МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАТЕРИАЛЫ

VII Международной молодежной научной конференции

«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Томск, 23–25 мая 2019 г.

Под общей редакцией
кандидата технических наук И.С. Шмырина

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2019

Как видим, аппроксимация, полученная с помощью ОБР, является более точной, чем аппроксимации второго (гауссовская) и третьего порядков. Получается, что ОБР-аппроксимация применима и при малых значениях параметра N, т.е может быть использована для систем типа HIGI|GI|∞ при небольшой интенсивности входящего потока ($N \geq 1$). Анализ применимости ОБР-аппроксимации при меньших значениях интенсивности входящего потока, а также анализ зависимости области применимости данной аппроксимации относительно дисперсий (длин интервалов между заявками входящего потока и длительности обслуживания) представляет собой тему для отдельного исследования.

Заключение

В работе выполнено исследование применимости отрицательного биномиального распределения в качестве аппроксимации для стационарного распределения числа заявок в системе массового обслуживания HIGI|GI|∞, которое не представляется возможным получить аналитически без использования асимптотических методов. В работе предлагается метод вычисления параметров указанной ОБР-аппроксимации, основанный на гауссовской аппроксимации, полученной методом асимптотического анализа. Проведён сравнительный анализ областей применимости различных аппроксимаций и установлено, что ОБР является наилучшей среди них. Более того, она оказалась применимой даже при небольших значениях интенсивности входящего потока, что делает её чрезвычайно полезной для практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Моисеев А.Н., Назаров А.А.* Исследование системы массового обслуживания HIGI/GI/∞ // Вестник Томского госуниверситета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013 – № 2 (23). – С. 75–83.
2. *Моисеев А.Н.* Исследование математических моделей систем и сетей массового обслуживания с высокоинтенсивными непуассоновскими входящими потоками: Дисс. … докт. физ.-мат. наук: Томск: ТГУ. 2016. 333 с.
3. *Fedorova E.* Quasi-geometric and gamma approximation for retrial queueing systems // Communications in Computer and Information Science. – 2014. – Vol. 487. – P. 123–136.
4. *Fedorova E.A., Nazarov A.A., Paul S.V.* Discrete gamma probability distribution approximation in retrial queues // Аналитические и вычислительные методы в теории вероятностей и ее приложениях (АВМТВ-2017): материалы Междунар. науч. конф. Россия, Москва, 23–27 окт. 2017 г. – М.: Изд-во РУДН, 2017. – С. 560–565.
5. *Fedorova E., Voytikov K.* Retrial Queue M/G/1 with Impatient Calls Under Heavy Load Condition // Communications in Computer and Information Science. – 2017. – Vol. 800. – P. 347–357.
6. *Вадзинский Р.Н.* Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.
7. *Moiseev A., Nazarov A.* Investigation of high intensive general flow // Proc. IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI'2012), September 12–14, 2012, Baku, Azerbaijan. – Baku: ANAS, 2012. – P. 161–163.

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ RQ-СИСТЕМЫ MMPP|M|1 С N ТИПАМИ ВЫЗЫВАЕМЫХ ЗАЯВОК В УСЛОВИИ ПРЕДЕЛЬНО РЕДКИХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЙ ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА*

О.Д. Лизюра, А.А. Назаров, С.В. Пауль

Томский государственный университет

Введение

RQ-системы характеризуются следующей отличительной особенностью: заявка нашедшая прибор занятым при поступлении в систему пробует занять прибор снова после осуществления некоторой случайной задержки. Необслуженные заявки после неудачной попытки занять прибор поступают на орбиту, откуда через некоторое время снова обращаются к прибору. RQ-системы являются адекватными моделями телекоммуникационных систем, компьютерных сетей. В монографиях [1,2] приводятся обширные исследования моделей с данной особенностью.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-01-00277.

