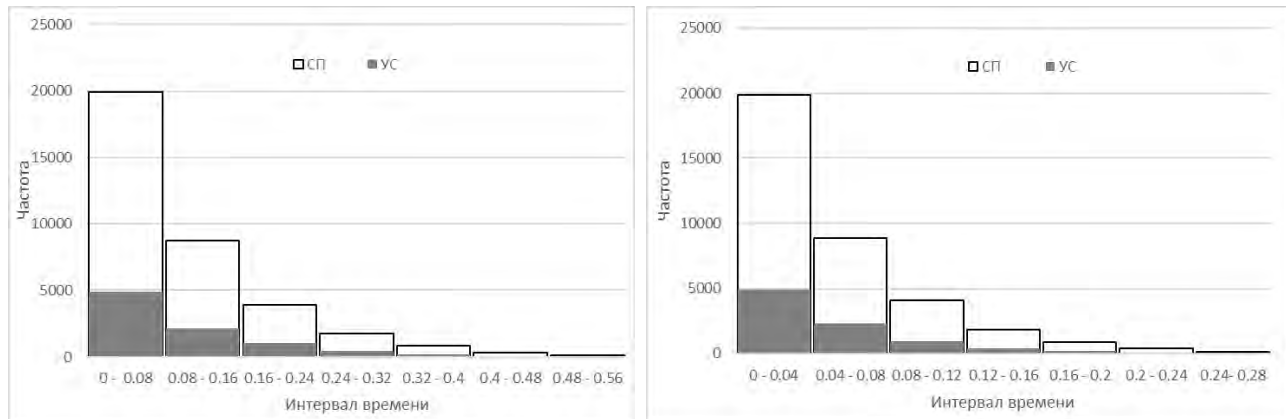


Рисунок 2. Гистограммы частот заявок СП и УС при $\lambda = (1, 2, 3, 4)$ заявка/ ед. вр., $\mu = 10$ (слева), и при $\lambda = (7, 1, 1, 1)$ заявка/ ед. вр., $\mu = 20$ (справа)

Во втором разделе содержатся материалы по математическому и имитационному моделированию поллинговых систем с ограниченным временем жизни заявок и разработке приёмов эффективного администрирования таких систем, где в силу природных, технических или организационных причин назначается предельное время пребывания заявок на обслуживании, по истечении которого заявка покидает систему независимо от того, было ли завершено ее обслуживание или нет. Математическое моделирование и расчет подобных систем сложны, и трудоемки, поскольку привычный вид функций распределения заявок в потоке обслуживания существенно меняется. Однако, если лимит времени устанавливается директивно, т.е. порождается причинами организационного порядка, то открываются дополнительные, весьма широкие возможности администрирования. В работе рассмотрена ситуация, когда поток обслуживания распределен экспоненциально и имеет одинаковую интенсивность μ для заявок любой очереди. При этом устанавливается предельное время пребывания заявок в стадии обслуживания Θ , по достижении которого их обслуживание прекращается, а заявки либо удаляются из системы, либо снова помещаются в ту же очередь. Это самым существенным образом меняет вид функции распределения. Как показано на рисунке 3, она приобретает конечный размах $[0, \Theta]$.

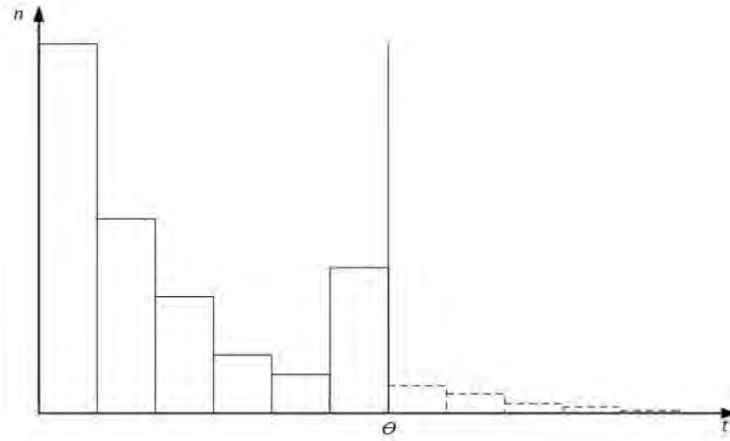


Рисунок 3. Гистограмма функции распределения потока с ограниченным временем жизни заявок. Пунктиром отмечены разряды, превосходящие θ

