

Анализ приоритетных дисциплин обслуживания в иерархической системе управления сетями связи

В.И. Мейкшан

При математическом моделировании многоуровневой системы управления сетями связи рассматривается сеть очередей заявок. С использованием этой модели получены формулы для вычисления среднего времени реакции (ответа) системы на внешние команды управления, поступающие при выполнении задач технического обслуживания и эксплуатации сети. Для иллюстрации возможностей предлагаемой методики, которая учитывает разную степень важности (приоритеты) управляющих команд, проведены численные расчёты и дан анализ полученных результатов.

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

1. Введение

Широко распространённая концепция TMN, которая рекомендована Сектором телекоммуникаций Международного союза электросвязи (ITU-T), является фактическим стандартом управления современными сетями связи [1, 2]. Эта концепция, основанная на принципах построения открытых систем (OSI), предполагает постоянное взаимодействие между менеджерами и агентами с использованием стандартных протоколов информационного обмена. Менеджер формирует и отправляет агентам запросы (с целью получения информации об управляемых объектах), а также команды (для реализации управляющих воздействий). Агенты анализируют команды, полученные от менеджера, и выполняют соответствующие действия, направленные на управление физическими объектами или логическими ресурсами сети. В случае необходимости, агенты могут также посылать уведомления, которые являются ответной реакцией на команды менеджера или обусловлены определёнными событиями, происходящими в процессе функционирования объекта управления (например, нарушения в работе оборудования).

При управлении крупномасштабными сетями связи система эксплуатационной поддержки (Operation Support System – OSS) обычно имеет иерархическую структуру с несколькими уровнями. Эта структура характеризуется следующими особенностями [1, 2]:

- каждый элемент сети (Network Element — NE) снабжается собственным агентом для выполнения функций непосредственного управления;
- управление отдельной группой элементов сети осуществляет подсистема EMS (Element Management System) — менеджер для фрагмента сети (домена);
- функции управления всей сетью возлагаются на подсистему NMS (Network Management System), которая относится к самому верхнему уровню.

Проблема анализа качества функционирования систем OSS изучалась отечественными и зарубежными авторами [3, 4, 7 – 9]. Первоначально эти исследования ограничивались, как правило, отдельными частными задачами при сравнительно простых вариантах структуры системы управления сетью связи (СУСС). Однако реальные системы OSS,

в большинстве случаев, состоят из многих независимых подсистем, причём каждая из них играет достаточно важную роль в работе всей системы. По этой причине анализ работы системы OSS должен охватывать все подсистемы, такие как NMS, несколько EMS, агенты и другие встроенные средства программного управления для каждого элемента в составе сетевых ресурсов.

Применительно к многоуровневой архитектуре, которая полностью соответствует требованиям концепции TMN, комплексная модель СУСС в классе сетей массового обслуживания (СеМО) построена в [7]. В данной статье предлагается развитие этой модели на случай, когда запросы, поступающие в систему, неоднородны по степени их важности для задач управления, т.е. характеризуются разными приоритетами.

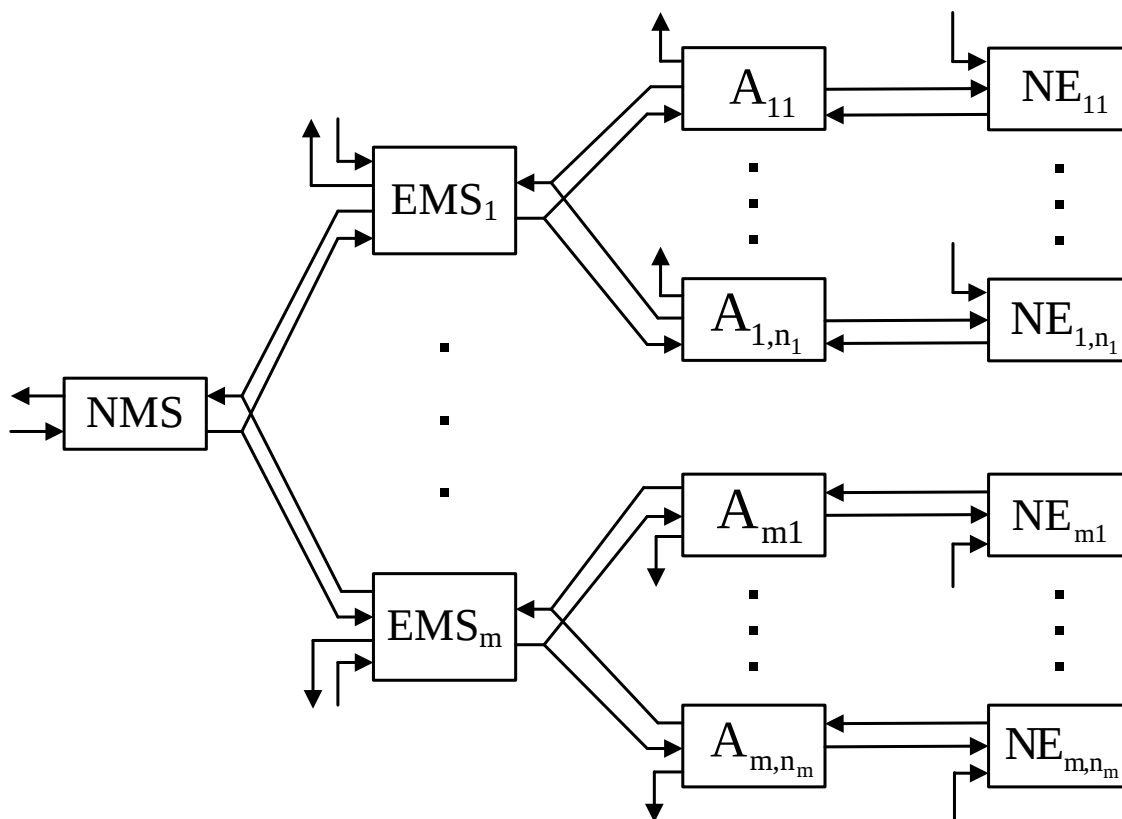


Рис. 1. Модель системы OSS в виде сети СМО

2. Сеть очередей как функциональная модель системы OSS

В общем виде сеть очередей (СеМО), с помощью которой моделируется работа исследуемой системы OSS, показана на рис. 1. В дальнейшем при более подробном рассмотрении отдельных элементов представленной модели будут использоваться следующие обозначения:

