

УДК: 004.056

DOI: 10.53816/23061456\_2022\_7-8\_12

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ  
РАЗНОРОДНОГО ТРАФИКА В УЗЛАХ КОММУТАЦИИ НА КАЧЕСТВО  
ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ В МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ  
СВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**METHOD FOR ASSESSING THE INFLUENCE OF ALGORITHMS PROCESSING  
OF HETEROGENEOUS TRAFFIC IN SWITCHING NODES  
ON THE QUALITY OF PROVIDED SERVICES IN A MILITARY  
MULTI-SERVICE COMMUNICATION NETWORK**

*Канд. техн. наук А.П. Бойко<sup>1</sup>, канд. техн. наук В.Н. Оберддерфер<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук П.И. Кузин<sup>1</sup>, А.В. Ситов<sup>2</sup>, канд. техн. наук Д.М. Челахов<sup>3</sup>*

*Ph.D. A.P. Boyko, Ph.D. V.N. Oberderfer, Ph.D. P.I. Kuzin, A.V. Sitov, Ph.D. D.M. Chelakhov*

*<sup>1</sup>ВАС им. С.М. Буденного, <sup>2</sup>Главное управление кадров ВС РФ,*

*<sup>3</sup>Главное управление инновационного развития МО РФ*

В статье рассмотрена проблема качества обслуживания разноприоритетного сетевого трафика в мультисервисных сетях связи военного назначения. Особенностью сетей военной связи являются отличия в значимости передаваемой информации, то есть необходимость ее категорирования, и явно выраженной иерархичностью органов управления, между которыми она передается. Предложенная методика, позволяет оценить целесообразность применения различных алгоритмов обслуживания очередей при разных уровнях загрузки узла коммутации, учитывая требования по качеству обработки и своевременности доставки передаваемого разнородного и разно-приоритетного сетевого трафика. Исследована зависимость качества обслуживания разноприоритетного трафика от степени загрузки узла коммутации в условиях применения различных алгоритмов обслуживания очередей.

**Ключевые слова:** мультисервисная сеть, разноприоритетный трафик, алгоритмы обслуживания очередей, инфокоммуникационные технологии.

The article considers the problem of the quality of service of different-priority network traffic in multiservice communication networks for military purposes. A feature of military communications networks is the differences in the significance of the transmitted information, that is, the need to categorize it, and the clearly expressed hierarchy of the control bodies between which it is transmitted. A technique has been proposed that makes it possible to evaluate the feasibility of using various queuing algorithms at different switching node load levels, taking into account the requirements for the quality of processing and the timeliness of delivery of transmitted heterogeneous and different-priority network traffic. The dependence of the quality of service of different-priority traffic on the degree of loading of the switching node under the conditions of using various queuing algorithms is studied. **Keywords:** multiservice network, different priority traffic, queuing algorithms, infocommunication technologies.

Постоянно возрастающие объемы информации, передаваемые органами военного управления, в условиях воздействия на сеть противника зачастую превосходят возможности сети по ее передаче. На этом фоне обеспечение требуемого качества обслуживания разноприоритетного сетевого трафика в мультисервисной сети связи военного назначения становится актуальной задачей. Одним из направлений решения данной проблемы является применение различных алгоритмов, обеспечивающих выполнение данных требований.

Одним из таких механизмов является применение различных алгоритмов организации и обслуживания очередей, механизмы динамического выбора используемых речевых кодеков и другие [1].

Вопросы эффективности функционирования мультисервисных сетей связи отражены в работах Сычева К.И., Яновского Г.Г., Бронштейна О.И. [2–4]. Однако вопросы исследования качества обслуживания разноприоритетного речевого трафика в мультисервисной сети связи военного назначения с учетом влияния механизмов по поддержанию качества обслуживания в условиях изменяющейся пользовательской нагрузки и интенсивности обслуживания, вследствие дестабилизирующего воздействия на сеть противника, остаются открытыми.

Отличительной особенностью представленной методики от известных является то, что она позволяет оценить целесообразность применения различных алгоритмов обслуживания очередей при разных уровнях загрузки узла коммутации, учитывая требования по качеству обработки и своевременности доставки передаваемого разнородного и разноприоритетного сетевого трафика.

Мультисервисная сеть связи военного назначения построена на основе современных инфокоммуникационных технологий (технологий коммутации пакетов) и обеспечивает предоставление должностным лицам органов военного управления широкого спектра информационных и телекоммуникационных услуг.

