

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА СЕТЕЙ К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТИ IMS

Д.Ю. Пономарев

Сибирский федеральный университет  
Красноярск, 660131, Россия, dupon777@mail.ru

*Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2070.2008.9*

Современным направлением развития сетей NGN является концепция IMS. Оценка качества обслуживания в данной сети является необходимой задачей, но ее решение усложняется наличием большого числа информационных потоков и их классов и сложными топологиями сетей. В данной работе представлен тензорный подход к решению задачи управления распределением информационных потоков в узлах сети, а также связанной с этим задачи поддержки заданного уровня качества обслуживания QoS в сети IMS.

Современные сети связи обеспечивают потребности современного общества в предоставлении различных информационных услуг. Необходимость обеспечения обработки гетерогенных информационных потоков приводит к возникновению технологий, позволяющих решать задачи связанные с реализацией возможности обработки разнородной информации в единой инфокоммуникационной сети. При этом естественно, что к таким сетям будут предъявляться повышенные требования как по пропускной способности, с целью предоставления широкополосных услуг, так и по уровню качества обслуживания информационных потоков в данной сети связи.

Возможными путями обеспечения уровня качества обслуживания при обслуживании гетерогенного трафика являются: во-первых, использование широкополосных систем обработки информации, во-вторых, применение оптических систем передачи информации, в т.ч. волоконно-оптических линий связи, и в-третьих, использование систем управления, позволяющих в условиях ограниченных ресурсов сети обеспечить оптимальное (или близкое к оптимальному) распределение трафика по коммутаторам/маршрутизаторам сети. Первым шагом по реализации системы управления к задаче обеспечения качества обслуживания в сетях пакетной коммутации является технология ATM (Asynchronous Transfer Mode – асинхронный режим передачи), которая, однако, в связи с высокой стоимостью так и не получила широкого распространения. Именно, в технологии ATM впервые была предложена модель разделения процессов обслуживания информационных потоков на плоскости управления, пользователя и администрирования и реализованы механизмы поддержки качества обслуживания для разнородных (с разделением на классы) потоков. Для этого определялись как уровни адаптации ATM (AAL – ATM Adaptation Layer), так и категории источников нагрузки. Так, например AAL2 предназначен для потоков с переменной скоростью передачи и синхронизацией: к такому типу сигнала можно отнести передачу речи с переменной скоростью и сжатого (например, MPEG) видеосигнала. Категории источников также определяют взаимодействие информационного потока и сети через параметры, которым должно соответствовать обслуживание определенного типа для заданного вида информации. Например, категория rt-VBR (Real Time - Variable Bit Rate) предполагает обслуживание потоков с переменной скоростью передачи и определяет необходимость оценки следующих параметров при передаче таких информационных потоков: максимальная пропускная способность, временная задержка передачи ячейки, девиация времени задержки передачи ячейки, вероятность потери ячейки и др.

В сетях с IP протоколом могут использоваться следующие принципы поддержки QoS: на базе интегрированных служб (IntServ – Integrated Services Architecture) и на базе дифференцированных служб (DiffServ – Differentiated Services Framework). Механизм IntServ ориентирован на периферийное сетевое оборудование, а масштабируемая архитектура DiffServ используется в магистральной части сетей. Модель IntServ использует протокол резервирования ресурсов (RSVP) в качестве базового сигнального протокола, а, следовательно, требует решения как вопросов управления запросами при резервировании ресурсов, так и проблемы

резервирования в случае отсутствия поддержки протокола RSVP некоторыми устройствами сети. На всем пути передачи информационного потока с определенным классом обслуживания QoS необходимо поддерживать определение параметров передачи, а также обеспечить гибкое управление пропускной способностью, что определяется характером задействованного ресурса и необходимостью периодических обновлений с помощью сообщений протокола RSVP. Модель IntServ для поддержки QoS определяет три класса обслуживания: гарантированное обслуживание, максимально доступное качество и контролируемая загрузка. В DiffServ по сравнению с IntServ акцент в большей степени сделан не на сигнализации, а на способе обработки потоков в каждом узле маршрута передачи на основе заданного класса обслуживания данного информационного потока.