Наиболее близкий аналог этого распределения, аналитическое выражение которого известно, можно отыскать среди так называемых кривых Пирсона. Это обширное семейство функций, порожаемое решениями дифференциального уравнения

$$\frac{dy}{y} = \frac{x - C_1}{C_0 + C_1x + C_2x^2} dx, \quad (9)$$

общий интеграл которого может быть записан в виде $y = y_0 e^{h(x)}$, где

$$h(x) = \int \frac{x - C_1}{C_0 + C_1x + C_2x^2} dx. \quad (10)$$

Постоянные, входящие в состав подынтегрального выражения (10), определяются через моменты распределения. Вид функции $h(x)$ зависит от вида корней знаменателя подынтегрального выражения. Если они действительны и различны по знаку, то функция плотности вероятности искомого распределения имеет вид

$$f(x) = M \left(1 + \frac{x}{\ell_1}\right)^{\tau_1} \cdot \left(1 - \frac{x}{\ell_2}\right)^{\tau_2}, \quad (11)$$

где M – нормировочный множитель. Значения параметров τ_1 , τ_2 , ℓ_1 , ℓ_2 так же определяются с помощью моментов распределения. Если τ_1 и τ_2 отрицательные, то функция плотности вероятности имеет вид, представленный на рисунке 4.

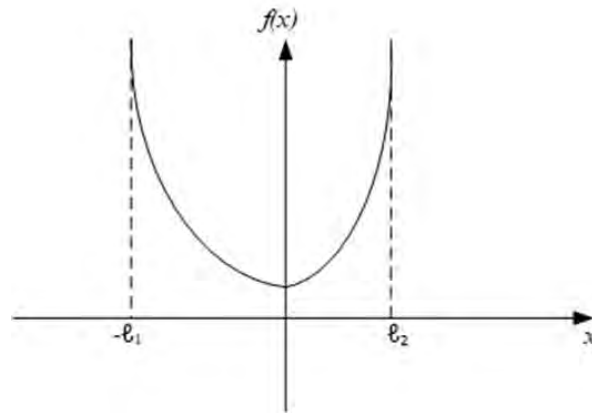


Рисунок 4. График функции распределения, задаваемой соотношением (11)

Предполагается, что случайная величина x центрирована так, что в точке $x=0$ функция $f(x)$ достигает своего минимального значения.

Функция распределения плотности вероятности (11) дает описание сложного многопараметрического распределения, идентификация параметров которого требует вычисления четырех основных моментов. Поэтому применение его в вычислительных схемах, представляется малоперспективным. С помощью имитационного моделирования эти затруднения преодолеваются, поскольку оно позволяет осуществить численный анализ сколь угодно сложного процесса, минуя стадию аналитического сопровождения. Анализ данных, полученных в ходе имитационных экспериментов, показал, что величины Θ практически одинаковы как для исчерпывающего, так и для шлюзового режима обслуживания. Заметим также, что доля заявок, покинувших систему до завершения обслуживания, совпадает с точностью до 1% с аналогичным показателем для системы массового обслуживания с одной очередью, вычисленным по известному расчетному соотношению. Это доказывает тот факт, что поллинговая система выполняет функцию усреднения по ансамблю, и что для оценки ряда технико-экономических характеристик поллинговых систем можно использовать формулы, описывающие поведение традиционных систем массового обслуживания. Введение ограничения на время жизни заявок, расширяет возможности администрирования. При наличии резерва свободного времени обслуживающее устройство может быть выведено из эксплуатации для проведения планового профилактического осмотра, мелкого ремонта и т.п. без ущерба для его основной деятельности. В таблице 2 приведены результаты имитационного эксперимента, целью которого была количественная оценка изменений технико-экономических и эксплуатационных характеристик поллинговой системы с четырьмя независимыми очередями после введения ограничений на время жизни заявок в пуассоновском потоке обслуживания, для

различных вариантов организации обслуживания и пополнения очередей внутри поллинговой системы.