Для определения оптимального алгоритма обслуживания входящего потока пакетов на узле коммутации необходимо выбрать параметр, изменение которого будет служить своеобразным «маркером» для применения соответствующе-

го алгоритма обслуживания очередей. Под оптимальным алгоритмом будем понимать такой алгоритм, при работе которого выполняются требования по качеству обслуживания и своевременности доставки разноприоритетного трафика, с минимальными вычислительными затратами [5, 6].

В качестве такого «маркера» предлагается использовать коэффициент загрузки узла коммутации  $\rho_z$ , расчет значения которого будем производить по формуле:

$$\rho_z = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\mu},$$

где  $\sum_{i=1}^n \lambda_i$  — суммарная интенсивность поступающего на узел коммутации трафика, а  $\mu$  — интенсивность обработки трафика в узле коммутации.

Для оценки качества обслуживания разноприоритетных абонентов введем обобщенный показатель качества

$$\bar{Q}_{\text{реч}}^* = \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^U \alpha_{ku} \bar{Q}_{ku}, \quad (1)$$

где  $\bar{Q}_{\text{реч}}^*$  — обобщенный показатель качества предоставления услуг;  $\alpha_{ku}$  — весовой коэффициент услуг (в диапазоне  $[0, 1]$ ), который определяется в зависимости от категории трафика  $k \in [1, K]$ , и типа трафика  $u \in [1, U]$  методом экспертных оценок;  $\bar{Q}_{ku}$  — рассчитанное значение частного интегрального показателя качества предоставления услуг, для различных категории трафика  $k \in [1, K]$  и типа трафика  $u \in [1, U]$ .

Сбор параметров качества функционирования сети производится путем их измерения в фиксированных точках, в данном случае на входе и выходе узла коммутации. Частные показатели качества  $\bar{Q}_{ku}$  формируются из соответствующих параметров  $\bar{Q}_{ku} = (T_{ku}, P_{ku})$ , где  $T_{ku}$  и  $P_{ku}$  — время задержки и вероятность своевременной доставки соответственно.  $\bar{Q}_{ku}$  будет определяться как обобщенная (интегральная) оценка по двум показателям с учетом весовых коэффициентов  $g_p$ , определяемых методом экспертных оценок.

Для проведения каких либо вычислений с параметрами  $T_{ku}, P_{ku}$ , необходимо произвести их нормировку (к безразмерной величине в диапазоне  $[0, 1]$ ). Нормировка показателей может быть произведена по формуле:

$$\tilde{X}_j = \frac{X_{\max} - x}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (2)$$

где  $\tilde{X}_j$  — нормированное значение параметра в диапазоне  $[0, 1]$ ;  $X_{\max}, X_{\min}$  — максимальное и минимальное значение нормируемого параметра соответственно, которые определяются действующими нормативными документами [5, 6];  $x$  — измеренное значение нормируемого параметра.

Существует несколько групп методов получения интегральных оценок, например:

- метод интегрирования одномерных величин (метод суммирования, метод поиска эквивалента);

- метод многомерных сравнений (включает метод многомерных средних, суммы мест, геометрической средней и др.);

- метод регрессионных зависимостей.

В данном случае, применимо к оценке качества обслуживаемого трафика для каждой группы пользователей по значениям параметров, приведенных к единой форме методом нормировки по формуле (2), для вычисления интегральной оценки удобно применить методы интегрирования одномерных величин.

Достоинством данной группы методов является их простота. Для нахождения интегральной оценки существуют численные методы, например, арифметический и геометрический. В данном случае был выбран арифметический метод, к достоинствам которого нужно отнести то, что он учитывает удельный вес каждого индивидуального компонента оценки. С учетом этого формула для нахождения частного интегрального показателя будет иметь вид:

$$\bar{Q}_{ku} = g_1 \tilde{X}_1 + g_2 \tilde{X}_2 + \dots + g_i \tilde{X}_i, \quad (3)$$

где  $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_i$  — значения показателей;  $g_1, g_2, \dots, g_i$  — весовые коэффициенты для соответствующих показателей.

Однако, как показывает практика, когда балльная оценка одного из составляющих интегральной оценки равна нулю (минимальному значению), интегральная оценка тоже должна быть равна минимальному значению. То есть, очевидно, что при значениях каждого из показателей (задержки и вероятности своевременной доставки пакетов) выходящего за рамки установленных требований — интегральная оценка качества обслуживания разнородного трафика для определенной группы пользователей тоже будет не соответствовать требованиям. Так как формула (3) никак этого не отражает, то для устранения этого недостатка скорректируем данную формулу (3). Тогда оценка арифметическим методом примет вид:

$$\bar{Q}_{ku} = S(g_1 \tilde{X}_1 + g_2 \tilde{X}_2 + \dots + g_i \tilde{X}_i),$$

где  $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_i$  — значения показателей;  $g_1, g_2, \dots, g_i$  — весовые коэффициенты для соответствующих показателей;  $S$  — коэффициент, значение которого корректируется в зависимости от значений показателей:

$S = 1$ , если  $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \tilde{X}_i$  не равны нулю;  $S = 0$ , если оценка хотя бы одного из указанных показателей равна нулю.