Достигнутый уровень развития современных сетей и систем связи позволяет говорить о практически повсеместном использовании протокола Интернет (IP – Internet Protocol) для построения современных инфокоммуникаций. Не смотря на то, что до сих пор на сетях связи используются технологии с коммутацией каналов (телефонные сети), построение сетей следующего поколения основано на использовании пакетной коммутации, что естественно, требует иного подхода как к организации самой сети, так и к процессу предоставления услуг данной сети. Изначально, переход от сетей с коммутацией каналов к сетям с пакетной коммутацией был связан с созданием специальных протоколов обработки сигнализации (H.323, SIP-T, Sigtran), а в дальнейшем, к постепенному разделению информационных и сигнальных потоков, что реализовалось в концепцию Softswitch [1].

Однако, в связи с развитием технологий пакетной коммутации (ATM, MPLS, IP, Ethernet) и устранением ряда ограничений данных технологий: поддержка качества обслуживания (QoS – quality of service), увеличение адресного пространства и др., основной базой для построения становится протокол IP, а концепция построения сетей следующего поколения (NGN – Next generation networks), обеспечивающая требуемую гибкость при внедрении новых услуг по обработке информационных потоков, получила название IMS (IP Multimedia Subsystem – система обработки разнородных информационных потоков с использованием IP) [1]. В рамках данной концепции происходит переход от традиционной вертикальной схемы предоставления услуг сети к горизонтальной, что позволяет решать задачи по внедрению новых услуг и переходу на новые технологии транспортной сети на качественно новом уровне.

Следует отметить, что создание технологически новых сетей требует решения задач управления распределением информационных потоков в узлах сети, а также связанной с этим задачи поддержки заданного уровня качества обслуживания. Данные задачи являются наиболее актуальными в современных инфокоммуникационных сетях [2-4], но их решение связано со значительными сложностями как по конкретной постановке задачи и определении исходных данных, так и по вычислительным затратам. Трудность решения данной задачи для глобальных сетей повышается в связи с использованием различных технологий инфокоммуникационных сетей, наличием различного уровня сложности топологий сетей, присутствием неоднородности информационной нагрузки, необходимостью обеспечения различных уровней качества обслуживания для разных информационных потоков и т.д.

В данной работе предлагается для решения задачи обеспечения качества обслуживания и управления распределением потоков в сети IMS использовать тензорный анализ сетей. Ранее [5] было показано, что определяя соответствие между загрузками исходной  $\bar{\rho}$  и примитивной  $\bar{\rho}'$  сетей через матрицу перехода  $\bar{A}$ , как  $\bar{\rho}' = \bar{A}\bar{\rho}$  и используя известное соотношение для загрузки:  $\lambda = \mu\rho$ , где  $\lambda$  - интенсивность поступления пакетов, а  $\mu$  - интенсивность обслуживания пакетов в узле сети, можно записать:  $\bar{A}\bar{\rho}\bar{\lambda}' = \bar{\rho}\bar{\lambda}$ . Далее, найдя соотношение между загрузками примитивной ( $\bar{\lambda}'$ ) и исходной ( $\bar{\lambda}$ ) сетей, как  $\bar{\lambda}' = (\bar{A}^T)^{-1}\bar{\lambda}$ . Следовательно,  $(\bar{A}^T)^{-1}\bar{\lambda} = \bar{\mu}'\bar{A}\bar{\rho}$ . Окончательно, уравнение будет иметь вид:

$$(\bar{A}^T \bar{\mu}' \bar{A}) \bar{\rho} = \bar{A}^T \bar{\lambda}' . \quad (1)$$

Далее, решая полученное уравнение относительно  $\bar{\rho}$ , находим коэффициенты использования узлов в сети ( $\bar{\rho}_{\text{узел}} = \bar{A}\bar{\rho}$ ), что позволяет определить качественные показатели (например, время задержки для маршрута или для всей сети будет определяться, как:  $T = \sum_{i=1}^{\alpha} T_i$ , где  $\alpha$  – число узлов сети;  $T_i = f(\rho)$  – среднее время задержки в отдельной системе), и распределение интенсивностей потоков по узлам сети, как:  $\bar{\lambda}_{\text{узел}} = \bar{\mu}_{\text{узел}}\bar{\rho}_{\text{узел}}$ .