В RQ-системах время, в течение которого прибор находится в незанятом состоянии, является временем простоя системы. В целях увеличения эффективности работы системы нелишним будет уменьшить время простоя. Мы рассматриваем системы, где прибор не только принимает заявки на обслуживание, поступающие в систему из входящего потока, но и вызывает заявки извне, когда находится в свободном состоянии. В теории массового обслуживания уже рассматривались модели, где заявки вызывались прибором извне [3], однако в рассмотренных моделях не было учтено повторное обращение заявок с орбиты. Модели с повторным обращением и с вызываемыми заявками имеют приложение в работе таких систем, как call-центры, где оператор в свободное время совершает звонки или занимается альтернативными видами деятельности. О приложениях RQ-систем в моделировании call-центров подробно изложено в работах [4,5]. RQ-системы с данной особенностью поведения прибора будем называть системами с вызываемыми заявками.

RQ-системы с вызываемыми заявками активно изучаются в последнее время [6,7]. В работах упомянутых выше исследуются марковские RQ-системы с вызываемыми заявками. Модель RQ-системы с несколькими типами вызываемых заявок была рассмотрена в статье [8]. Для такой модели был получен численный алгоритм нахождения стационарного распределения вероятностей числа заявок на орбите. Также рассматривалась многолинейная RQ-система [9].

В данной работе в качестве метода исследования рассматриваемых моделей предлагается метод асимптотического анализа. В работе [10] метод асимптотического анализа применяется для исследования RQ-системы M|M|1 с вызываемыми заявками в условии большой задержки заявок на орбите.

В данной работе рассматривается RQ-система MMPP|M|1 с N типами вызываемых заявок. Мы предполагаем, что интенсивности вызова и длительности обслуживания разнотипных заявок различны. Цель данного исследования рассмотреть предложенную систему в условии предельно редких изменений состояний входящего потока.

1. Постановка задачи

Рассмотрим RQ-систему с одним обслуживающим прибором, на вход которой поступает MMPP-поток заявок. Заявки, поступающие в систему из потока, занимают прибор для обслуживания и обслуживаются экспоненциальное случайное время с параметром μ_1, если прибор свободен. Если поступившая заявка застает прибор занятым, она отправляется на орбиту, где осуществляет случайную задержку. Длительность задержки экспоненциальная с параметром σ.

Когда прибор свободен, он вызывает заявки извне. В системе N типов вызываемых заявок. Прибор вызывает заявки типа n с интенсивностью α_n. Вызванная заявка мгновенно занимает прибор для обслуживания. Время обслуживания вызываемой заявки типа n распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_n. Для удобства исследования пронумеруем типы вызываемых заявок от 2 до $N+1$. Рис. 1 иллюстрирует структуру описанной модели.

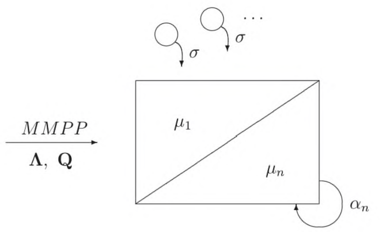

Рис. 1. RQ-система MMPP|M|1 с N типами вызываемых заявок

Пусть $i(t)$ — число поступивших заявок в системе в момент времени t, без учета вызванной заявки, если она обслуживается на приборе. Ставится задача нахождения стационарного распределения вероятностей данного процесса методом асимптотического анализа в условии предельно редких изменений состояний входящего потока.

2. Система уравнений Колмогорова

Случайный процесс $i(t)$ не является марковским, поэтому введем дополнительный процесс $k(t)$, характеризующий состояние прибора в момент времени t следующим образом: 0, если прибор свободен, 1, если прибор занят обслуживанием поступившей заявки, n, если прибор занят обслуживанием вызванной заявки типа n, где $n=\overline{2,N+1}$. Также введем процесс $m(t)$ – цепь Маркова, управляющую MMPP-потоком. Процесс $m(t)$ задается матрицей инфинитезимальных характеристик $\mathbf{Q}$. Когда $m(t)=m$, интенсивность входящего потока равна λ_m, $m=\overline{1,M}$.