Таблица 2 – Результаты имитационного моделирования поллинговой системы с ограничением времени жизни заявок

Предельное время обслуживания	Интенсивности потоков пополнения очередей	Шлюзовое обслуж.		Исчерпывающее обслуж.		Количество “отрезанных” заявок одноканальной системы %
		Количество “отрезанных” Заявок %	Свободное время обслуживания устройства %	Количество “отрезанных” Заявок %	Свободное время обслуживания устройства %	
$\theta = \frac{3}{\mu}$	$\lambda = (1,2,3,4)$	5.10	4.36	5.00	4.31	4.98
	$\lambda = (2.5,2.5,2.5,2.5)$	5.05	4.71	5.14	4.45	
	$\lambda = (7,1,1,1)$	5.05	5.44	5.07	4.98	
$\theta = \frac{2}{\mu}$	$\lambda = (1,2,3,4)$	13.88	12.68	13.80	12.57	13.54
	$\lambda = (2.5,2.5,2.5,2.5)$	13.63	13.89	13.79	14.01	
	$\lambda = (7,1,1,1)$	13.80	13.54	13.86	13.14	
$\theta = \frac{1.5}{\mu}$	$\lambda = (1,2,3,4)$	22.43	22.58	22.50	22.44	22.32
	$\lambda = (2.5,2.5,2.5,2.5)$	22.39	22.75	22.37	22.72	
	$\lambda = (7,1,1,1)$	22.50	21.95	22.27	22.87	
$\theta = \frac{1}{\mu}$	$\lambda = (1,2,3,4)$	36.64	36.88	36.61	36.94	36.79
	$\lambda = (2.5,2.5,2.5,2.5)$	37.02	36.82	36.84	36.47	
	$\lambda = (7,1,1,1)$	36.78	36.79	36.64	37.15	

Из результатов видно, что если $\theta \simeq \frac{1.5}{\mu}$, величина ресурса свободного времени обслуживающего устройства становится достаточной для организации дополнительной очереди. Действительно, если резерв свободного времени превышает 20%, то это означает, что на обработку потока заявок от четырех очередей обслуживающее устройство затрачивает только 80% рабочего времени. Таким образом, возникает возможность подключения к обслуживанию еще одной очереди, интенсивность пополнения которой равна среднему арифметическому интенсивностей четырех очередей, изначально входивших в состав поллинговой системы.

Еще одной целью имитационного моделирования в данном разделе была оценка длин очередей и характера их изменения при введении ограничений на время жизни заявок. Как и следовало ожидать, ограничение времени пребывания заявок в стадии обслуживания значительно сокращает длины очередей поллинговой системы. Однако, в ходе реализации имитационных экспериментов, было выявлено, что между длинами очередей поллинговых систем в целом, с различными

интенсивностями потоков пополнения, обнаруживается заметное различие. Это можно объяснить тем, что при рассмотрении работы обслуживающего устройства наблюдаемое усреднение поступающих заявок осуществилось по ансамблю. При анализе же процесса изменения длин очередей начинает проявляться влияние фактора времени через различие интенсивностей входных потоков заявок. Таким образом, для поллинговых систем среднее по ансамблю не может быть отождествлено с усреднением по времени.

В четвертой главе дано описание и подробный анализ современной среды разработки и исследования имитационных моделей AnyLogic, как основного инструмента настоящего исследования. Установлены ее основные преимущества перед другими существующими системами, обоснован ее выбор для разработки имитационных моделей поллинговых систем массового обслуживания.

Во втором разделе главы построена и проанализирована имитационная модель функционирования управляющего блока беспроводной сети, как многоканальной системы массового обслуживания. В ходе имитационных экспериментов особое внимание было уделено оценке допустимого числа одновременных подключений и среднего времени пребывания в сети. В качестве методологического принципа использовался дискретно-событийный подход, а в роли объекта моделирования был взят блок-администратора беспроводной сети образовательного учреждения.

Основная функция блока администратора состоит в управлении и организации подключений пользователей к сети интернета. Когда пользователь подключается к беспроводной сети, маршрутизатор перенаправляет запрос на управляющий блок, который в свою очередь, разрешает пользователю подключиться к сети интернета, если текущее количество подключений не превышает предельно допустимого числа одновременно разрешенных подключений, а в противном случае, запрос на подключение будет помещен в очередь, вплоть до освобождения канала. После получения пользователем разрешения на подключение к сети интернета, управляющий блок создает идентификатор для данного пользователя, в котором указывается разрешенный период времени его пребывания в сети интернета.