В качестве исходных данных, для определения существующих потоков между узлами сети IMS, при решении задачи распределения потоков можно взять модель распределения трафика, предложенную в [6]. Основными составляющими сети IMS (рис.1) являются функциональные объекты управления соединениями (CSCF – Call Session Control Function): прокси P-CSCF (Proxy-CSCF), взаимодействия I-CSCF (Interrogating-CSCF) и обслуживания S-CSCF (Serving-CSCF); серверы приложений, присутствия и управления базами данных; функциональные объекты распределения ресурсов среды (MRF-Media Resource Function): управления MRFC (MRF Controller) и обработки MRFP (MRF Processor).

Следует отметить, что данная структура сети не является жестко заданной и может изменяться в процессе эксплуатации с целью обеспечения максимальной пропускной способности при заданных уровнях обслуживания гетерогенного трафика. Кроме того, наличие или отсутствие функциональных элементов системы управления будет определяться как необходимостью решения определенных задач при предоставлении инфокоммуникационных услуг, так и продолжающейся разработкой стандартов сети IMS.

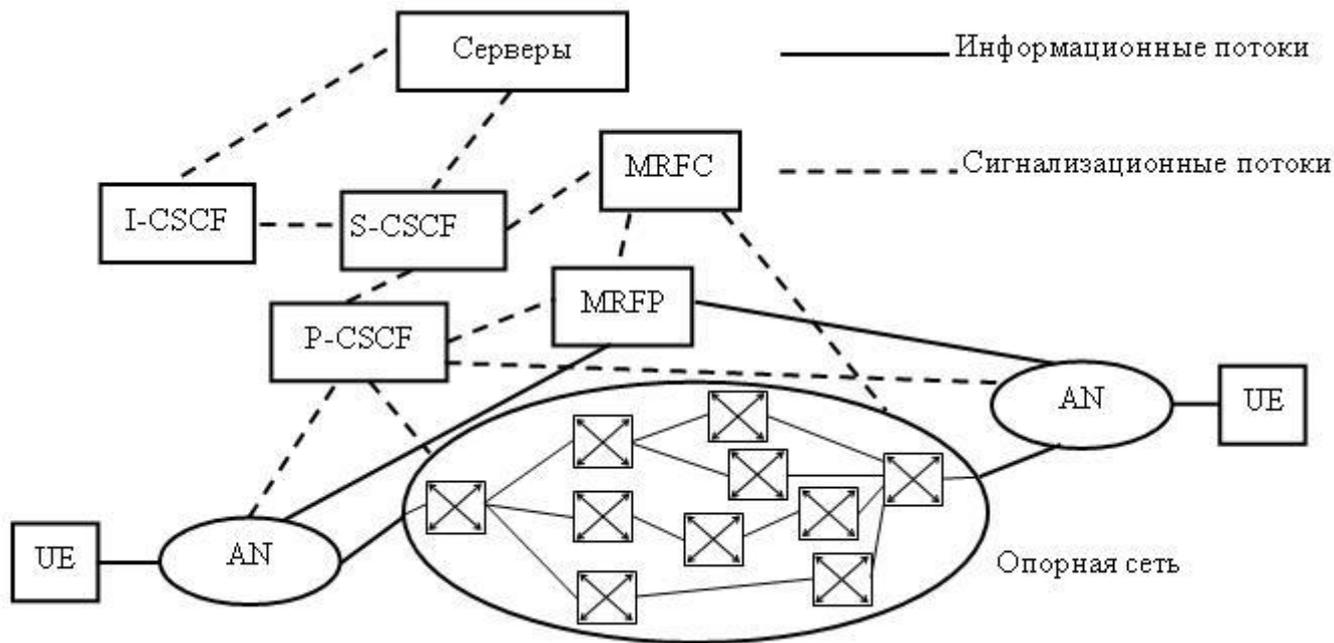


Рисунок 1 – Исследуемая сеть IMS

Взаимодействие P-CSCF, S-CSCF и MRF позволяет определить политику обработки информации на том или ином маршруте и обеспечить заданное качество обслуживания для определенного медиапотока. Это достигается использованием управляемых коммутаторов опорной сети. В зависимости от поставленной задачи и реализуемой на сети концепции обеспечения поддержки механизмов QoS возможны различные варианты использования