

Анализ иерархической системы управления сетями связи при ограниченной надежности элементов системы

В. И. Мейкшан, Ю. С. Лизнева, Е. В. Ростова

Сибирский гос. унив. телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

Аннотация: При анализе иерархической системы управления сетями связи используется математический аппарат теории сетей массового обслуживания. Особенность и научная новизна построенной модели заключается в том, что учитывается ограниченная надежность элементов системы. Представленные результаты численных расчётов демонстрируют влияние коэффициента готовности элементов системы управления на показатели, характеризующие время реакции системы при поступлении запросов, связанных с процессами технического обслуживания и эксплуатации сетевых объектов.

Ключевые слова: сети связи, система управления, очереди заявок, приоритеты, среднее время реакции.

Для цитирования: Мейкшан В. И., Лизнева Ю. С., Ростова Е. В. Анализ иерархической системы управления сетями связи при ограниченной надежности элементов системы // Вестник СибГУТИ. 2024. Т. 18, № 2. С. 32–42. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-2-32-42>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Мейкшан В. И., Лизнева Ю. С.,
Ростова Е. В., 2024

Статья поступила в редакцию 24.11.2023;
принята к публикации 24.12.2023.

1. Введение

В сфере управления современными сетями связи фактическим стандартом является широко распространенная концепция TMN (Telecommunications Network Management), ей посвящена специальная серия Рекомендаций М.3000 Сектора телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т). В пирамиде TMN функции управления распределяются по следующим уровням [1, 2]:

- каждый элемент сети (Network Element – NE) снабжается собственным агентом для выполнения базовых функций непосредственного управления конкретным объектом;
- подсистема EMS (Element Management System) осуществляет управление некоторой группой сетевых элементов, образующих отдельный фрагмент (домен) сети;
- подсистема NMS (Network Management System) относится к самому верхнему уровню и обеспечивает функции интегрированного управления в масштабе всей сети оператора связи.

Со временем многие основополагающие принципы, заложенные в идеологию построения TMN, благополучно мигрировали в сугубо технологические модели, определяющие состав, архитектуру и функциональность реальной системы эксплуатационной поддержки (Operation Support System – OSS). В частности, обозначенный подход, предполагающий разделение от-

дельных элементов интегрированной системы управления по функциональным уровням, сохраняется и в концепции NGOSS, которая направлена на формирование универсальной методологии разработки, внедрения и развития систем OSS операторов связи [3, 4].

При наличии сложной структуры системы управления сетью связи (СУСС) эффективная работа СУСС во многом зависит от совместного влияния большого числа факторов. По этой причине задачи анализа качества функционирования СУСС постоянно привлекают к себе внимание отечественных и зарубежных авторов. Применительно к многоуровневой архитектуре СУСС, построенной в полном соответствии с концепцией TMN, наибольший интерес представляют исследования, в которых моделируются процессы взаимодействия сразу нескольких уровней иерархии СУСС [5–7].

Особого внимания заслуживает работа [7], где предлагается комплексная модель СУСС в классе сетей массового обслуживания (СМО). Настоящая статья посвящена развитию этой модели на случай, когда элементы исследуемой СУСС могут выходить из строя, т.е. имеют ограниченную надежность.

2. Функциональная модель СУСС

Общая топология сети очередей, с помощью которой моделируется работа исследуемой системы, представлена на рис. 1 в укрупненном виде (т.е. на уровне «макроузлов», соответствующих типовым функциональным модулям СУСС).

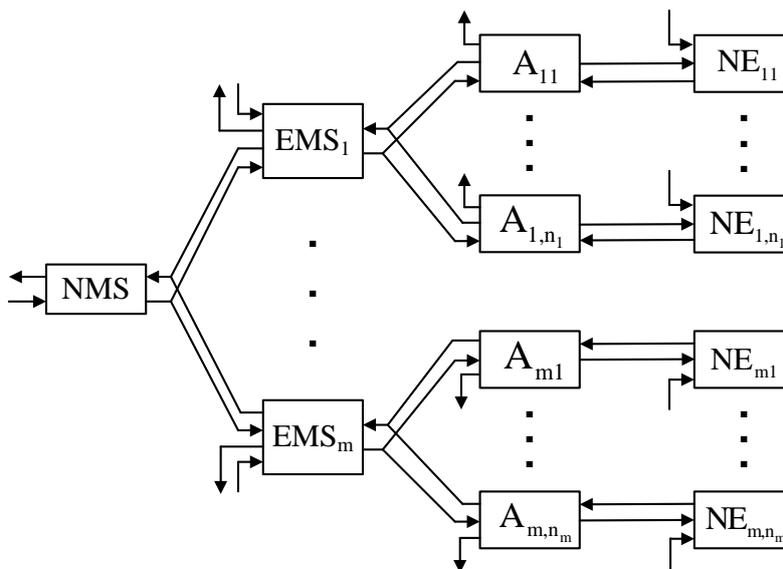


Рис. 1. Модель системы OSS в виде сети СМО

Внутренняя структура отдельных «макроузлов» детализируется на рис. 2, где обозначены следующие элементы СМО:

- входная (NI) и выходная (NO) очереди подсистемы NMS;
- входная (EI_i) и выходная (EO_i) очереди подсистемы EMS_i, которая установлена в одном из региональных центров управления (РЦУСС) и охватывает i -й фрагмент (домен) сети связи ($i = \overline{1, m}$);
- входная (AI_{ij}) и выходная (AO_{ij}) очереди в составе агента A_{ij} , который подчиняется подсистеме EMS_i ($i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n_i}$);

▪ QE_{ij} – очередь заявок к процессору эксплуатации и технического обслуживания (Operation and Maintenance Processor – OMP) для элемента сети NE_{ij} , который управляется агентом A_{ij} ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n_i}$).

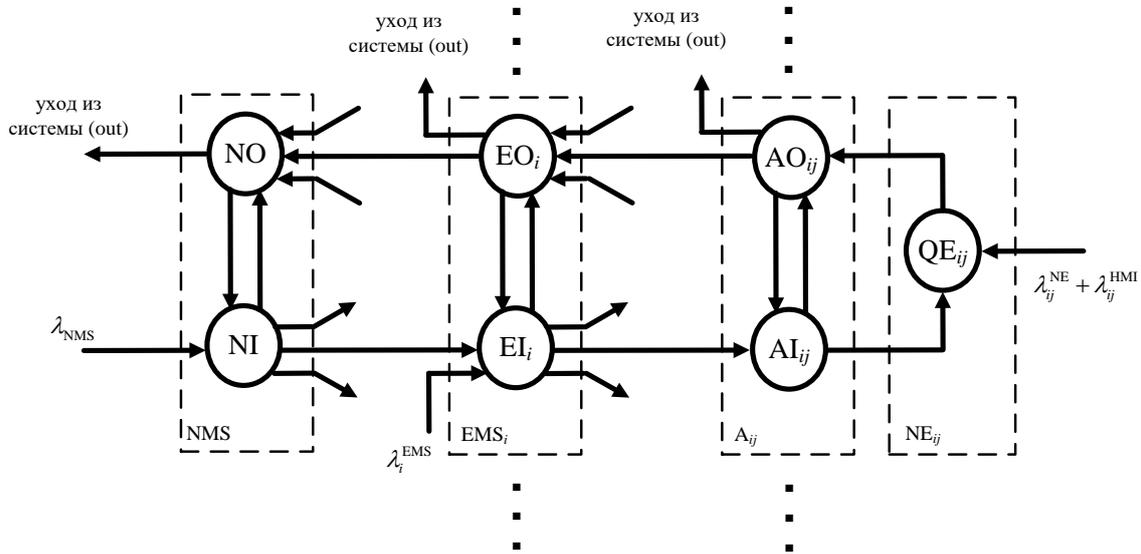


Рис. 2. Внутренняя структура «макроузлов»

Наличие входных и выходных очередей обусловлено стандартной схемой взаимодействия «менеджер – агент» [1]. Входные очереди преимущественно имеют дело с командами (директивами), поступающими от менеджера к агенту, а выходные очереди связаны с формированием ответной реакции на эти команды.

3. Построение математической модели СУСС

Распределение потоков заявок между элементами СеМО принято описывать с помощью маршрутной матрицы $\Theta = \|\theta(i, j)\|$, в которой элемент $\theta(i, j)$ определяет вероятность того, что заявки после обслуживания в очереди i переходят в очередь j . Для рассматриваемой СеМО (рис. 2) ненулевые элементы маршрутной матрицы представлены в табл. 1.

Таблица 1 Маршрутная матрица для исследуемой СеМО

Элементы маршрутной матрицы ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n_i}$)	Пояснения
$\theta(NO, out) = P_{NO}$	После пребывания в очереди NO заявки с вероятностью P_{NO} уходят из СеМО, а с дополнительной вероятностью $P'_{NO} = 1 - P_{NO}$ возникают внутренние заявки, т.е. заявки возвращаются во входную очередь NI для повторной обработки.
$\theta(NO, NI) = P'_{NO}$	
$\theta(NI, EI_i) = P_i^{EI}$	После обработки в NMS заявки из очереди NI с вероятностью P_i^{EI} направляются в подсистему EMS_i , а с вероятностью P_0^{EI} обслуженная заявка из очереди NI замыкается в пределах NMS, т.е. переходит в очередь NO .
$\theta(NI, NO) = P_0^{EI}$	
$\theta(EO_i, out) = P_i^{ex}$	После обслуживания в очереди EO_i заявка с вероятностью P_i^{ex} покидает СеМО.