В данной статье для наглядности действия различных механизмов на качество обслуживания весь трафик предлагается поделить на два типа  $u \in [1, 2]$ , где  $u_1$  — трафик реального времени (речь, видео),  $u_2$  — эластичный трафик (электронная почта, данные). Категорий трафика  $k \in [1, 2]$ , для простоты расчетов и наглядности тоже предлагается использовать две.

Таким образом, формула для нахождения частного интегрального показателя примет вид:

$$\bar{Q}_{ku} = S(g_{ku} T_{ku} + g_{ku} P_{ku}).$$

Проводить исследования на реальных сетях военной связи, не представляется возможным, поэтому целесообразно в качестве инструмента применить моделирование.

В настоящее время существует множество подходов к анализу функционирования узлов коммутации сетей связи [7, 8], как классического типа, так и мультисервисных. Этому способствовало развитие математической теории в середине 60-х годов XX века. В то же время изменение

характера проходящих по сети информационных потоков требует применения современного математического аппарата. На этапе анализа функционирования узлов коммутации мультисервисных сетей применяются достаточно сложные математические модели представления информационных потоков, в частности, наблюдается переход от пуассоновских моделей к моделям так называемого самоподобного трафика [9], которые позволяют получить качественные и количественные оценки моделируемых систем, близкие к реальным значениям. Переход на новые потоковые модели связан с более детальным изучением проходящего через узлы коммутации информационного трафика. Как показывают исследования [10, 11], пакеты информации, передаваемые от источника к получателю, концентрируются таким образом, что создаваемая ими нагрузка отличается от пуассоновского закона распределения. Передаваемые по сети связи трафик обладает свойствами самоподобия [12]. Для такого типа трафика характерно наличие интервалов времени, на которых резко возрастает количество передаваемых по сети связи информационных пакетов. Это в свою очередь приводит к переполнению буферов узлов коммутации (УК), рассчитанных по моделям пуассоновского трафика. В рассматриваемом узле коммутации мультисервисной сети связи циркулирующий трафик является сложным и пульсирующим.

В статье [13] доказывается, что представленные в [2] аналитические выражения могут рассматриваться лишь как инструмент получения верхней граничной оценки параметров, характеризующих качество обслуживания самоподобного трафика, причём только в области низких и средних нагрузок, и/или относительно небольших значениях параметра Хёрста  $H$  (параметр характеризующий степень самоподобия трафика), поскольку при очень большой нагрузке (больших значениях  $H$ ) значения средней длины очереди (в качестве примера), рассчитанные с помощью имитационной модели, превышают среднюю длину очереди, рассчитанную с помощью рассмотренной аналитической модели [13]. Таким образом можно сделать вывод о том, что использование существующих аналитических моделей позволяет получить верхние граничные оценки основных параметров качества передаваемого трафика, а для получения более точных

результатов необходимо применить имитационное моделирование.

Для расчета частных показателей  $T_{ku}$  и  $P_{ku}$  воспользуемся имитационной моделью [14]. Данная модель узла коммутации мультисервисной сети связи военного назначения была построена в среде моделирования AnyLogic, и в обобщенном виде представляет собой систему массового обслуживания.

Вид модели представлен на рис. 1. Поток пакетов генерируется четырьмя источниками. У источников речевой информации время между поступлениями очередных пакетов распределено по закону Парето, при этом при задании интенсивности нагрузки учитывается степень самоподобия трафика реального времени (параметр Херста), у источников трафика данных — по экспоненциальному. Время обслуживания заявок (delay) также распределено по экспоненциальному закону.

Агрегированный поток поступает в очередь, на рис. 1 обозначена queue, и если в момент поступления заявки буфер пуст и обслуживающее устройство свободно, то заявка сразу же передается на обслуживание. Если в момент поступления пакета буфер пуст, но обслуживающее устройство занято обработкой ранее поступившего пакета, то пакет ожидает его завершения в буфере. Как только обслуживающее устройство завершает обслуживание очередного пакета, пакет поступает на обслуживание в обслуживающее устройство. Если прибывший пакет застаёт буфер не пустым, то он становится в очередь и ожидает обслуживания. Пакет выбирается из очереди согласно работе того или иного алгоритма обслуживания очередей. В имитационной модели реализована работа различных алгоритмов обслуживания очередей, а именно: FIFO — первый пришёл, первый вышел; PQ — очередь с приоритетами; WFQ — взвешенное справедливое обслуживание.