ресурсов опорной сети для передачи и обработки информационных потоков различного типа. В качестве примера, рассмотрим использование тензорного подхода к задаче обеспечения заданного значения времени задержки, регламентированного рекомендацией ITU-T Y.1541, путем управления распределением трафика в узлах сети. Для этого используем модель сети IMS в виде набора одноканальных систем массового обслуживания (рис. 2). Пунктиром выделены

коммутаторы, имеющие несколько направлений передачи информации. Использование в модели коммутатора нескольких СМО на выходе определяется требованием к отсутствию замыкания нагрузки между разными направлениями. Управляя распределением трафика на данных коммутаторах можно обеспечить требуемые значения среднего времени задержки, как одного из показателей качества обслуживания в исследуемой сети связи.

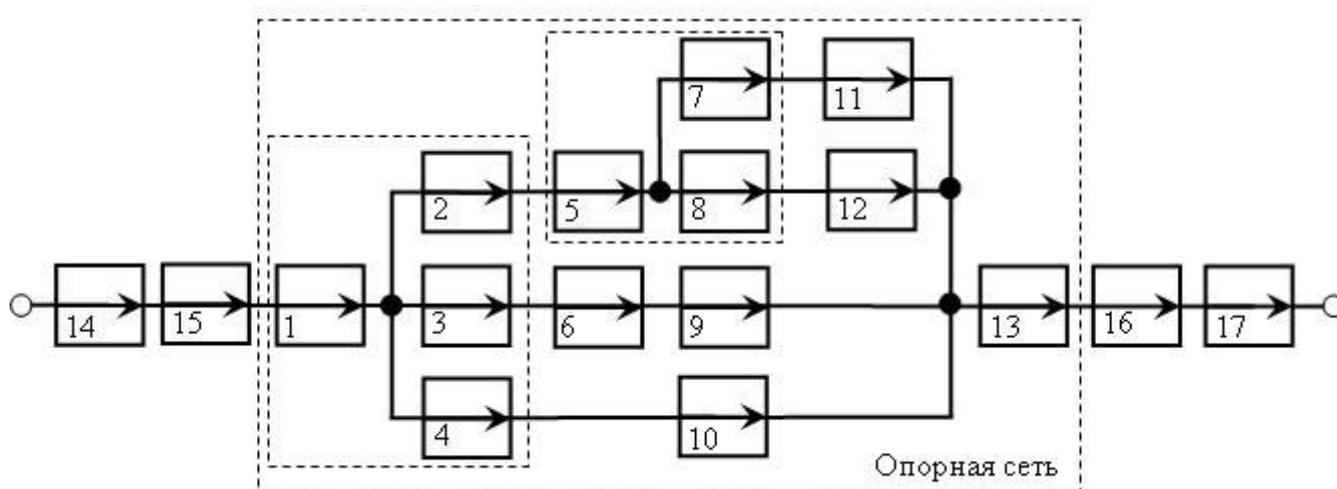


Рисунок 2 – Модель исследуемой сети IMS

Системы массового обслуживания (СМО) 14,17 и 15,16 определяют процесс обслуживания информационных потоков в пользовательском оборудовании (UE – User Equipment) и сети доступа (AN – Access Network). Для любых маршрутов опорной сети время задержки, вносимое системами на этих участках, будет одинаковым, поэтому учет временных характеристик этих узлов можно производить на заключительном этапе расчета. В связи с тем, что необходимо разделять потоки в соответствии со структурой сети, часть коммутаторов представлена моделями с отдельными выходными интерфейсами (СМО 1,2,3,4 и 5,7,8). Пограничные коммутаторы представлены СМО 1,2,3,4 и 13, коммутаторы ядра СМО с 5 по 12.