$\theta(EO_i, NO) = P_i^{EO}$	Заявка, которая прошла обслуживание в очереди EO_i , с вероятностью P_i^{EO} направляется в очередь NO .
$\theta(EO_i, EO_i) = 1 - P_i^{EO} - P_i^{ex}$	С вероятностью $1 - P_i^{EO} - P_i^{ex}$ обслуженные заявки из очереди EO_i становятся внутренними заявками, т.е. направляются на повторное обслуживание.
$\theta(EI_i, A_{ij}) = P_{ij}^{AI}$	Обслуженная заявка из очереди EI_i с вероятностью P_{ij}^{AI} посылается агенту A_{ij} , а с вероятностью P_{i0}^{AI} поступает для дальнейшей обработки в очередь EO_i .
$\theta(EI_i, EO_i) = P_{i0}^{AI}$	
$\theta(AO_{ij}, EO_i) = P_{ij}^F$	После анализа внутренних и внешних уведомлений, которые накапливаются в очереди AO_{ij} агента A_{ij} , в очередь EO_i подсистемы EMS_i передается только часть обработанных уведомлений, определяемая вероятностью P_{ij}^F .
$\theta(AO_{ij}, out) = 1 - P_{ij}^F$	
$\theta(AI_{ij}, QE_{ij}) = P_{ij}^{NE}$	Результаты обработки команды (директивы), принятой агентом A_{ij} , с вероятностью P_{ij}^{NE} получает объект управления, т.е. сетевой элемент NE_{ij} , а с дополнительной вероятностью $1 - P_{ij}^{NE}$ обработка команды завершается посылкой внутреннего уведомления в выходную очередь AO_{ij} этого агента.
$\theta(AI_{ij}, AO_{ij}) = 1 - P_{ij}^{NE}$	
$\theta(QE_{ij}, AO_{ij}) = 1$	Процессор ОМР после обработки каждой заявки отправляет соответствующее уведомление в очередь AO_{ij} .

Маршрутную матрицу часто называют дискретной топологической характеристикой СеМО [8], и при анализе сети очередей она играет ключевую роль. В частности, с учетом ненулевых элементов маршрутной матрицы из таблицы 1 несложно записать следующую систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), которые выражают условия глобального равновесия для СеМО в целом:

$$\left. \begin{aligned}
 \lambda_{NI} &= \lambda_{NMS} + P'_{NO} \lambda_{NO} \\
 \lambda_{NO} &= P_0^{EI} \lambda_{NI} + \sum_{i=1}^m P_i^{EO} \lambda_i^{EO} \\
 \lambda_i^{EI} &= \lambda_i^{EMS} + P_i^{EI} \lambda_{NI} + (1 - P_i^{EO} - P_i^{ex}) \lambda_i^{EO} \\
 \lambda_i^{EO} &= P_{i0}^{AI} \lambda_i^{EI} + \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij}^F \lambda_{ij}^{AO} \\
 \lambda_{ij}^{AI} &= P_{ij}^{AI} \lambda_i^{EI} \\
 \lambda_{ij}^{AO} &= \lambda_{ij}^{QE} + (1 - P_{ij}^{NE}) \lambda_{ij}^{AI} \\
 \lambda_{ij}^{QE} &= \lambda_{ij}^{NE} + \lambda_{ij}^{HMI} + P_{ij}^{NE} \lambda_{ij}^{AI}
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В дополнение к параметрам из табл. 1 в этой СЛАУ присутствуют интенсивности λ_{NMS} , λ_i^{EMS} , λ_{ij}^{NE} и λ_{ij}^{HMI} , которые характеризуют потоки заявок от внешних источников, относящихся к разным уровням рассматриваемой СУСС (рис. 2).

Дальнейшие действия включают в себя:

1) решение полученной СЛАУ, что позволяет найти для каждой очереди в составе рассматриваемой СеМО полную интенсивность входного потока заявок;

2) независимый анализ отдельных СМО, что соответствует хорошо известному принципу декомпозиции, который широко применяется для исследования сложных систем, описываемых с помощью сети очередей [9, 10].