- NI и NO — входная и выходная очереди подсистемы NMS, которая установлена в главном центре управления сетью связи (ГЦУСС);
- EI_i и EO_i — входная и выходная очереди подсистемы EMS_i , которая установлена в одном из региональных центров управления (РЦУСС) и охватывает i -й фрагмент (домен) сети связи ($i = \overline{1, m}$);
- AI_{ij} и AO_{ij} — входная и выходная очереди 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) в составе элемента сети NE_{ij} , который находится

под управлением подсистемы EMS_i ($i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n_i}$).

В подсистеме NMS (рис. 2) входная очередь NI принимает два вида заявок, требующих обслуживания:

- 1) команды управления от персонала, который находится в ГЦУСС и имеет доступ к подсистеме NMS (интенсивность этого потока внешних заявок равна λ_{NMS});
- 2) внутренние заявки, которые с вероятностью $P'_{NO} = 1 - P_{NO}$ возникают в самой NMS после обработки заявки из очереди NO (например, реакция на уведомления от EMS).

С вероятностью P_i^{EI} ($i = \overline{1, m}$) заявки из очереди NI после обработки в NMS направляются в подсистему EMS_i , а с вероятностью P_0^{EI} обслуженная заявка из этой очереди замыкается в пределах NMS, т.е. переходит в очередь NO. Вполне естественно, что при этом выполняется условие $\sum_i P_i^{EI} = 1$.

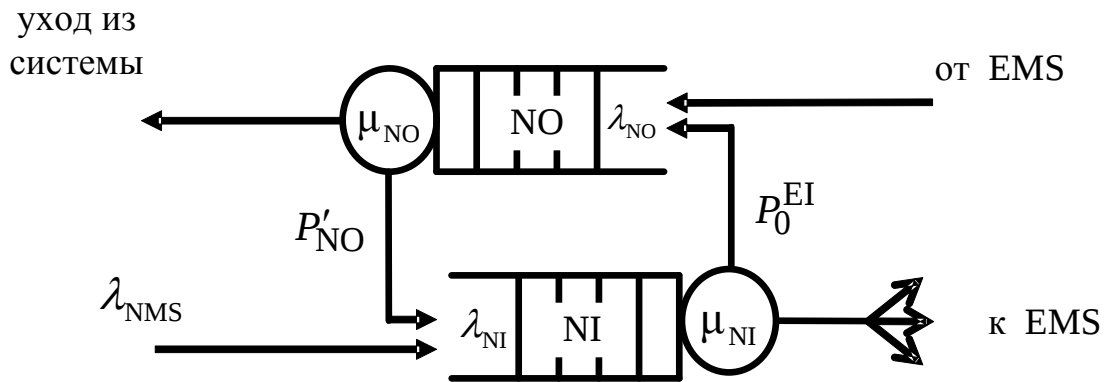


Рис. 2. Функциональная модель подсистемы NMS

Выходная очередь (NO) в подсистеме NMS имеет дело с уведомлениями, которые поступают от подсистем EMS или порождаются обслуженными заявками из очереди NI. После обработки в NMS такая заявка с вероятностью P_{NO} уходит из сети очередей, а с вероятностью P'_{NO} происходит возврат заявки во входную очередь NI для повторной обработки.

Входная очередь (EI_i) в подсистеме EMS_i (рис. 3) может содержать три типа заявок на обслуживание:

- 1) внешние команды, поступающие с интенсивностью λ_i^{EMS} от персонала, который размещается в РЦУСС и имеет доступ к средствам EMS_i ;
- 2) внешние заявки от подсистемы NMS;
- 3) внутренние заявки, которыми с вероятностью $1 - P_i^{EO} - P_i^{ex}$ становятся обслуженные заявки из очереди EO_i .

С вероятностью P_{ij}^{AI} ($j = \overline{1, n_i}$) обслуженная заявка из очереди EI_i посылается агенту A_{ij} , который находится под управлением подсистемы EMS_i , а с вероятностью P_{i0}^{AI} ($i = \overline{1, m}$) такая заявка поступает в очередь EO_i для дальнейшей обработки. При этом соблюдается равенство $\sum_i P_{ij}^{AI} = 1$.