Данную модель преобразуем к узловому виду (рис. 3): в местах образования контуров производим «размыкание» связей между СМО, но в дальнейшем необходимо учитывать равенство интенсивностей поступления в соответствующих ветвях. В данном случае:  $\lambda_7 = \lambda_{11}$ ,  $\lambda_8 = \lambda_{12}$  и  $\lambda_4 = \lambda_{10}$ , при этом смысл систем массового обслуживания, как моделей коммутаторов, не изменяется.

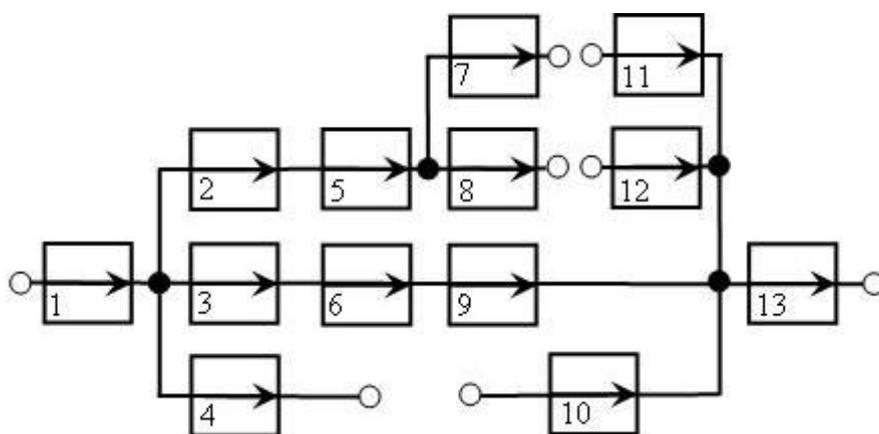


Рисунок 3 – Узловая модель опорной сети IMS

Находя соответствие между нагрузками в исходной и примитивной сети, определяем матрицу  $A$  согласно [7] (ввиду большой размерности и разреженности здесь не приводится). При этом левая часть уравнения (1) преобразуется к виду:

$$\begin{pmatrix}
(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4)\rho_a - \mu_2\rho_b - \mu_3\rho_c - \mu_4\rho_d \\
-\mu_2\rho_a + (\mu_2 + \mu_5)\rho_b - \mu_5\rho_e \\
-\mu_3\rho_a + (\mu_3 + \mu_6)\rho_c - \mu_6\rho_f \\
-\mu_4\rho_a + \mu_4\rho_d \\
-\mu_5\rho_b + (\mu_5 + \mu_7 + \mu_8)\rho_e - \mu_7\rho_g - \mu_8\rho_h \\
-\mu_6\rho_c + (\mu_6 + \mu_9)\rho_f - \mu_9\rho_k \\
-\mu_7\rho_e + \mu_7\rho_g \\
-\mu_8\rho_e + \mu_8\rho_h \\
-\mu_9\rho_f + (\mu_{10} + \mu_{11} + \mu_{12} + \mu_{13})\rho_k - \mu_{10}\rho_m - \mu_{11}\rho_n - \mu_{12}\rho_p - \mu_{13}\rho_q \\
-\mu_{10}\rho_k + \mu_{10}\rho_m \\
-\mu_{11}\rho_k + \mu_{11}\rho_n \\
-\mu_{12}\rho_k + \mu_{12}\rho_p \\
-\mu_{13}\rho_k + \mu_{13}\rho_q
\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3 - \lambda_4 \\
\lambda_2 - \lambda_5 \\
\lambda_3 - \lambda_6 \\
\lambda_4 \\
\lambda_5 - \lambda_7 - \lambda_8 \\
\lambda_6 - \lambda_9 \\
\lambda_7 \\
\lambda_8 \\
\lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12} - \lambda_{13} \\
-\lambda_{10} \\
-\lambda_{11} \\
-\lambda_{12} \\
\lambda_{13}
\end{pmatrix} \quad (2)$$