Сформулированный подход более подробно проиллюстрируем на примере полностью однородной структуры СУСС, т.е. $n_i = n = const$ при всех $i = \overline{1, m}$. Также предполагается, что все однотипные структурные элементы системы имеют одинаковые значения функциональных параметров: $P_i^{EI} = P_{EI}$, $P_i^{EO} = P_{EO}$, $P_i^{ex} = P_{ex}$, $P_{ij}^{AI} = P_{AI}$, $P_{ij}^{AO} = P_{AO}$, $P_{ij}^F = P_F$, $P_{ij}^{NE} = P_{NE}$, $\lambda_i^{EMS} = \lambda_{EMS}$, $\lambda_{ij}^{NE} = \lambda_{NE}$, $\lambda_{ij}^{HMI} = \lambda_{HMI}$ при любых $i = \overline{1, m}$ и $j = \overline{1, n}$.

В этом случае систему уравнений (1) можно записать в матричной форме: $\mathbf{GX} = \mathbf{B}$, где

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 & -P'_{NO} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -P_0^{EI} & 1 & 0 & -mP_{EO} & 0 & 0 & 0 \\ -P_{EI} & 0 & 1 & -(1 - P_{EO} - P_{ex}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -P_0^{AI} & 1 & 0 & -nP_F & 0 \\ 0 & 0 & -P_{AI} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -(1 - P_{NE}) & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -P_{NE} & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \lambda_{NI} \\ \lambda_{NO} \\ \lambda_{EI} \\ \lambda_{EO} \\ \lambda_{AI} \\ \lambda_{AO} \\ \lambda_{QE} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} \lambda_{NMS} \\ 0 \\ \lambda_{EMS} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_{NE} + \lambda_{HMI} \end{pmatrix}.$$

Отсюда легко получить численное решение СЛАУ методом обратной матрицы:

$$\mathbf{X} = \mathbf{G}^{-1}\mathbf{B}. \quad (2)$$

4. Локальные характеристики процесса функционирования СУСС

Принцип декомпозиции открывает широкие возможности для анализа СеМО с применением многочисленных теоретических результатов в классе однолинейных СМО. В частности, при самых простых предположениях относительно процесса обслуживания поступающих заявок отдельным элементом СеМО может использоваться модель СМО типа $M/M/1/\infty$, как это сделано в работе [7]. Более сложная ситуация, когда поступающие в СУСС внешние запросы неоднородны по важности для задач управления сетью связи и требуется применять дисциплины приоритетного обслуживания, исследована в работах [11, 12].

Влияние отказов, возникающих в элементах СУСС, на степень ухудшения качества функционирования исследуемой системы можно оценить с помощью теоретических результатов, представленных в [13]. Здесь построена модель однолинейной СМО с бесконечным входным буфером при условии, что поступающие заявки образуют простейший поток с интенсивностью λ и имеют длительность обслуживания, которая распределена по экспоненциальному закону с параметром μ . Дополнительно вводится фактор ограниченной надежности

обслуживающего устройства, причем это может проявляться как в свободном состоянии, так и при занятом устройстве.

В рассматриваемом случае принимаются во внимание следующие показатели надежности: коэффициент готовности k_T и средняя длительность простоя τ_{Π} . Среднее значение полного времени, в течение которого заявка пребывает в СМО (включая дообслуживание, возникающее после устранения отказа в обслуживаемом устройстве), определяется из соотношения

$$w = T_{\text{д}} = \frac{1}{\mu_3 - \lambda} (1 + \mu_3 k_{\Pi} \tau_{\Pi}), \quad (3)$$

где $\mu_3 = k_T \mu$; $k_{\Pi} = 1 - k_T$. После применения формулы (2) становятся известными значения компонентов вектор-столбца X , и тогда с помощью соотношения (3) можно вычислить указанную характеристику w_k для любой k -й очереди в составе рассматриваемой СеМО, т.е. при $k \in \{NI, NO, EI, EO, AI, AO, QE\}$.

5. Оценка комплексных показателей качества функционирования СУСС

Оперативность исследуемой СУСС проявляется как скорость ее реакции в процессе человеко-машинного взаимодействия и характеризуется средней длительностью интервала времени от момента ввода в систему внешнего запроса (или команды управления) до момента получения оператором ответного сообщения (или уведомления о выполнении команды). Оценка указанного показателя связана с вычислением среднего времени пребывания заявки в пределах рассматриваемой СеМО. При этом простое суммирование значений, найденных с помощью выражения (3), не является допустимым, поскольку разные заявки отличаются своими маршрутами движения по сети, причем нельзя утверждать, что любая заявка обязательно попадает в каждую очередь всего один раз.