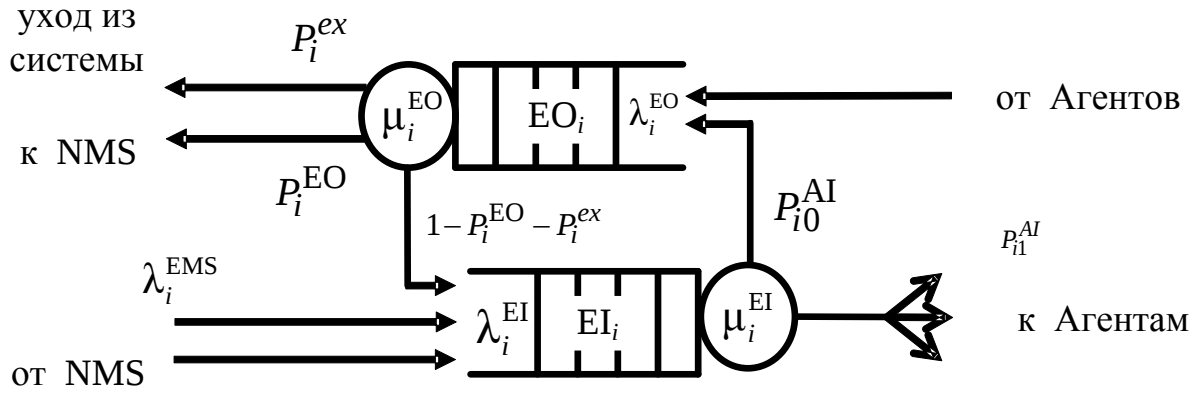


Рис. 3. Функциональная модель подсистемы EMS

Выходная очередь (EO_i) в подсистеме EMS_i предназначена для приёма заявок в виде уведомлений, приходящих от агентов или возникающих в результате обслуживания команд из очереди EI_i . После обработки этих заявок возможны следующие варианты (с соответствующими вероятностями P_i^{EO} , P_i^{ex} и $1 - P_i^{EO} - P_i^{ex}$):

- 1) заявка будет направлена в очередь NO ;
- 2) заявка покидает сеть очередей;
- 3) заявка посылается обратно в очередь EI_i для повторной обработки.

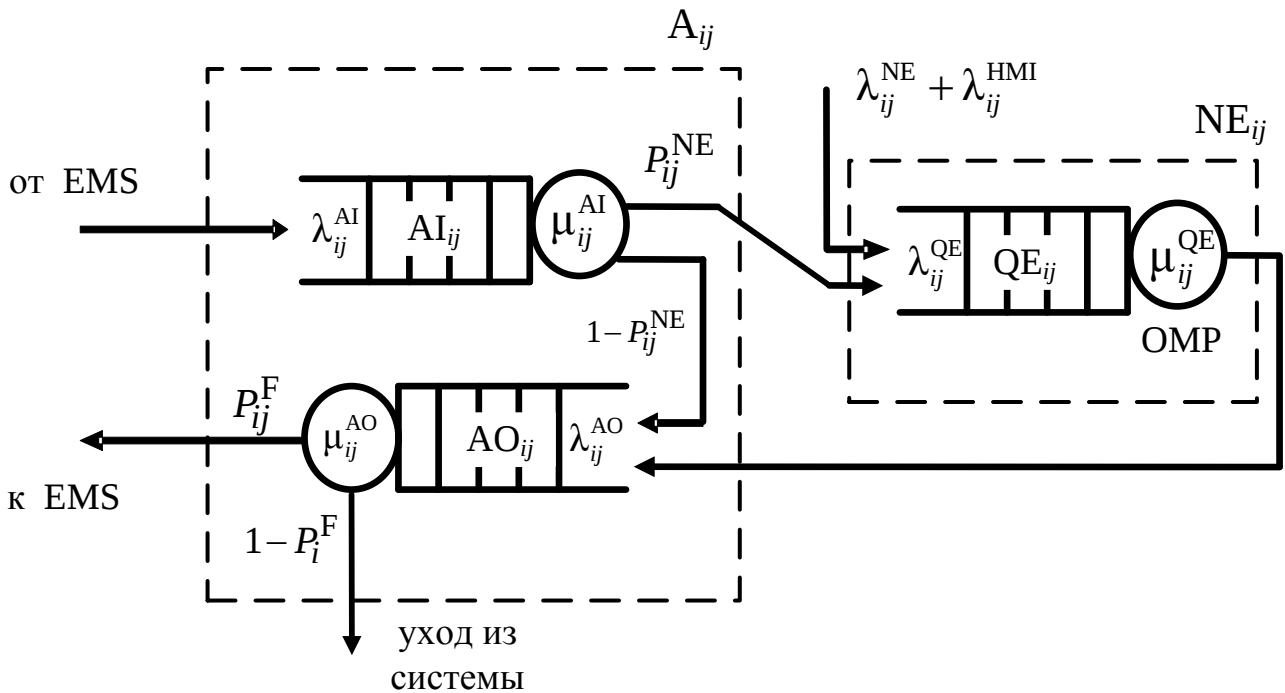


Рис. 4. Функциональная модель подсистемы «агент – объект управления (A&NE)»

Для каждого агента (рис. 4) источником управляющих директив является только соответствующая подсистема EMS. В случае агента A_{ij} , который находится под управлением подсистемы EMS_i , поступающие команды образуют очередь AI_{ij} . С вероятностью P_{ij}^{NE} обработанные команды пересылаются объекту управления, т.е. элементу сети NE_{ij} , который непосредственно подчиняется рассматриваемому агенту. С дополнительной вероятностью

$1 - P_{ij}^{NE}$ обработка команды завершается посылкой внутреннего уведомления в выходную очередь (AO_{ij}) этого агента. Кроме того, каждый агент может принимать внешние уведомления от своего объекта управления (например, как результат успешного выполнения отправленных ранее команд).

При анализе (обработке) внутренних и внешних уведомлений, которые накапливаются в очереди AO_{ij} , агент A_{ij} выполняет функции агрегирования (объединения) и фильтрации полученных данных. Как следствие, подсистеме EMS_i будет передана только часть обработанных уведомлений, определяемая вероятностью P_{ij}^F .

При рассмотрении сетевого элемента NE_{ij} можно выделить следующие виды заявок, обработку которых осуществляет процессор ОМР в составе этого элемента:

- 1) от агента A_{ij} (т.е. из очереди AI_{ij});
- 2) от внутренних процессов, которые управляют основными функциями элемента сети и с интенсивностью λ_{ij}^{NE} формируют поток аварийных сообщений (если обнаруживаются отклонения от правильного выполнения этих функций);
- 3) от внешних источников, которые при проведении операций административно-технического управления получают через средства интерфейса «человек – машина» (Human-Machine Interface — HMI) прямой доступ к оборудованию NE_{ij} , создавая поток с интенсивностью λ_{ij}^{HMI} .