Трехмерный процесс $\{i(t),k(t),m(t)\}$ образует цепь Маркова с непрерывным временем. Обозначим $P\{i(t)=i,k(t)=k,m(t)=m\}=P_k(i,m,t)$ – вероятность того, что в момент времени t прибор находится в состоянии k, в системе находится i поступивших заявок и управляющая MMPP-потоком цепь Маркова $m(t)$ принимает значение m.

Запишем систему уравнений Колмогорова в стационарном режиме:

$$-\left(\lambda_m+i\sigma+\sum_{n=2}^{N+1}\alpha_n\right)P_0(i,m)+\mu_1P_1(i+1,m)+\sum_{n=2}^{N+1}\mu_nP_n(i,m)+\sum_{\nu=1}^{M}P_0(i,\nu)q_{\nu m}=0,$$

$$-(\lambda_m+\mu_1)P_1(i,m)+\lambda_mP_1(i-1,m)+\lambda_mP_0(i-1,m)+i\sigma P_0(i,m)+\sum_{\nu=1}^{M}P_1(i,\nu)q_{\nu m}=0,$$

$$-(\lambda_m+\mu_n)P_n(i,m)+\lambda_mP_n(i-1,m)+\alpha_nP_0(i,m)+\sum_{\nu=1}^{M}P_n(i,\nu)q_{\nu m}=0,\ n=\overline{2,N+1}.$$

Перейдем к частичным характеристическим функциям

$$H_k(u,m)=\sum_{i=0}^{\infty}e^{jui}P_k(i,m),\ k=\overline{0,N+1},$$

где $j=\sqrt{-1}$. Домножим уравнения системы на e^{jui} и просуммируем по i, чтобы получить систему уравнений для частичных характеристических функций

$$\begin{gathered}
-\left(\lambda_m+\sum_{n=2}^{N+1}\alpha_n\right)H_0(u,m)+j\sigma\frac{\partial H_0(u,m)}{\partial u}+\mu_1e^{-ju}H_1(u,m)+\sum_{n=2}^{N+1}\mu_nH_n(u,m)+\\
+\sum_{\nu=1}^{M}H_0(u,\nu)q_{\nu m}=0,\\
-(\lambda_m+\mu_1)H_1(u,m)+\lambda_me^{ju}H_1(u,m)+\lambda_me^{ju}H_0(u,m)-j\sigma\frac{\partial H_0(u,m)}{\partial u}+\\
+\sum_{\nu=1}^{M}H_1(u,\nu)q_{\nu m}=0,\\
-(\lambda_m+\mu_n)H_n(u,m)+\lambda_me^{ju}H_n(u,m)+\alpha_nH_0(u,m)+\\
+\sum_{\nu=1}^{M}H_n(u,\nu)q_{\nu m}=0,\quad n=\overline{2,N+1}.
\end{gathered}\tag{1}$$

3. Метод асимптотического анализа

В системе уравнений (1) введем следующие замены:

$$q_{\nu m} = \varepsilon s_{\nu m}\,,\ H_k(u,m) = F_k(u,m,\varepsilon)\,,\ k = \overline{0, N+1}\,,$$

и получим систему уравнений

$$\begin{gathered}
-\left(\lambda_m + \sum_{n=2}^{N+1}\alpha_n\right)F_0(u,m,\varepsilon) + \mu_1 e^{-ju}F_1(u,m,\varepsilon) + \sum_{n=2}^{N+1}\mu_n F_n(u,m,\varepsilon) + \\
+\varepsilon\sum_{\nu=1}^{M}F_0(u,\nu,\varepsilon)s_{\nu m} + j\sigma\frac{\partial F_0(u,m,\varepsilon)}{\partial u} = 0, \\
-(\lambda_m + \mu_1)F_1(u,m,\varepsilon) + \lambda_m e^{ju}F_1(u,m,\varepsilon) + \lambda_m e^{ju}F_0(u,m,\varepsilon) - \\
-j\sigma\frac{\partial F_0(u,m,\varepsilon)}{\partial u} + \varepsilon\sum_{\nu=1}^{M}F_1(u,\nu,\varepsilon)s_{\nu m} = 0, \\
-(\lambda_m + \mu_n)F_n(u,m,\varepsilon) + \lambda_m e^{-ju}F_n(u,m,\varepsilon) + \alpha_n F_0(u,m,\varepsilon) + \\
+\varepsilon\sum_{\nu=1}^{M}F_n(u,\nu,\varepsilon)s_{\nu m} = 0,\ n = \overline{2, N+1}.
\end{gathered} \tag{2}$$