Искомые значения  $T_{ku}$  и  $P_{ku}$  представлены значениями параметров на главном экране работы модели значениями  $Zad$ ,  $Zad1$ ,  $Zad2$ ,  $Zad3$  и  $Pdost\_reh1-2$ ,  $Pdost\_dan1-2$  соответственно.

С целью проверки адекватности имитационной модели задаются условия, которые могут быть исследованы и с помощью известных аналитических моделей. Рассмотрим систему массового обслуживания с ожиданием, имеющую

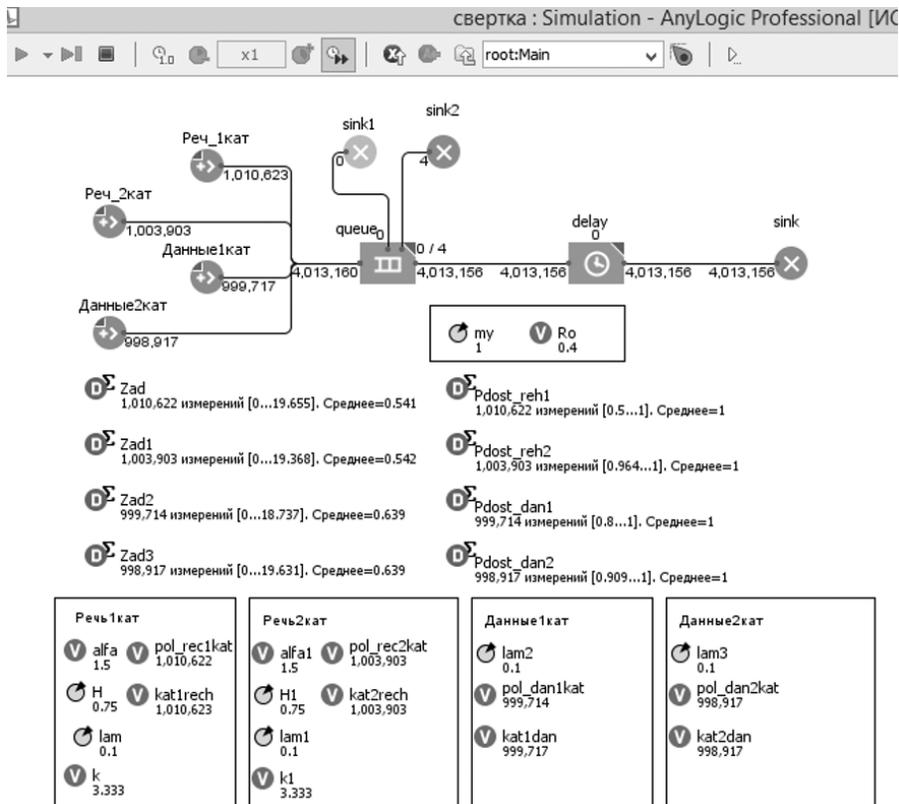


Рис. 1. Пример работы имитационной модели узла коммутации

один обслуживающий прибор (устройство)  $V = 1$  и неограниченную длину очереди (рис. 2).

На вход системы от источника поступает простейший поток пакетов с интенсивностью поступления  $\lambda$ . Время обслуживания в обслуживающем устройстве определяется величиной  $t_{\text{обс}}$ . Рассматривается система массового обслуживания типа  $(M/M/1/\infty)$ .

По подобию аналитической была создана имитационная модель, состоящая из источни-

ка заявок, узла коммутации (обслуживающего устройства) и очереди (рис. 3).

Заявки в виде пакетов поступают от источника в узел коммутации в случайные моменты времени. Если в момент поступления заявки буфер пуст и обслуживающее устройство свободно, то заявка сразу же передается на обслуживание. Если в момент поступления пакета буфер пуст, но обслуживающее устройство занято обработкой ранее поступившего пакета, то пакет ожидает его

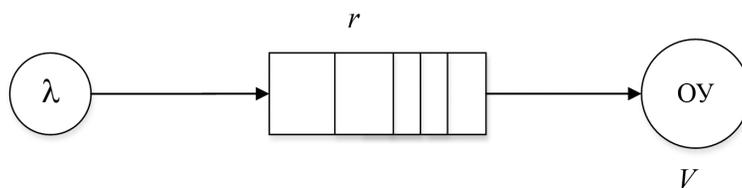


Рис. 2. Одноканальная система массового обслуживания



Рис. 3. Имитационная модель узла коммутации

завершения в буфере. Как только обслуживающее устройство завершает обслуживание очередного пакета, следующий пакет поступает на обслуживание в обслуживающее устройство. Если прибывший пакет застаёт буфер не пустым, то он становится в очередь и ожидает обслуживания. Пакет выбирается из очереди в порядке поступления.