После обработки всех этих заявок процессором ОМР соответствующие уведомления посылаются в очередь AO_{ij} .

3. Оценка показателей качества функционирования системы OSS

В пределах построенной СеМО (рис. 1) заявки по разным траекториям перемещаются из одной очереди в другую. Если заданы интенсивности поступления внешних заявок (λ_{NMS} , λ_i^{EMS} , λ_{ij}^{NE} и λ_{ij}^{HMI}), а также известны коэффициенты распределения команд и уведомлений между отдельными элементами системы OSS (P_{NO} , P_i^{EI} , P_i^{EO} , P_i^{ex} , P_{ij}^{AI} , P_{ij}^{NE} и P_{ij}^F), то несложно записать следующие формулы, которые позволяют найти полную интенсивность входного потока для каждой очереди в составе рассматриваемой СеМО:

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

Равенства (1), которые выражают условия глобального равновесия для СеМО в целом, образуют систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных λ_{NI} ,

$$\lambda_{NO}, \{ \lambda_i^{EI}, \lambda_i^{EO} : i = \overline{1, m} \}, \{ \lambda_{ij}^{AI}, \lambda_{ij}^{AO}, \lambda_{ij}^{QE} : i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n_i} \}.$$

Пусть в отношении каждой очереди действуют следующие предположения: 1) интервалы времени между поступающими заявками независимы друг от друга и распределены по экспоненциальному закону (т.е. входной поток заявок — пуассоновский); 2) случайное время обработки заявки также имеет экспоненциальное распределение; 3) обработку заявок осуществляет одно обслуживающее устройство; 4) длина очереди не ограничена.

Следовательно, построенная СеМО состоит из независимых СМО типа $M/M/1$. В этом случае появляется возможность с помощью основных положений теоремы Джексона [5] получить явные формулы, которые позволяют произвести расчёт показателей качества функционирования системы OSS.

Прежде всего, после решения системы уравнений (1) для любой заявки, которая в процессе обработки системой OSS попадает в k -ю очередь ($k=NI, NO, \dots$), можно по формуле Литтла определить среднее время пребывания этой заявки на соответствующей фазе обслуживания:

$$w_k = \frac{1}{\mu_k - \lambda_k},$$

где μ_k — интенсивность обслуживания для k -й очереди.

Для внешних запросов, поступающих через ГЦУСС (подсистема NMS), скорость реакции исследуемой системы OSS будем измерять длительностью интервала времени, который начинается от момента ввода в систему команды управления и завершается моментом получения ответного сообщения оператором NMS. Обработка команды управления может последовательно осуществляться на разных уровнях анализируемой системы OSS с участием подсистем NMS и EMS, а также агента и средств технической эксплуатации конкретного элемента сети (NE). Поэтому, с учётом разных маршрутов (траекторий) движения заявок по отдельным фазам обслуживания, среднее значение времени реакции равно:

$$W_{NMS} = w_{NI} + w_{NO} + \sum_{i=1}^m P_i^{EI} \left[w_i^{EI} + w_i^{EO} + \sum_{j=1}^{n_i} P_{ij}^{AI} (w_{ij}^{AI} + w_{ij}^{AO} + P_{ij}^{NE} w_{ij}^{QE}) \right].$$

Важным обстоятельством является то, что показатель W_{NMS} позволяет анализировать качество функционирования всей системы OSS, а не отдельных элементов, входящих в состав системы.

Особый интерес представляет система OSS при полностью однородной структуре, когда $n_i = n = \text{const}$ для всех $i = \overline{1, m}$. Кроме того, можно предположить, что значения функциональных параметров для всех однотипных элементов исследуемой системы управления являются эквивалентными: $\lambda_i^{EMS} = \lambda_{EMS}$, $P_i^{EI} = P_{EI}$, $\mu_i^{EI} = \mu_{EI}$, $P_i^{EO} = P_{EO}$, $P_i^{ex} = P_{ex}$, $\mu_i^{EO} = \mu_{EO}$ при любом $i = \overline{1, m}$; $P_{ij}^{AI} = P_{AI}$, $\mu_{ij}^{AI} = \mu_{AI}$, $P_{ij}^{AO} = P_{AO}$, $P_{ij}^F = P_F$, $\mu_{ij}^{AO} = \mu_{AO}$, $\lambda_{ij}^{NE} = \lambda_{NE}$, $\lambda_{ij}^{HMI} = \lambda_{HMI}$, $P_{ij}^{NE} = P_{NE}$, $\mu_{ij}^{QE} = \mu_{QE}$ при любых $i = \overline{1, m}$ и $j = \overline{1, n_i}$. Хотя в общем случае такое предположение не всегда соответствует реальным условиям применения действующих систем управления сетями связи, оно существенно упрощает задачу построения демонстрационного примера, чтобы проиллюстрировать потенциальные возможности рассматриваемой методики анализа качества функционирования системы OSS.