Суммарная интенсивность (λ_{total}) общего потока заявок, входящих в систему, равна сумме интенсивностей внешних потоков для отдельных очередей:

$$\lambda_{total} = \lambda_{NMS} + m(\lambda_{EMS} + n\lambda_{EOM}), \quad (4)$$

где $\lambda_{EOM} = \lambda_{NE} + \lambda_{HMI}$ – средняя интенсивность внешних обращений к одному процессору ОМР.

Тогда согласно формуле Литтла среднее значение общего времени нахождения произвольной внешней заявки в пределах рассматриваемой СУСС рассчитывается как

$$W_{total} = \frac{L_{total}}{\lambda_{total}} = \frac{\sum_k \lambda_k w_k}{\lambda_{NMS} + m(\lambda_{EMS} + n\lambda_{EOM})}. \quad (5)$$

Также представляет интерес оценка скорости реакции исследуемой системы TMN по отношению к отдельным потокам внешних заявок. Для примера рассмотрим заявки, приходящие во входную очередь NI подсистемы NMS, которая выполняет поддержку функций главного центра управления сетью связи (ГЦУСС). Обработка команд управления, поступающих от персонала ГЦУСС, последовательно осуществляется на разных уровнях анализируемой системы TMN с участием подсистем NMS и EMS, а также агента и средств технического обслуживания сетевого элемента (NE). С учетом возможных траекторий (маршрутов) перемещения заявок по отдельным фазам обслуживания можем получить среднее значение времени реакции:

$$W_{NMS} = w_{NI} + w_{NO} + (1 - P_0^{EI}) \left[w_{EI} + w_{EO} + (1 - P_0^{AI}) (w_{AI} + w_{AO} + P_{NE} w_{QE}) \right].$$

6. Результаты численных расчетов

Контрольные расчеты проведены для случая однородной структуры СУСС при $m = n = 5$. Параметры системы, которые в ходе расчетов оставались неизменными, принимали следующие значения [7]:

- интенсивности внешних заявок: $\lambda_{NE} = \lambda_{HMI} = 0.105$; $\lambda_{EMS} = 0.07$;
- вероятности распределения заявок:
 $P_{NO} = 0.99$; $P_0^{EI} = P_0^{AI} = 0.1$; $P_{EI} = (1 - P_0^{EI}) / m = 0.18$; $P_{EO} = P_{NE} = 0.5$; $P_{ex} = 0.49$;
 $P_{AI} = (1 - P_0^{AI}) / n = 0.18$; $P_F = 0.9$;
- интенсивности обслуживания заявок:
 $\mu_{NI} = \mu_{NO} = \mu_{EI} = \mu_{EO} = 2.85$; $\mu_{AI} = 4.1$; $\mu_{AO} = 2.15$; $\mu_{QE} = 7.3$.

Рассмотрим случай, когда коэффициент готовности на первом уровне системы управления, т.е. на уровне управления всей сетью (NMS), имеет значение $k_r = 0.996$ (линия Trace1a на рис. 3) и $k_r = 0.992$ (линия Trace1b на рис. 3), а значение коэффициента готовности на остальных уровнях (уровень EMS, уровень агентов, уровень АТМ-коммутираторов) будет равным 1.