Для оценки адекватности имитационной модели [15] фиксируются входные параметры  $x(t)$ . На выходе аналитической и имитационной моделей определяется некий результат  $y_{ам}(t)$  и  $y_{им}(t)$ . Оценка адекватности в данном случае сводится к сравнению  $y_{ам}(t)$  и  $y_{им}(t)$  и определению их расхождения  $\Omega$ . Соответственно, критерий качества имитационной модели определяется:

$$\Psi |y_{ам}(t) - y_{им}(t)| \leq \Omega.$$

Для данного типа моделей модель считается адекватной [16], если  $\Omega$  не выше 5 %. Оценка точности результатов имитационного моделирования по сравнению с результатами, полученными на аналитической модели, производилась методом попарного сравнения в контрольных точках  $i$  по формуле [15]:

$$\Omega_i = \left| \frac{T_{з\text{им}}^i - T_{з\text{ам}}^i}{T_{з\text{ам}}^i} \right| \cdot 100\%,$$

где  $T_{з\text{им}}^i$  и  $T_{з\text{ам}}^i$  — время задержки пакета в имитационной и аналитической моделях.

В результате расчетов и имитационного моделирования были получены результаты для

разных исходных данных поступления пакетов. В таблице численно представлены результаты расчетов имитационного моделирования, и результаты, полученные с помощью аналитической модели при различных параметрах системы.

На рис. 4 приведены графики зависимости задержки при передаче пакета от интенсивности поступления пакетов, полученных на имитационной и аналитической моделях. Верхней линией с точками на графике показаны результаты, полученные на аналитической модели, нижняя — соответствует результатам, полученным на имитационной модели.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод об адекватности разработанной модели процессам, протекающим в узлах коммутации мультисервисной сети связи. По данным таблицы можно сделать вывод, что в целом результаты, полученные на имитационной модели, соответствуют результатам, полученным на аналитической модели. Расхождение результатов не превышает 5 %. Этого достаточно для использования результатов моделирования.

Также следует учитывать, что имитационное моделирование представляет собой статистический эксперимент, то при его проведении необходимо получить достоверный результат с заданной точностью [16].

Как известно из теории математической статистики для получения достоверных результатов моделирования необходимо осуществить достаточно большое количество реализаций. Одной из проблем при осуществлении моделирования будет определение числа испытаний,

Таблица

Результаты имитационного и аналитического моделирования

№ п/п	l	$t_{\text{обс}}, \text{с}$	$\mu, \text{пак/с}$	$\rho$	$T_{з\text{им}}, \text{с}$	$T_{з\text{ам}}, \text{с}$	$\Omega, \%$
1	0,4	1	1	0,4	0,662	0,667	0,749
2	0,401	1	1	0,401	0,665	0,669	0,597
3	0,402	1	1	0,402	0,666	0,671	0,825
4	0,403	1	1	0,403	0,668	0,674	0,825
5	0,404	1	1	0,404	0,67	0,676	0,8
6	0,405	1	1	0,405	0,671	0,679	0,95
7	0,406	1	1	0,406	0,672	0,681	1,02
8	0,407	1	1	0,407	0,679	0,683	0,45
9	0,408	1	1	0,408	0,682	0,686	0,65
10	0,409	1	1	0,409	0,685	0,689	0,597
11	0,41	1	1	0,41	0,694	0,71	0,785