При указанных условиях система уравнений (1) преобразуется к следующему виду:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{NI} &= \lambda_{NMS} + P'_{NO} \lambda_{NO} \\ \lambda_{NO} &= P_0^{EI} \lambda_{NI} + m P_{EO} \lambda_{EO} \\ \lambda_{EI} &= \lambda_{EMS} + P_{EI} \lambda_{NI} + P_{EMS} \lambda_{EO} \\ \lambda_{EO} &= P_0^{AI} \lambda_{EI} + n P_F \lambda_{AO} \\ \lambda_{AI} &= P_{AI} \lambda_{EI} \\ \lambda_{AO} &= \lambda_{QE} + P'_{NE} \lambda_{AI} \\ \lambda_{QE} &= \lambda_{EOM} + P_{NE} \lambda_{AI} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $P'_{NE} = 1 - P_{NE}$, $P_{EMS} = 1 - P_{EO} - P_{ex}$, $\lambda_{EOM} = \lambda_{NE} + \lambda_{HMI}$. Эту систему можно записать в матричной форме: $\mathbf{GX} = \mathbf{B}$, где

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 & -P'_{NO} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -P_0^{EI} & 1 & 0 & -m P_{EO} & 0 & 0 & 0 \\ -P_{EI} & 0 & 1 & -P_{EMS} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -P_0^{AI} & 1 & 0 & -n P_F & 0 \\ 0 & 0 & -P_{AI} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -P'_{NE} & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -P_{NE} & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{pmatrix} \lambda_{NI} \\ \lambda_{NO} \\ \lambda_{EI} \\ \lambda_{EO} \\ \lambda_{AI} \\ \lambda_{AO} \\ \lambda_{QE} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} \lambda_{NMS} \\ 0 \\ \lambda_{EMS} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_{EOM} \end{pmatrix}.$$

Тогда $\mathbf{X} = \mathbf{G}^{-1} \mathbf{B}$ и окончательно

$$W_{NMS} = w_{NI} + w_{NO} + (1 - P_0^{EI}) [w_{EI} + w_{EO} + (1 - P_0^{AI}) (w_{AI} + w_{AO} + P_{NE} w_{OMP})]. \quad (3)$$

При вычислении среднего значения общего времени нахождения произвольной заявки в пределах всей системы (включая время, которое требуется для непосредственной обработки заявки соответствующими устройствами) необходимо учитывать следующие обстоятельства: 1) разные заявки отличаются своими маршрутами движения по сети; 2) нельзя утверждать, что любая заявка обязательно попадает в каждую очередь всего один раз. Однако в этой сложной ситуации остаётся справедливой формула Литтла, согласно которой

$$W_{\text{общ}} = \frac{L_{\text{общ}}}{\Lambda_{\text{общ}}} = \frac{\sum_k \lambda_k w_k}{\lambda_{NMS} + m(\lambda_{EMS} + n \lambda_{EOM})}, \quad (4)$$

где $L_{\text{общ}}$ — среднее значение общего числа заявок, находящихся в системе в произвольный момент времени; $\Lambda_{\text{общ}}$ — суммарная интенсивность общего потока внешних заявок, входящих в систему.

4. Учёт дисциплин приоритетного обслуживания

В реальных системах OSS запросы, поступающие в систему, неоднородны по их важности для задач управления и, следовательно, некоторые из них могут претендовать на первоочередное обслуживание. При введении дисциплины приоритетного обслуживания в составе каждого внешнего потока запросов будем выделять долю приоритетных заявок, определяемую соответствующими коэффициентами ε_{NMS} , ε_{EMS} и ε_{EOM} . В частности,

$$\lambda_{NMS} = \lambda'_{NMS} + \lambda''_{NMS} = \varepsilon_{NMS} \lambda_{NMS} + (1 - \varepsilon_{NMS}) \lambda_{NMS},$$

где первое слагаемое соответствует приоритетным командам управления, а второе — обычным командам, т.е. без приоритета. Подобные формулы можно записать также для интенсивностей λ_{EMS} и λ_{EOM} .

Аналогичным образом, для любой k -й очереди в составе СеМО, с помощью которой моделируется исследуемая система OSS, потребуется рассматривать интенсивности поступления приоритетных заявок (λ'_k) и заявок без приоритетов (λ''_k).

Будем предполагать, что приоритеты команд и сообщений, которыми обмениваются друг с другом элементы исследуемой системы OSS, не влияют на содержимое матрицы $\mathbf{G}$, описывающей характер взаимодействия между этими элементами. Тогда интенсивности λ'_k и λ''_k могут вычисляться путём решения следующих СЛАУ: $\mathbf{GX}' = \mathbf{B}'$ и $\mathbf{GX}'' = \mathbf{B}''$, где

$$\mathbf{X}' = \begin{pmatrix} \lambda'_{NI} \\ \lambda'_{NO} \\ \lambda'_{EI} \\ \lambda'_{EO} \\ \lambda'_{AI} \\ \lambda'_{AO} \\ \lambda'_{QE} \end{pmatrix}, \mathbf{B}' = \begin{pmatrix} \lambda'_{NMS} \\ 0 \\ \lambda'_{EMS} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \lambda'_{EOM} \end{pmatrix}, \mathbf{X}'' = \begin{pmatrix} \lambda''_{NI} \\ \lambda''_{NO} \\ \lambda''_{EI} \\ \lambda''_{EO} \\ \lambda''_{AI} \\ \lambda''_{AO} \\ \lambda''_{QE} \end{pmatrix}, \mathbf{B}'' = \begin{pmatrix} \lambda''_{NMS} \\ 0 \\ \lambda''_{EMS} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \lambda''_{EOM} \end{pmatrix}.$$

Отсюда сразу же в явном виде получаем: $\mathbf{X}' = \mathbf{G}^{-1}\mathbf{B}'$; $\mathbf{X}'' = \mathbf{G}^{-1}\mathbf{B}''$. После этого найденные значения λ'_k и λ''_k при всех $k=NI, NO, \dots$ нужно подставить в формулы из табл. 1, чтобы в зависимости от применяемой дисциплины приоритетного обслуживания (абсолютный или относительный приоритет) определить средние значения времени пребывания заявок разных категорий в k -м узле рассматриваемой СеМО [6]. При вычислении показателей, позволяющих в целом оценить качество функционирования исследуемой OSS, остаются справедливыми формулы (3) и (4), каждая из которых по отдельности применяется для приоритетных заявок и заявок без приоритета.