По результатам моделирования было установлено, что параметрами, играющими наибольшую роль в функционировании управляющего блока, являются количество одновременно допустимых подключений и среднее время пребывания в сети. Настраивая эти и остальные параметры таким образом, чтобы различие между временем пребывания в сети и временем пребывания в системе, было как можно меньше, добиваются уменьшения значения средней длины очереди. Если эта

величина не превышает некоторого наперед заданного значения, работа системы признается удовлетворительной.

В третьем разделе дано описание схемы маршрутизации обслуживающего устройства более совершенной и эффективной, чем схема циклической маршрутизации, которая имеет наибольшее распространение в практике эксплуатации поллинговых систем. Если в режиме реального времени информация о наполненности очередей достоверно известна и может быть доведена до маршрутизатора, то представляется целесообразным направить освободившееся обслуживающее устройство к той очереди, в которой на этот момент накопилось наибольшее число заявок. Когда таких очередей несколько, к обслуживанию подключается та из них, до которой обслуживающее устройство может быть доставлено за кратчайшее время. Таким образом маршрутизатор переключит обслуживающее устройство на i -тую очередь, если число заявок n_i , накопившихся в этой очереди на момент принятия решения, удовлетворяет условию $n_i = \max\{n_j\} \quad j = \overline{1, N}$, где N – количество очередей в составе системы. Организация обслуживания, при которой приоритет отдается наиболее загруженным очередям, носит название схемы динамической маршрутизации.

Сравнение эффективности схем динамической маршрутизации и циклического обхода выполнялось с помощью имитационного моделирования, результаты которого представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Сравнение среднего времени ожидания в системе W при циклической и динамической маршрутизациях обслуживающего устройства

ρ	Исчерпывающее обслуживание			Шлюзовое обслуживание		
	W циклической маршрутизации	W динамической маршрутизации	Сокращение, %	W циклической маршрутизации	W динамической маршрутизации	Сокращение, %
0.5	1.26	1.05	17	1.4	1.07	24
0.6	1.41	1.14	19	1.53	1.16	24
0.7	1.57	1.31	17	1.84	1.33	28
0.8	1.93	1.47	24	2.11	1.64	22
0.85	2.22	1.92	14	2.43	1.98	19
0.9	2.7	2.51	7	3	2.6	13

В качестве критерия эффективности как для исчерпывающего, так и для шлюзового режима обслуживания, была выбрана величина среднего времени ожидания обслуживания W . Анализ данных содержащихся в таблице 3 показывает, что в диапазоне изменения коэффициента нагрузки ρ от 0.5 до 0.85 среднее время

ожидания при использовании схемы динамической маршрутизации сокращается для режима исчерпывающего обслуживания в среднем на 18 %, а для шлюзового режима на 23 %. При более высоких значениях коэффициента загрузки эффективность динамической схемы резко снижается, поскольку при значениях $\rho \geq 0.9$ наполненность очередей поллинговой системы становится примерно одинаковой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении изложены основные результаты диссертационной работы:

1. Построены математические модели поллинговых систем массового обслуживания, функционирующих в исчерпывающем и шлюзовом режимах.
2. Разработаны модели эффективного администрирования поллинговых систем с ограниченным временем жизни заявок.
3. Разработаны алгоритмы численного исследования поведения поллинговых систем для различных вариантов их функционирования.
4. Доказано, что в условиях практической эксплуатации технико-экономические показатели поллинговых систем, действующих в исчерпывающем и шлюзовом режимах обслуживания, отличаются друг от друга крайне незначительно.
5. Разработаны алгоритмы, которые позволяют расширить возможности администрирования поллинговых систем массового обслуживания, в частности найдены условия, допускающие подключение к обслуживанию дополнительной очереди.
6. Разработан комплекс программ, для реализации имитационных моделей.
7. Разработан алгоритм схемы динамической маршрутизации обслуживающего устройства, для систем, где возможен мониторинг их состояния в режиме реального времени.
8. Эффективность разработанных моделей и алгоритмов показана на примере поллинговых систем с четырьмя независимыми очередями.
9. Результаты работы внедрены для поддержки бизнес-процессов в компании Almokhtas, и на кафедре информатики и прикладной математики КНИТУ.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективным направлением дальнейшего развития темы диссертационной работы представляется исследование поллинговых систем, очереди которых пополняются не пуассоновскими потоками заявок. Значительный интерес могут представлять, в частности, аналитические и