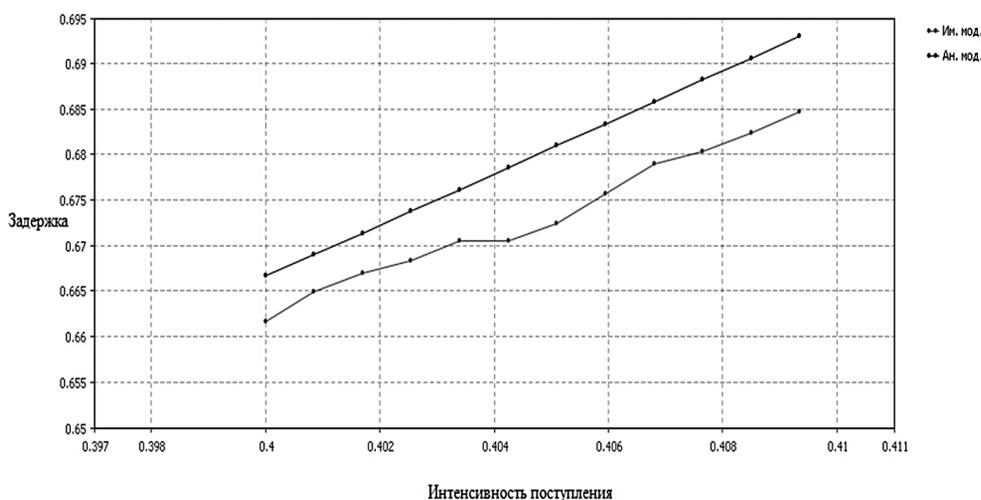


Рис. 4. Сравнения зависимостей величины задержки при передаче пакета от интенсивности поступления пакетов аналитической и имитационной моделей

обеспечивающих заданную точность и надежность испытаний. Заданную точность числа испытаний можно определить на основе предельной теоремы [17], согласно которой отклонение среднего значения случайной величины от его математического ожидания распределено по нормальному закону с  $m(x) = 0$  и определяется выражением:

$$D = \frac{\sigma^2}{N},$$

где  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение случайной величины  $x$ ;  $N$  — число испытаний. Отличие между оценкой математического ожидания  $x$  и математическим ожиданием искомого параметра  $M(x)$  определяет точность данной оценки. При этом должно выполняться требование:

$$|x - M(x)| < \Omega;$$

$$P(|x - M(x)| < \Omega) = \alpha,$$

где  $\alpha$  — достоверность оценки. Для каждого значения достоверности  $\alpha$  можно выбрать из таблицы нормального распределения [17] такую величину  $t_\alpha$ , что точность  $\Omega$  будет равна:

$$\Omega = t_\alpha \sqrt{D}.$$

Предположим, что случайная величина распределена по нормальному закону, для нахождения

среднего значения искомого параметра необходимо число испытаний определяется:

$$N = \frac{\sigma_x^2 \cdot \alpha}{\Omega^2} \cdot t_\alpha^2,$$

где  $t_\alpha$  — значение аргумента функции Лапласа, при котором вероятность попадания случайной величины  $x$  в интервал  $(-t_\alpha, t_\alpha)$  равна  $\alpha$ .

С учетом вероятности  $P$  исхода какого-либо события, требуемое число прогонов  $N$  модели в каждом наблюдении определяется по формуле:

$$N = t_\alpha^2 \frac{P(1-P)}{\Omega^2}. \quad (4)$$

Определение величины  $N$  аналитически или только имитационным моделированием затруднительно, так как неизвестна вероятность события. На практике поступают следующим образом: произвольно назначают произвольное число прогонов  $N_0$ , вычисляют ориентировочное значение  $P_0 = m / N_0$ . Полученное значение  $P_0$  подставляют в формулу (4) для  $N$  вместо  $P$ . Так как требуемая величина  $N > N_0$ , то решение продолжается до выполнения  $N$  реализаций.

После проведения оценки адекватности и определения требуемого количества прогонов на имитационной модели [4] был проведен ряд экспериментов, в результате которых были получены значения времени задержки и веро-

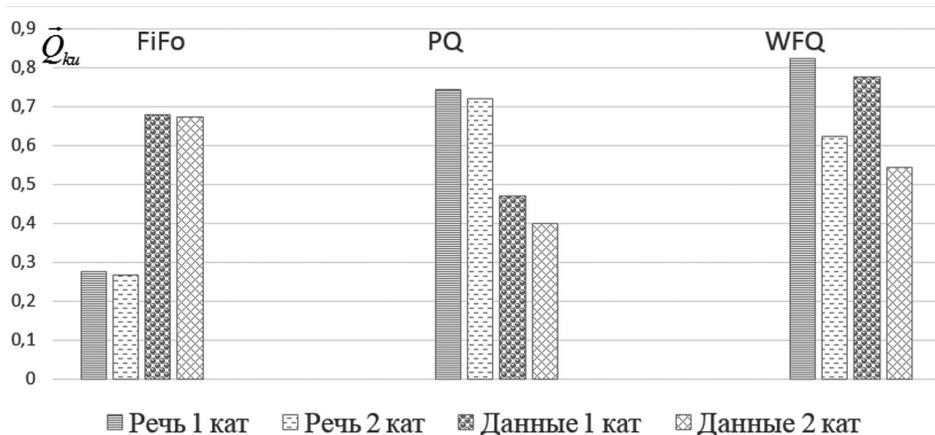


Рис. 5. Влияние алгоритмов обслуживания очередей на качество обслуживания различных классов и групп трафика при коэффициенте загрузки  $\rho_z = 0,8$