Теорема 1. Если существуют пределы $\lim\limits_{\varepsilon\to 0}F_k(u,m,\varepsilon) = F_k(u,m)$, то

$$F(u) = \sum_{k=0}^{N+1}\sum_{m=1}^{M}F_k(u,m) = \sum_{m=1}^{M}C_m\frac{\mu_1}{\mu_1-\lambda_m}\left(1+\sum_{n=2}^{N+1}\frac{\alpha_n}{\mu_n+\lambda_m\left(1-e^{ju}\right)}\right)\times$$

$$\times\left(\frac{1-p_{1m}}{1-p_{1m}e^{ju}}\right)^{\frac{\lambda_m}{\sigma}(1+\nu_m)+1}\prod_{n=2}^{N+1}\left(\frac{1-p_{nm}}{1-p_{nm}e^{ju}}\right)^{\frac{\alpha_n(\theta_{nm}-\lambda_m)}{\sigma\theta_{nm}}},$$

где $p_{1m} = \dfrac{\lambda_m}{\mu_1}$, $\theta_{nm} = \mu_n + \lambda_m - \mu_1$, $\nu_m = \sum\limits_{n=2}^{N+1}\dfrac{\alpha_n}{\theta_{nm}}$, $p_{nm} = \dfrac{\lambda_m}{\mu_n + \lambda_m}$, $n = \overline{2, N+1}$.

Доказательство. В системе уравнений (2) перейдем к пределу при $\varepsilon \to 0$, получим

$$\begin{gathered}
-\left(\lambda_m + \sum_{n=2}^{N+1}\alpha_n\right)F_0(u,m) + \mu_1 e^{-ju}F_1(u,m) + \sum_{n=2}^{N+1}\mu_n F_n(u,m) + j\sigma\frac{\partial F_0(u,m)}{\partial u} = 0, \\
-(\lambda_m + \mu_1)F_1(u,m) + \lambda_m e^{ju}F_1(u,m) + \lambda_m e^{ju}F_0(u,m) - j\sigma\frac{\partial F_0(u,m)}{\partial u} = 0, \\
-(\lambda_m + \mu_n)F_n(u,m) + \lambda_m e^{ju}F_n(u,m) + \alpha_n F_0(u,m) = 0,\ n = \overline{2, N+1}.
\end{gathered}$$

Данная система уравнений сводится к системе из одного дифференциального и $N+1$ алгебраических уравнений

$$\begin{gathered}
F_1(u,m) = \frac{\lambda_m}{\mu_1 + \lambda_m\left(1-e^{ju}\right)}F_0(u,m) - \frac{j\sigma}{\mu_1 + \lambda_m\left(1-e^{ju}\right)}\cdot\frac{\partial F_0(u,m)}{\partial u}, \\
F_n(u,m) = \frac{\alpha_n}{\mu_n + \lambda_m\left(1-e^{ju}\right)}F_0(u,m),\ n = \overline{2, N+1}, \\
\frac{\partial F_0(u,m)}{\partial u} = j\frac{\lambda_m}{\sigma}\left[\frac{\lambda_m e^{ju}}{\mu_1 - \lambda_m e^{ju}} + \frac{\mu_1 + \lambda_m\left(1-e^{ju}\right)}{\mu_1 - \lambda_m e^{ju}}\sum_{n=2}^{N+1}\frac{\alpha_n}{\mu_n + \lambda_m\left(1-e^{ju}\right)}\right]F_0(u,m).
\end{gathered} \tag{3}$$