имитационные модели систем, пополняемых смешанными потоками заявок, а также вопросы их эффективного администрирования.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Министерством образования и науки РФ

1. Мурshed, Ф.А. Использование имитационного моделирования для администрирования систем массового обслуживания / Ф.А. Мурshed, А.А. Обади, А.А. Аль-Хашеди // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 1. – С. 125-127.
2. Мурshed, Ф.А. Проектирование программного обеспечения smart-образовательной системы на примере решения алгебраических и трансцендентных уравнений / Ф.А. Мурshed, А.А. Обади, А.А. Аль-Хашеди // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 10. – С. 121-124.
3. Мурshed, Ф.А. Проектирование программного обеспечения умной образовательной системы на примере обучения решения систем линейных уравнений / Ф.А. Мурshed, А.А. Аль-Хашеди, А.А. Обади // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 1. – С. 102-105.
4. Мурshed, Ф.А. Имитационная модель многоканальной системы массового обслуживания с равномерным законом обслуживания / Ф.А. Мурshed, Н.К. Нуриев // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 8. – С. 90-94.
5. Мурshed, Ф.А. Имитационная модель системы поллинга с циклическим опросом и исчерпывающей дисциплиной обслуживания очередей / Ф.А. Мурshed, Н.К. Нуриев // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 13. – С. 107-109.
6. Мурshed, Ф.А. Имитационная модель системы поллинга с циклическим опросом и равномерным обслуживанием / Ф.А. Мурshed, Н.К. Нуриев // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 13. – С. 97-99.
7. Мурshed, Ф.А. Оптимизация системы поллинга с применением динамической схемы маршрутизации сервера / Ф.А. Мурshed, Н.К. Нуриев // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 22. – С. 88-91.
8. Мурshed, Ф.А. Исследование поллинговых систем на основе имитационных моделей с использованием программного комплекса AnyLogic / Ф.А. Мурshed,

Е.А. Печеный, Н.К. Нуриев // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 2. – С. 109-115.

9. Мурshed, Ф.А. Моделирование эффективного администрирования поллинговых систем с ограниченным временем жизни заявок / Ф.А. Мурshed, Е.А. Печеный, Н.К. Нуриев // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 7. – С. 77-83.

Научные статьи в журналах, включенных в РИНЦ и доклады в материалах научных конференций:

10. Мурshed, Ф.А. Имитационная модель блок-администратора беспроводной сети / Ф.А. Мурshed // Международная научно-практическая конференция наука XXI века: открытия, инновации, технологии. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью «НОВАЛЕНСО», 2017. – С. 71-72.
11. Мурshed, Ф.А. Исследование основных характеристик поллинговых систем / Ф.А. Мурshed // I Международная научно-практическая конференция инновационные исследования в науке и образовании. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью «НОВАЛЕНСО», 2018. – С. 154-155.
12. Мурshed, Ф.А. Проблемы функционирования беспроводной сети в среде с высокой плотностью пользователей / Ф.А. Мурshed, А.А. Обади, А.А. Аль-Хашеди // Международная научно-практическая конференция наука 21 века: открытия, инновации, технологии. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью «НОВАЛЕНСО», 2016. – С. 50-55.
13. Мурshed, Ф.А. Основные проблемы работы беспроводных сетей с высокой плотностью пользователей / Ф.А. Мурshed, А.А. Аль-Хашеди, А.А. Обади // Российско-Китайский научный журнал «Содружество». – 2016. – № 2 (2). – С. 17-20.
14. Мурshed, Ф.А. Имитационная модель блока администратора беспроводной сети, функционирующей в образовательной сфере / Ф.А. Мурshed // Ученые Записки ИСГЗ. – 2017. – № 1 (15). – С. 396-399.
15. Мурshed, Ф.А. Имитационное моделирование циклических поллинговых систем массового обслуживания / Ф.А. Мурshed // XIII Международная научно-практическая конференция инновационные научные исследования: теория, методология, практика. – наука и просвещение, 2018. – Т. Пенза. – С. 100-102.

Соискатель _____ Ф.А. Мурshed

Заказ № _____ Тираж 100 экз.

Офсетная лаборатория Казанского национального исследовательского
технологического университета
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68