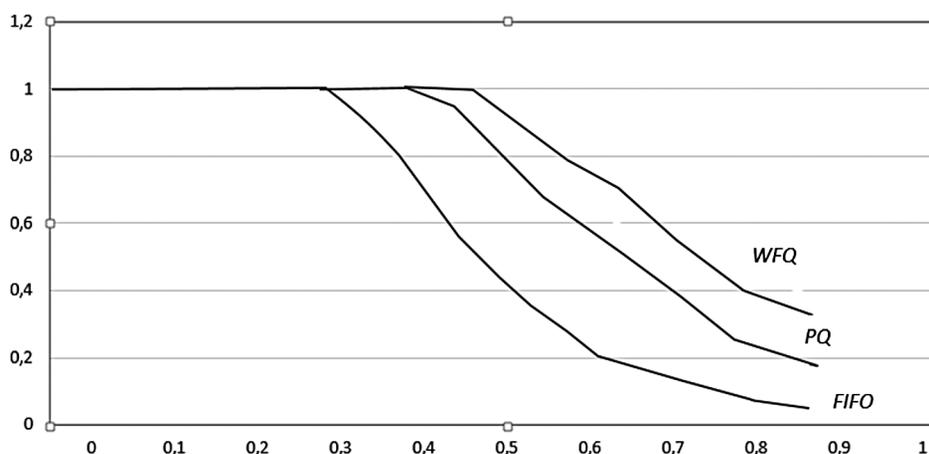


Рис. 6. Зависимость обобщенного показателя качества обслуживания от коэффициента загрузки узла коммутации при работе различных алгоритмов обслуживания очередей

ятности своевременной доставки для трафика реального времени и трафика данных первой и второй категории соответственно, с использованием различных алгоритмов обслуживания очередей.

На основе полученных результатов в качестве примера, после их нормировки и получения интегральной оценки частного показателя качества  $\bar{Q}_{ku}$  для каждого типа трафика и группы абонентов была построена гистограмма, представленная на рис. 5. Коэффициент загрузки узла коммутации равен  $\rho_z = 0,8$ .

После расчета обобщенного показателя качества передачи разнородного трафика  $\bar{Q}_{pч}^*$  по формуле (1) для различного уровня загрузки узла коммутации получили график, представленный на рис. 6.

## Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что применение различных механизмов обслуживания очередей обеспечивает поддержание требуемого качества обслуживания разноприоритетного трафика при увеличении загрузки узла коммутации. Применения данных алгоритмов наиболее эффективно при значениях  $\rho_z > 0,3$ . Также стоит отметить, что при значениях коэффициента загрузки  $\rho_z > 0,8$  работа алгоритма WFQ оказывается малоэффективной. Это обуславливается заблаговременной настройкой выделяемого ресурса на обслуживание различных групп пользователей и типа трафика, и не позволяет учитывать процесс динамического изменения входящей пользовательской нагрузки или же

изменения интенсивности обслуживания, вследствие воздействия на сеть противника. Для решения данной проблемы в дальнейших исследованиях предлагается разработка такого алгоритма, работа которого позволила бы устранить данную проблему и обеспечить гибкую настройку распределения ресурсов узла коммутации в зависимости от изменяющихся пользовательской нагрузки и интенсивности обслуживания.

### Литература

1. Rabin A.V., Lipatnikov V.A., Kuzin P.I. Signal protection methods in channels with nakagami fading. JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. — Krasnoyarsk, Russia, 25.09.2020. P. 52078.

2. Сычев К.И. Многокритериальное проектирование мультисервисных сетей связи. — СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 272 с.

3. Яновский Г.Г. Качество обслуживания в сетях IP // Вестник связи. № 1. 2008. С. 1–16.

4. Бронштейн О.И., Духовный О.М. Модели приоритетного обслуживания в информационно-вычислительных системах. — М.: Наука, 1976. 220 с.

5. Нетес В.А. Качество обслуживания на сетях связи. Обзор рекомендаций МСЭ-Т // Сети и системы связи. 1999. № 3. С. 66–71.