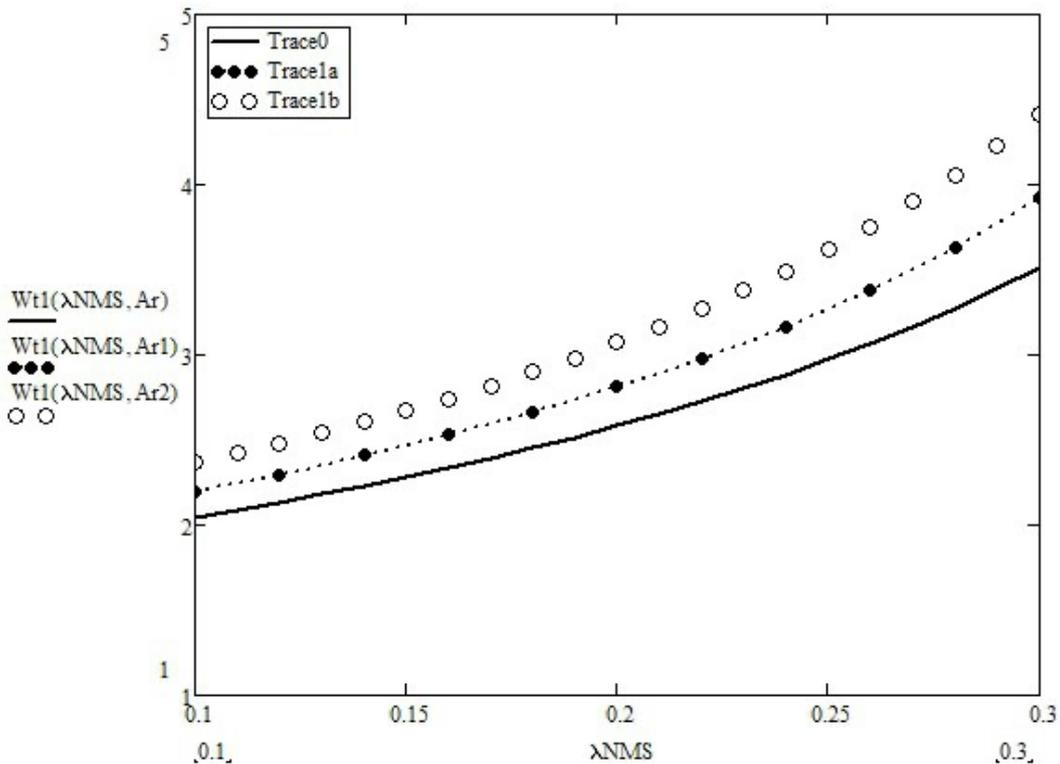


Рис. 3. Зависимость среднего времени реакции СУСС от интенсивности поступающих запросов

Анализ рис. 3 показал, что коэффициент готовности элементов системы, занимающихся обработкой поступающих запросов, значительно влияет на конечные задержки в системе. Так, линия Trace0 построена для идеально надежной системы, т.е. у всех её элементов $k_r = 1$. При уменьшении коэффициента готовности до 0.992 в системе наблюдается рост времени нахождения заявки в очереди. При этом с увеличением интенсивности запросов λ_{NMS} рост времени нахождения заявки в очереди изменяется нелинейно. Так, при $\lambda_{NMS} = 0.1$ время задержки увеличивается на 15 %, а при $\lambda_{NMS} = 0.3$ – на 25 %.

Если значение коэффициента готовности на других уровнях, т.е. на уровне EMS, уровне агента и уровне коммутатора, будет иметь значение меньше единицы, то по рис. 4 можно сделать вывод, что система почти близка к идеальной, а время реакции системы практически не отличается.

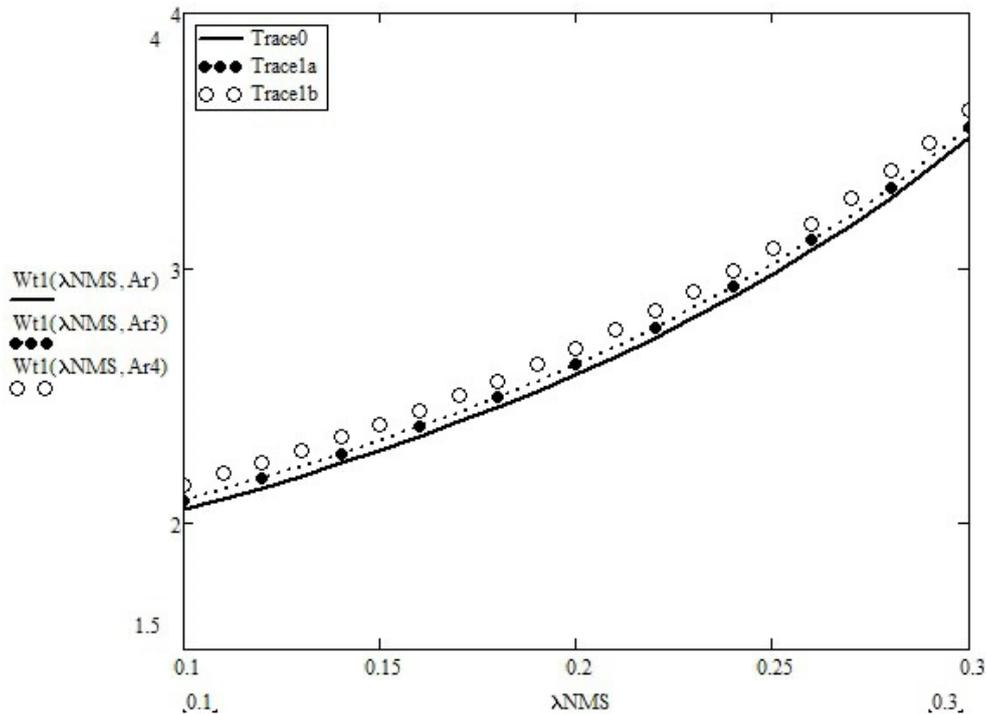


Рис. 4. Зависимость среднего времени реакции СУСС от интенсивности поступающих запросов

При дальнейших изменениях коэффициента готовности для различных элементов системы, за исключением NMS, получаются практически аналогичные результаты. Это связано с тем, что в условиях практически идеальной надежности главенствующей системы сложно пронаблюдать какие-либо тенденции при ухудшении надежности связующих и конечных элементов.