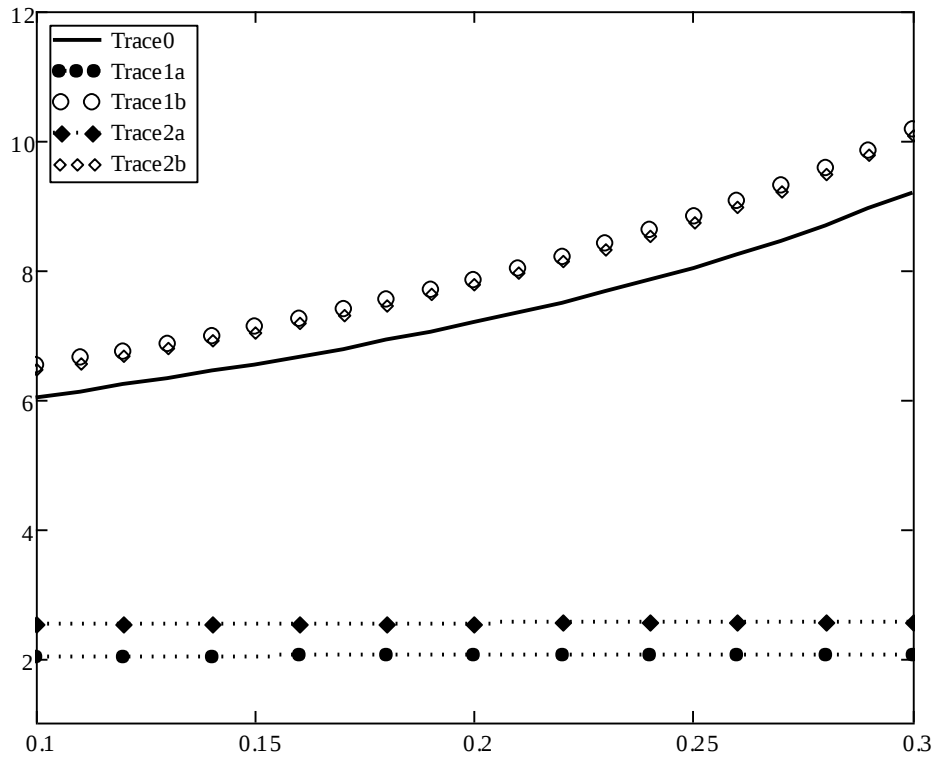
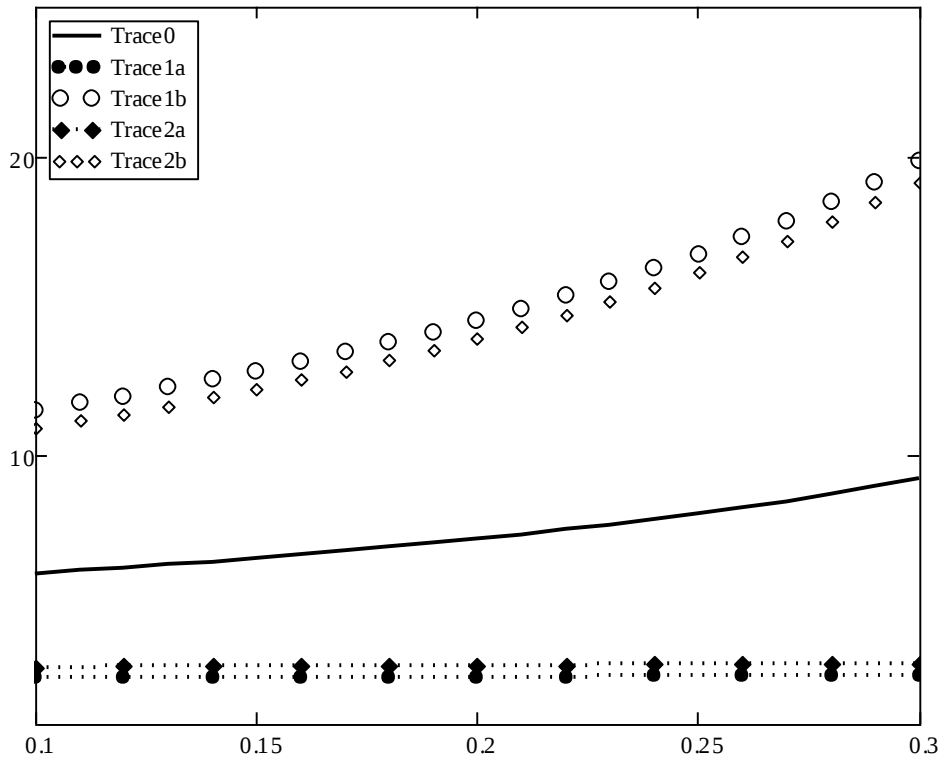
Таблица 1. Среднее время пребывания заявки в k -м узле

	Приоритетные заявки	Заявки без приоритета
Абсолютный приоритет (с дообслуживанием)	$w'_k = \frac{1}{\mu_k - \lambda'_k}$	$w''_k = \frac{\mu_k}{\mu_k - \lambda_k} w'_k$
Относительный приоритет	$w'_k = \frac{1}{\mu_k} \left(1 + \frac{\lambda_k}{\mu_k - \lambda'_k} \right)$	$w''_k = \frac{1}{\mu_k - \lambda_k} \left(\mu_k w'_k - \frac{\lambda_k}{\mu_k} \right)$

5. Результаты численных расчётов

Для случая однородной структуры системы OSS расчёты проводились при следующих исходных данных [7 – 9]:

- структурные параметры — $m=5$; $n=5$;
- интенсивность обращений к процессору ОМР, возникающих на уровне сетевого элемента (NE) — $\lambda_{EOM} = \lambda_{NE} + \lambda_{HMI} = 0.21$;
- вероятности распределения внутренних заявок — $P_{NO}=0.99$; $P_0^{EI} = P_0^{AI} = 0.1$;
 $P_{EI} = (1 - P_0^{EI})/m$; $P_{EO} = P_{NE} = 0.5$; $P_{ex} = 0.49$; $P_{AI} = (1 - P_0^{AI})/n$; $P_F = 0.9$;
- интенсивности обслуживания заявок — $\mu_{NI} = \mu_{NO} = \mu_{EI} = \mu_{EO} = 2.85$; $\mu_{AI} = 4.1$;
 $\mu_{AO} = 2.15$; $\mu_{OMP} = 7.3$.