Проинтегрируем обе части третьего уравнения системы (3) по u:

$$\ln F_0(u,m) - \ln C_m = \int_0^u j\frac{\lambda_m}{\sigma}\left[\frac{\lambda_m e^{jx}}{\mu_1 - \lambda_m e^{jx}} + \frac{\mu_1 + \lambda_m\left(1-e^{jx}\right)}{\mu_1 - \lambda_m e^{jx}}\sum_{n=2}^{N+1}\frac{\alpha_n e^{jx}}{\mu_n + \lambda_m\left(1-e^{jx}\right)}\right]dx,$$

где C_m – константа интегрирования. Решая дифференциальное уравнение, получим функцию $F_0(u,m)$ в явном виде:

$$F_0(u,m) = C_m \left(\frac{\mu_1 - \lambda_m}{\mu_1 - \lambda_m e^{ju}} \right)^{\frac{\lambda_m}{\sigma}(1+\nu_m)} \prod_{n=2}^{N+1} \left(\frac{\mu_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \right)^{\frac{\alpha_n(\theta_{nm} - \lambda_m)}{\sigma\theta_{nm}}},$$

где $\theta_{nm} = \mu_n + \lambda_m - \mu_1$, $\nu_m = \sum_{n=2}^{N+1} \frac{\alpha_n}{\theta_{nm}}$. С помощью соотношений (3) получим функции $F_k(u,m)$:

$$F_1(u,m) = C_m \frac{\lambda_m}{\mu_1 - \lambda_m e^{ju}} \left(\frac{\mu_1 - \lambda_m}{\mu_1 - \lambda_m e^{ju}} \right)^{\frac{\lambda_m}{\sigma}(1+\nu_m)} \prod_{n=2}^{N+1} \left(\frac{\mu_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \right)^{\frac{\alpha_n(\theta_{nm} - \lambda_m)}{\sigma\theta_{nm}}} \times$$

$$\times \left(1 + \sum_{n=2}^{N+1} \frac{\alpha_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \right),$$

$$F_n(u,m) = C_m \frac{\alpha_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \left(\frac{\mu_1 - \lambda_m}{\mu_1 - \lambda_m e^{ju}} \right)^{\frac{\lambda_m}{\sigma}(1+\nu_m)} \times$$

$$\times \prod_{n=2}^{N+1} \left(\frac{\mu_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \right)^{\frac{\alpha_n(\theta_{nm} - \lambda_m)}{\sigma\theta_{nm}}}, \quad n = \overline{2, N+1}.$$

Просуммируем полученные функции по k:

$$\sum_{k=0}^{N+1} F_k(u,m) = F(u,m) = C_m \frac{\mu_1}{\mu_1 - \lambda_m} \left(+ \sum_{n=2}^{N+1} \frac{\alpha_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \right) \left(\frac{\mu_1 - \lambda_m}{\mu_1 - \lambda_m e^{ju}} \right)^{\frac{\lambda_m}{\sigma}(1+\nu_m)+1} \times$$

$$\times \prod_{n=2}^{N+1} \left(\frac{\mu_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \right)^{\frac{\alpha_n(\theta_{nm} - \lambda_m)}{\sigma\theta_{nm}}}.$$

Просуммируем полученные выражения для частичных характеристических функций по m:

$$F(u) = \sum_{m=1}^{M} C_m \frac{\mu_1}{\mu_1 - \lambda_m} \left(+ \sum_{n=2}^{N+1} \frac{\alpha_n}{\mu_n + \lambda_m \left(1 - e^{ju}\right)} \right) \left(\frac{1 - p_{1m}}{1 - p_{1m} e^{ju}} \right)^{\frac{\lambda_m}{\sigma}(1+\nu_m)+1} \prod_{n=2}^{N+1} \left(\frac{1 - p_{nm}}{1 - p_{nm} e^{ju}} \right)^{\frac{\alpha_n(\theta_{nm} - \lambda_m)}{\sigma\theta_{nm}}},$$

где $p_{1m} = \frac{\lambda_m}{\mu_1}$, $p_{nm} = \frac{\lambda_m}{\mu_n + \lambda_m}$, $n = \overline{2, N+1}$. **Теорема доказана.**

В ходе доказательства теоремы 1 найдена характеристическая функция числа поступивших заявок в системе с помощью метода асимптотического анализа в условии предельно редких изменений состояний входящего потока.