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что даже при незначительном понижении коэффициента готовности элементов системы NMS относительно идеальной надежности время задержки обслуживания поступающих заявок заметно растет.

7. Заключение

Основным результатом проведенного исследования является построение математической модели иерархической системы управления сетью связи. Модель использует аппарат сетей массового обслуживания, что обеспечивает наибольшее соответствие особенностям изучаемого объекта, при этом учитываются отказы, возникающие в элементах системы управления.

На основании проведенных расчетов показано влияние элементов СУСС на качество функционирования исследуемой системы.

Литература

1. *Гребешков А. Ю.* Стандарты и технологии управления сетями связи. М.: Эко-Трендз, 2003. 288 с.
2. *Дымарский Я. С., Крутякова Н. П., Яновский Г. Г.* Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи. М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. 384 с.
3. *Райли Д., Кринер М.* NGOSS: Построение эффективных систем поддержки и эксплуатации сетей для оператора связи. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. 192 с.
4. *Самуйлов К. Е., Чукарин А. В., Яркина Н. В.* Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении телекоммуникационными компаниями. М.: Альпина Паблицерз, 2009. 442 с.
5. *Костин А. А.* Модель системы интегрированного управления телекоммуникационными сетями и услугами // *Электросвязь*. 2002. № 10. С. 22–26.
6. *Мочалов В. П.* Теоретические основы разработки и анализ вероятностно-временных характеристик распределенных систем управления телекоммуникационными сетями и услугами. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 365 с.
7. *Hwang Y. H., Chung S. W., Lee G.-H., Kim Y. I.* A Performance Analysis of TMN Systems Using Models of Networks of Queues, Jackson's Theorem, and Simulation // *ETRI Journal*. October 2002. V. 24, № 5. P. 381–390.
8. *Башарин Г. П., Бочаров П. П., Коган Я. А.* Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 336 с.
9. *Kühn P.* Analysis of Complex Queuing Networks by Decomposition // *Congress book, 8th International Teletraffic Congress, Melbourne*. 1976. V. 1. P. 236/1–236/8.
10. *Kuehn P.* Approximate Analysis of General Queuing Networks by Decomposition // *IEEE Trans. on Commun.* 1979. V. 27, № 1, P. 113–126.
11. *Мейкшан В. И.* Анализ приоритетных дисциплин обслуживания в иерархической системе управления сетями связи // *Вестник СибГУТИ*. 2013. № 4. С. 21–34.
12. *Мейкшан В. И.* К вопросу анализа дисциплины приоритетного обслуживания при многоуровневом управлении сетями связи // *Доклады Академии наук высшей школы РФ*. 2016. № 1 (30). С. 73–83.
13. *Захаров Г. П.* Методы исследования сетей передачи данных. М.: Радио и связь, 1982. 208 с.

Мейкшан Владимир Иванович

д.т.н., профессор кафедры инфокоммуникационных систем и сетей, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ, 630102, Новосибирск, ул. Кирова, д. 86), тел. +7 383 2698 242, e-mail: meikshanvi@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9834-5346.

Лизнева Юлия Сергеевна

к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных систем и сетей, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ, 630102, Новосибирск, ул. Кирова, д. 86), тел. +7 383 2698 242, e-mail: ktm5r@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-9746-7413.

Ростова Елена Владимировна

старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных систем и сетей, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ, 630102, Новосибирск, ул. Кирова, д. 86), тел. +7 383 2698 242, e-mail: rostova@sibguti.ru, ORCID ID: 0009-0007-9293-7106.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

Analysis of Hierarchical Communication Network Management System with Limited Reliability of System Elements

Vladimir I. Mejkshan, Yulia S. Lizneva, Elena V. Rostova

Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS)

Abstract: The mathematical apparatus of the queuing networks theory is used when analyzing the hierarchical control system of communication networks. The peculiarity and scientific novelty of the constructed model lies in the fact that the limited reliability of the system elements is taken into account. The presented results of numerical calculations demonstrate the influence of the availability coefficient of the control system elements on the indicators characterizing the time of the system's reaction upon requests related to the maintenance and operation of network facilities.

Keywords: communication networks, control system, request queues, priorities, average response time.