а) $\varepsilon_{NMS}=0.3$; $\varepsilon_{EMS}=0.2$; $\varepsilon_{EOM}=0.1$ б) $\varepsilon_{NMS}=0.8$; $\varepsilon_{EMS}=0.7$; $\varepsilon_{EOM}=0.6$ Рис. 5. Зависимости $W_{NMS} = f(\lambda_{NMS})$ при $\lambda_{EMS}=0.07$

По графикам, которые получены при заданных исходных условиях и представлены на рис. 5, можно проследить, каким образом среднее время реакции системы OSS (значение

W_{NMS}) изменяется под влиянием интенсивности поступления команд из главного центра управления сетью (λ_{NMS}) в случае, когда аналогичная интенсивность для отдельной подсистемы EMS остаётся постоянной ($\lambda_{EMS}=0.07$). При этом рис. 5а соответствует относительно низкой доле приоритетных команд (≤ 0.3), а в случае рис. 5б эта доля для команд, поступающих из ГЦУСС, достигает 0.8.

Для кривых, которые здесь присутствуют, использованы следующие обозначения: Trace0 — без приоритетов; Trace1 — абсолютный приоритет; Trace2 — относительный приоритет. Дополнительные символы соответствуют приоритетным запросам (а) и запросам без приоритета (б).

Сплошная линия Trace0, полученная на основе результатов из [7], является базовым вариантом для оценки эффекта от введения дисциплин приоритетного обслуживания. Из сравнения с этой кривой видно, что для приоритетных команд время реакции системы OSS резко уменьшается (особенно в случае абсолютного приоритета). Однако это происходит за счёт увеличения времени ответа на запросы, которые не обладают приоритетом (в особенности это заметно на рис. 5б при высокой доле приоритетных управляющих воздействий).

Зависимости $W_{общ} = \varphi(\lambda_{NMS})$, представленные на рис. 6, дают общую оценку производительности системы OSS по отношению ко всем источникам внешних запросов на разных уровнях исследуемой системы. В отличие от величины W_{NMS} , которая характеризует быстродействие СУСС только с точки зрения управляющих воздействий, возникающих в NMS, при вычислениях $W_{общ}$ учитываются даже команды, которые вводятся при непосредственном (прямом) управлении отдельным сетевым элементом (NE).

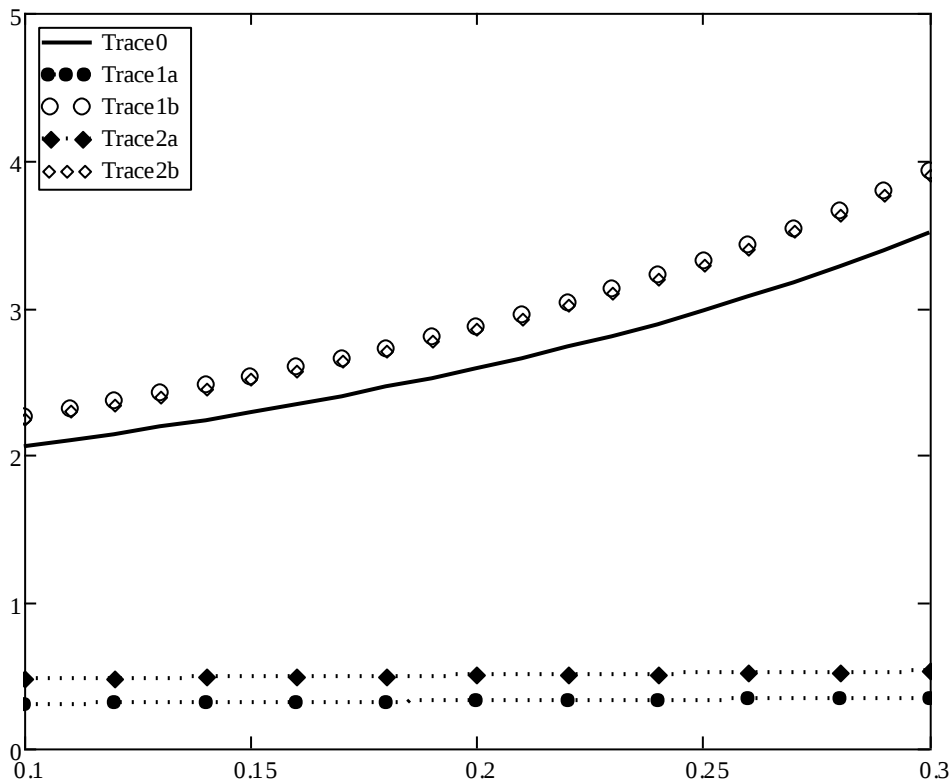


Рис. 6. Зависимости $W_{общ} = \varphi(\lambda_{NMS})$ при $\lambda_{EMS}=0.07$

Обработка команд, которые относятся к более низким уровням системы OSS, включает в себя меньшее количество этапов обслуживания элементами системы, т.е. траектории прохождения через СеМО являются более короткими. По этой причине общее математическое ожидание времени пребывания запроса в системе ($W_{\text{общ}}$) становится ниже, чем W_{NMS} (при прочих равных условиях).