В связи с тем, что сумма интенсивностей потоков в узле равна нулю (потери в данной модели отсутствуют), правая часть линейного алгебраического уравнения может быть представлена в виде, позволяющем уменьшить размерность системы уравнений, используя формулы редукции. Кроме того, так как единственной СМО являющейся генератором трафика является СМО №1, то все интенсивности поступления вызовов в остальные СМО могут быть определены через  $\lambda_1$ . С этой целью в уравнение вводятся коэффициенты  $p_i$ , которые определяют долю трафика поступающего на  $i$  СМО. При этом, исходя из структуры модели сети, необходимо учитывать, что:  $p_2 + p_3 + p_4 = 1$ ,  $p_7 + p_8 = 1$ .

$$\begin{pmatrix}
\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3 - \lambda_4 \\
\lambda_2 - \lambda_5 \\
\lambda_3 - \lambda_6 \\
\lambda_4 \\
\lambda_5 - \lambda_7 - \lambda_8 \\
\lambda_6 - \lambda_9 \\
\lambda_7 \\
\lambda_8 \\
\lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12} - \lambda_{13} \\
-\lambda_{10} \\
-\lambda_{11} \\
-\lambda_{12} \\
\lambda_{13}
\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
0 \\
0 \\
0 \\
\lambda_4 \\
0 \\
0 \\
\lambda_7 \\
\lambda_8 \\
0 \\
-\lambda_4 \\
-\lambda_7 \\
-\lambda_8 \\
\lambda_1
\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
0 \\
0 \\
0 \\
p_4\lambda_1 \\
0 \\
0 \\
p_7\lambda_5 \\
p_8\lambda_5 \\
0 \\
-p_4\lambda_1 \\
-p_7\lambda_5 \\
-p_8\lambda_5 \\
\lambda_1
\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
0 \\
0 \\
0 \\
p_4\lambda_1 \\
0 \\
0 \\
p_7\lambda_2 \\
p_8\lambda_2 \\
0 \\
-p_4\lambda_1 \\
-p_7\lambda_2 \\
-p_8\lambda_2 \\
\lambda_1
\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
0 \\
0 \\
0 \\
p_4\lambda_1 \\
0 \\
0 \\
p_7p_2\lambda_1 \\
p_8p_2\lambda_1 \\
0 \\
-p_4\lambda_1 \\
-p_7p_2\lambda_1 \\
-p_8p_2\lambda_1 \\
\lambda_1
\end{pmatrix} \quad (3)$$

Используя вектор управления, содержащий вероятности разделения нагрузки по узлам  $(p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_7 \ p_8)$  можно управлять распределением трафика по узлам сети с целью обеспечения определенного значения среднего времени задержки либо по заданному маршруту, либо по всей сети в целом при установленном значении интенсивности информационных потоков. При этом, исходя из уравнения (3) и  $p_7 + p_8 = 1$ , достаточно использовать вероятности  $p_2$ ,  $p_4$  и  $p_7$ . Например, при входном значении  $\lambda_1$  равном 80 (условно), интенсивности

обслуживания в каждой системе равной 100 и использовании в качестве модели систему массового обслуживания вида М/М/1 можно изменяя значения выбранных коэффициентов из

$p_2$ ,  $p_4$  и  $p_7$  определить изменение времени задержки по сети как  $T = \sum_{i=1}^{13} \frac{1/\mu_i}{1-\rho_i}$ , где  $\rho_i$

определяется из решения уравнения (2) относительно  $\bar{\rho}$  и нахождения коэффициентов использования узлов в сети ( $\bar{\rho}_{\text{узел}} = \bar{A}\bar{\rho}$ ). Результаты расчетов представлены на рис. 4.