Заключение

В настоящей работе рассмотрена математическая модель системы MMPP|M|1 с N типами вызываемых заявок. С помощью метода асимптотического анализа в условии предельно редких изменений входящего потока получена характеристическая функция числа поступивших заявок в системе.

Для дальнейшего исследования данной системы планируется построить имитационную модель, с помощью которой можно определить границы применимости асимптотического результата. Также планируется изучение RQ-систем M|GI|1 и GI|M|1 с N типами вызываемых заявок с помощью методов асимптотического анализа в различных предельных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Artalejo J.R., Gomez-Corral A.* Retrial queueing systems: a computational approach. – Springer, Berlin, 2008. – 320 p.
2. *Falin G., Templeton J.* Retrial queues. – CRC Press, 1997.
3. *Башарин Г.П., Самуйлов К.Е.* Об однофазной системе массового обслуживания с двумя типами заявок и относительным приоритетом // Техническая кибернетика. – 1983. – Т. 3. – С. 48–56.
4. *Bhulai S., Koole G.* A queueing model for call blending in call centers // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2003. – Vol. 48. – № 8. – P. 1434–1438.
5. *Deslauriers A., L'Ecuyer P., Pichitlamken J., Ingolfsson A., Avramidis A.N.* Markov chain models of a telephone call center with call blending // Computers & operations research. – 2007. – Vol. 34. – № 6. P. 1616–1645.
6. *Artalejo J.R., Phung-Duc T.* Markovian retrial queues with two-way communication // Journal of industrial and management optimization. – 2012. – Vol. 12. – № 4. – P. 781–806.
7. *Artalejo J.R., Phung-Duc T.* Single server retrial queues with two-way communication // Applied Mathematical Modelling. – 2013. – Vol. 37. – № 4. – P. 1811–1822.
8. *Sakurai H., Phung-Duc T.* Two-way communication retrial queues with multiple types of outgoing calls // Top. – 2015. – Vol. 23. – № 2. – P. 466–492.
9. *Phung-Duc T., Kawanishi K.* An efficient method for performance analysis of blended call centers with redial // Asia-Pacific Journal of Operational Research. – 2014. – Vol. 31. – № 02. – P. 144–148.
10. *Nazarov A.A.* Asymptotic analysis of markovial retrial queue with two-way communication under low rate of retrials condition // In Proceedings 31st European Conference on Modelling and Simulation. – 2017. – P. 678–693.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СУММАРНОГО ОБЪЕМА ЗАНЯТОГО РЕСУРСА НА БЛОКАХ СИСТЕМЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И ВХОДЯЩИМ ММРР-ПОТОКОМ

Е.Н. Чернышова, Е.Ю. Лисовская

Томский государственный университет

Введение

В настоящее время наблюдается увеличение объема трафика беспроводных сетей, что обусловлено развитием технологий мобильного широкополосного доступа четвертого поколения (4G), а также постоянно растущим запросом на трафик в системах пятого поколения (5G) [2,3]. Анализ источников, рекомендаций и стандартов международных организаций установил, что необходимы комплексные модели, которые адекватно описывали бы особенности методов управления доступом и механизмами резервирования ресурсов сетей [1,4].

Для увеличения эффективности механизма управления ресурсами беспроводной сети, необходимо разрабатывать новые модели и методы анализа эффективности широкополосных беспроводных сетей. Решение данной проблемы сдерживается недостатками в теоретических основах, в том числе, в теории массового обслуживания из-за отсутствия адекватных моделей обслуживания и методов их анализа.

В данной работе предлагается построение и исследование математической модели системы массового обслуживания со случайными требованиями к объему занимаемого ресурса беспроводной сети с расщеплением (копированием) заявок [5]. Рассматриваемая модель позволит сделать оценку необходимых объемов резервируемых ресурсов для трафика и выработать стратегию их распределения.

1. Математическая модель

Рассмотрим систему массового обслуживания, состоящую из двух блоков, каждый из которых имеет неограниченное число приборов; на вход поступает ММРР поток