6. Lipatnikov V.A., Kuzin P.I., Rabin A.V. The method of increasing the reliability of noise immunity when receiving information in radio communication systems of the shf and ehf ranges. JOP Conference Series. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. — Krasnoyarsk, Russian, 25.09.2020. P. 52100.

7. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. 544 с.

8. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / под ред. Чернышова Ю.Н. — М.: Эко-Трендз, 2008. 400 с.

9. Комплексный метод оценки при расчете показателя назначения образца военной техники связи. Кузин П.И., Панкин А.А. // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 11. С. 37–39.

10. Симонина О.А., Яновский Г.Г. Характеристики трафика в сетях IP // Труды учебных заведений связи. № 171. — СПб.: СПбГУТ, 2005. С. 8–12.

11. Шелухин О.И. Фрактальные (самоподобные) процессы и их применение в телекоммуникациях // Нелинейный мир. № 1. 2004. С. 24–36.

12. Шелухин О.И. Самоподобные процессы и их применение в телекоммуникациях // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. 2002. № 3 (4). С. 62–71.

13. Липатников В.А., Кузин П.И., Рабин А.В. Метод повышения надежности помехозащищенности при приеме информации в системах радиосвязи СВЧ и КВЧ-диапазонов // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 8 (16). С. 5–12.

14. Липатников В.А., Кузин П.И., Рабин А.В. Передачи сигналов в каналах связи с замираниями Накагами // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 11. С. 71–78.

15. Альянах И.Н. Моделирование вычислительных систем. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. 223 с.

16. Шенон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. 420 с.

17. Боев В.Д., Сыпченко Р.П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики. Учебное пособие. — СПб.: ВАС, 2009. 436 с.

### References

1. Rabin A.V., Lipatnikov V.A., Kuzin P.I. Signal protection methods in channels with nakagami fading. JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. — Krasnoyarsk, Russia, 25.09.2020. P. 52078.

2. Sychev K.I. Multi-criteria designing of the multiservice communication networks. — St. Petersburg: Polytechnical University Publisher, 2008. 272 p.

3. Yanovskiy G.G. Quality of service in the IP networks // Vestnik svyazii. 2008. № 1. Pp. 1–16.

4. Bronstein O.I., Dukhovny O.M. Models of priority service in information-computer systems. — Moscow: Nauka, 1976. 220 p.

5. Netes V.A. Quality of service on communication networks. Review of ITU-T recommendations. Networks and communication systems. 1999. № 3. Pp. 66–71.
6. Lipatnikov V.A., Kuzin P.I., Rabin A.V. The method of increasing the reliability of noise immunity when receiving information in radio communication systems of the shf and ehf ranges. JOP Conference Series. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. — Krasnoyarsk, Russian, 25.09.2020. P. 52100.
7. Bertsekas D., Gallager R. Data Transmission Networks. Translated from English. — Moscow, Mir, 1989. 544 p.
8. Baklanov I.G. NGN: Structure and Organization Principles / Edited by Chernyshov Yu.N. — Moscow: Eco-Trends, 2008. 400 p.
9. Comprehensive evaluation method for calculating the designation indicator of military communication equipment sample. Kuzin P.I., Pankin A.A. Repair // Restoration. Modernization. 2015. № 11. Pp. 37–39.
10. Simonina O.A., Yanovsky G.G. Characteristics of traffic in IP networks // Proceedings of educational institutions of communication, № 171. — Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University of Transport, 2005. Pp. 8–12.
11. Fractal (self-similar) processes and their application in telecommunications // Nonlinear world. 2004. № 1. Pp. 24–36.
12. Shelukhin O.I. Self-similar Processes and Their Application in Telecommunications // Theoretical and applied problems of service. № 3 (4). 2002. Pp. 62–71.
13. Lipatnikov V.A., Kuzin P.I., Rabin A.V. The method of increasing the reliability of noise immunity when receiving information in radio communication systems of VHF and EHF-bands // Radiotekhnika. 2020. T. 84. № 8 (16). Pp. 5–12.
14. Lipatnikov V.A., Kuzin P.I., Rabin A.V. Signal transmission in the communication channels with Nakagami fading // Advances of modern radioelectronics. 2019. № 11. Pp. 71–78.
15. Alyanakh I.N. Modeling of computing systems. — L.: Mashinostroenie. Leningrad branch, 1988. 223 p.
16. Shenon R. Simulation modeling of systems — art and science. Translated from English. 1978. 420 p.
17. Boev V.D., Sypchenko R.P. Computer simulation. Elements of theory and practice. Textbook. — SPb.: VAS, 2009. 436 p.