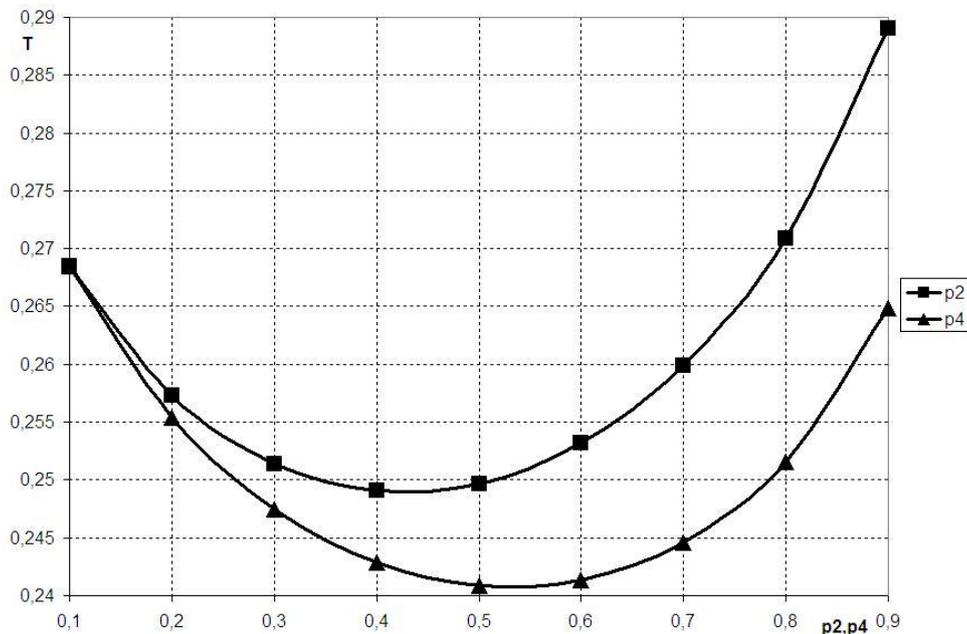


Рисунок 4 – Изменение времени задержки по сети в зависимости от значений  $p_2$  и  $p_4$

В заключение можно сделать вывод о том, что в связи с тем, что в сети IMS необходимо управлять большим количеством устройств и проводить обработку множества информационных потоков с заданным качеством обслуживания для каждого типа потока, решение задачи управления эффективным использованием ресурсов сети значительно усложняется. Тензорный метод анализа сетей, как обладающий возможностями по учету процессно-структурного взаимодействия и гибкости применения, позволяет снизить вычислительные затраты на решение такой задачи, уменьшить задержки при динамическом управлении телекоммуникационными системами и обеспечить хорошую масштабируемость сети как при внедрении новых услуг, так и при изменении структуры и внедрении новых технологий инфокоммуникационной сети.

#### Литература

1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. SOFTSWITCH – СПб: БХВ. – 2006.
2. Y. Zhang, M. Roughan, N. Duffield, A. Greenberg. Fast Accurate Computation of Large-Scale IP Traffic Matrices from Link Loads. – ACM SIGMETRICS. – 2003. – pp. 206-217.
3. T. Braun, M. Diaz, J. Gabeiras, T. Staub. End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
4. Y. Jiang, Y. Liu. Stochastic Network Calculus. - Springer-Verlag London Limited, 2008. – P. 229.
5. Пономарев Д.Ю. Оценка среднего времени задержки в сетях IP с помощью тензорной методологии // Труды Всероссийской научной конференции с международным участием «Технологии информатизации профессиональной деятельности (в науке, образовании и промышленности)» ТИПД-2008. Ижевск: УдГУ. – 2008. – С. 382-389.
6. V.S. Abhayawardhana, R. Babbage. A Traffic Model for the IP Multimedia Subsystem (IMS) // IEEE 65th Vehicular Technology Conference / VTC2007-Spring, 2007. – pp. 783-787.
7. Пономарев Д.Ю. Узловой метод тензорного анализа сетей для оценки качественных показателей в IP сетях // СИТ – Пенза: ПГТА. – 2008. – №8. – С. 67-69.