For citation: Mejkshan V. I., Lizneva Yu. S., Rostova E. V. Analysis of a hierarchical communication network management system with limited reliability of system elements (in Russian). *Vestnik SibGUTI*, 2024, vol. 18, no. 2, pp. 32-42. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2024-18-2-32-42>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Mejkshan V. I., Lizneva Yu. S.,
Rostova E. V., 2024

The article was submitted: 24.11.2023;
accepted for publication 24.12.2023.

References

1. Grebeshkov A. Yu. *Standarty i tekhnologii upravleniya setyami svyazi* [Communication network management standards and technologies]. Moscow, Eko-Trendz, 2003, 288 p.
2. Dymarskiy YA. S., Krutyakova N. P., Yanovskiy G. G. *Upravlenie setyami svyazi: principy, protokoly, prikladnye zadachi* [Communication network management: principles, protocols, applications]. Moscow, ITC «Mobil'nye kommunikacii», 2003, 384 p.
3. Rajli D., Kriner M. *NGOSS: Postroenie effektivnyh sistem podderzhki i ekspluatatsii setej dlya operatora svyazi* [NGOSS: Building effective network support and operation systems for telecom operators]. Moscow, Al'pina Biznes Buks, 2007, 192 p.
4. Samujlov K. E., Chukarin A. V., Yarkina N. V. *Biznes-processy i informacionnye tekhnologii v upravlenii telekommunikacionnymi kompaniyami* [Business processes and information technologies in the management of telecommunications companies]. Moscow, Al'pina Pablisherz, 2009, 442 p.
5. Kostin A.A. Model' sistemy integrirovannogo upravleniya telekommunikacionnymi setyami i uslugami [Model of an integrated management system for telecommunication networks and services]. *Elektrosvyaz'*, no. 10, 2002, pp. 22-26.
6. Mochalov V. P. *Teoreticheskie osnovy razrabotki i analiz veroyatnostno-vremennyh harakteristik raspredelennyh sistem upravleniya telekommunikacionnymi setyami i uslugami* [Theoretical foundations for the development and analysis of probabilistic-time characteristics of distributed control systems for telecommunication networks and services]. Moscow, FIZMATLIT, 2006, 365p.

7. Hwang Y. H., Chung S. W., Lee G.-H., Kim Y. I. A Performance Analysis of TMN Systems Using Models of Networks of Queues, Jackson's Theorem, and Simulation. *ETRI Journal*, vol. 24, no. 5, October 2002, pp.381-390.
8. Basharin G.P., Bocharov P.P., Kogan Ya.A. *Analiz ocheredej v vychislitel'nyh setyah. Teoriya i metody rascheta* [Analysis of queues in computer networks. Theory and calculation methods]. Moscow, Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1989, 336 p.
9. Kühn P. Analysis of Complex Queuing Networks by Decomposition. Congress book, 8th International Teletraffic Congress, Melbourne, 1976, vol. 1, pp. 236/1–236/8.
10. Kuehn P. Approximate Analysis of General Queuing Networks by Decomposition. *IEEE Trans. on Commun.*, 1979, vol. 27, no. 1, pp. 113–126.
11. Mejkshan V. I. *Analiz prioritnyh disciplin obsluzhivaniya v ierarhicheskoj sisteme upravleniya setyami svyazi* [Analysis of priority service disciplines in a hierarchical communication network management system]. *Vestnik SibGUTI*, 2013, no. 4, pp. 21-34.
12. Mejkshan V. I. K voprosu analiza discipliny prioritetnogo obsluzhivaniya pri mnogourovnevom upravlenii setyami svyazi [On the issue of analyzing the priority service discipline in multi-level management of communication networks]. *Doklady Akademii nauk vysshej shkoly RF*, 2016, no.1 (30), pp. 73-83.
13. Zaharov G.P. *Metody issledovaniya setej peredachi dannyh* [Methods for studying data networks], Moscow, Radio i svyaz', 1982, 208 p.

Vladimir I. Mejkshan

Dr. of Sci. (Engineering), Professor; Professor of the Department of Infocommunication Systems and Networks, Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS, Russia, 630102, Novosibirsk, Kirov St. 86), phone: +7 383 2698 242, e-mail: meikshanvi@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9834-5346.

Yulia S. Lizneva

PhD (Engineering), Associate Professor; Associate Professor of the Department of Infocommunication Systems and Networks, Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS, Russia, 630102, Novosibirsk, Kirov St. 86), phone: +7 383 2698 242, e-mail: ktm5r@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-9746-7413.

Elena V. Rostova

Senior lecturer of the Department of Infocommunication Systems and Networks, Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS, Russia, 630102, Novosibirsk, Kirov St. 86), phone: +7 383 2698 242, e-mail: rostova@sibguti.ru, ORCID ID: 0009-0007-9293-7106.