На рис. 7 сечения двумерной зависимости $W_{\text{общ}}''(\lambda_{EMS}, \lambda_{NMS})$ представлены в виде семейства плоских кривых $W_{\text{общ}}''(\lambda_{EMS}, \lambda_{NMS} = \text{const})$ при нескольких фиксированных значениях λ_{NMS} . Среднее значение общего времени пребывания в системе произвольного запроса без приоритета ($W_{\text{общ}}''$) выбрано для оценки производительности системы OSS из тех соображений, что наиболее существенные задержки испытывают именно такие запросы на реализацию управляющих воздействий. Эти расчёты демонстрируют взаимное влияние различных потоков задач, возникающих на разных уровнях в сложной иерархической системе управления.

При выявлении «узких мест» в структуре системы OSS необходимо определять значения коэффициентов загрузки для отдельных устройств, участвующих в обслуживании поступающих заявок: $\rho_k = \lambda_k / \mu_k$ при всех $k=NI, NO, EI, EO$ и т.д. Соответствующие зависимости представлены на рис. 8 и их анализ позволяет сделать вывод, что в ГЦУСС выходная очередь (NO) подсистемы NMS близка к своему предельному насыщению: $\rho_{NO} \rightarrow 1$. Если зафиксировать производительность этого элемента системы, то снижение его загрузки может быть достигнуто путём уменьшения потока входных заявок — λ_{NO} . В частности, если вместо $P_{EO} = 0.5$ установить $P_{EO} = 0.25$ и тем самым уменьшить поток уведомлений, поступающих в ГЦУСС от нижних уровней системы управления, то ρ_{NO} снижается до вполне приемлемого уровня 0.49. Как следствие, это улучшает также общее время реакции исследуемой системы OSS.

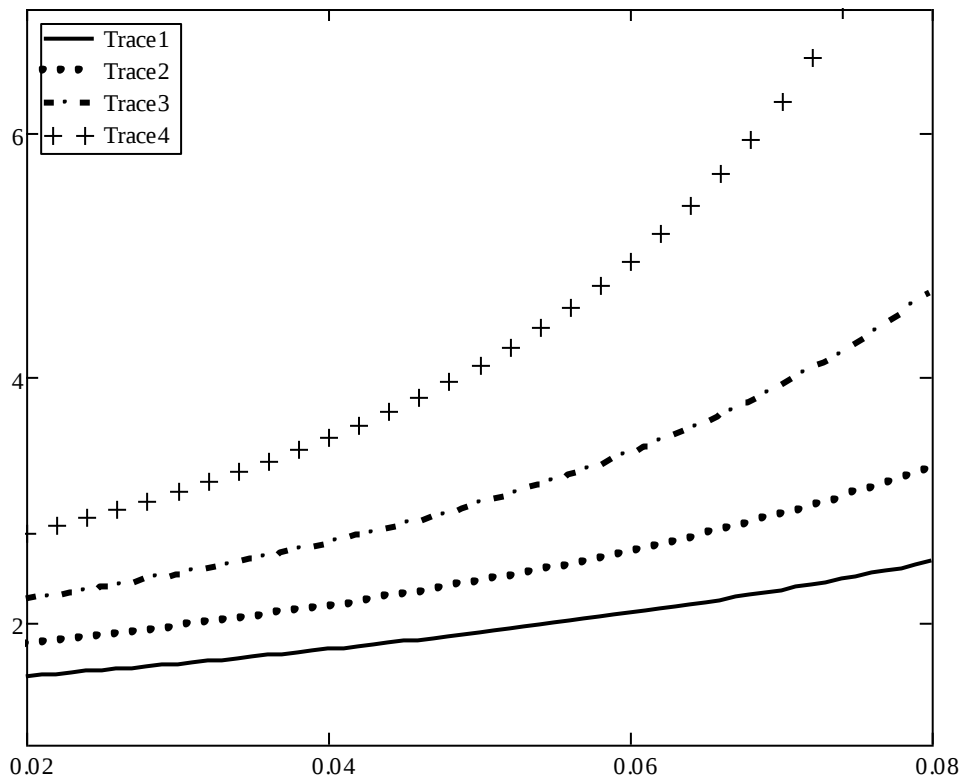


Рис. 7. Зависимости $W_{\text{общ}}'' = \psi(\lambda_{EMS})$ при $\lambda_{NMS}=0.1$ (Trace1), $\lambda_{NMS}=0.2$ (Trace2), $\lambda_{NMS}=0.3$ (Trace3) и $\lambda_{NMS}=0.4$ (Trace4)

Таким образом, рассмотренная математическая модель предоставляет возможность оценивать качество функционирования интегрированной СУСС, построенной на базе концепции TMN, по комплексным показателям оперативности решения эксплуатационных задач, учитывая влияние отдельных элементов сложной распределённой системы на величину этих показателей. Следовательно, изложенная методика расчёта может служить основой не только функционально-структурного анализа системы, но и параметрической оптимизации режимов функционирования элементов системы в процессе синтеза её структуры.

6. Заключение

Эффективная работа современных систем управления со сложной иерархической архитектурой во многом зависит от правильного сочетания большого числа параметров, что в полной мере справедливо и по отношению к системам эксплуатационной поддержки телекоммуникационных сетей. С учётом ограниченных ресурсов, которые предназначены для сбора и обработки управляющей информации, существенным фактором становится назначение приоритетов наиболее важным эксплуатационным задачам, чтобы гарантировать их успешное выполнение в пределах заданного лимита времени.

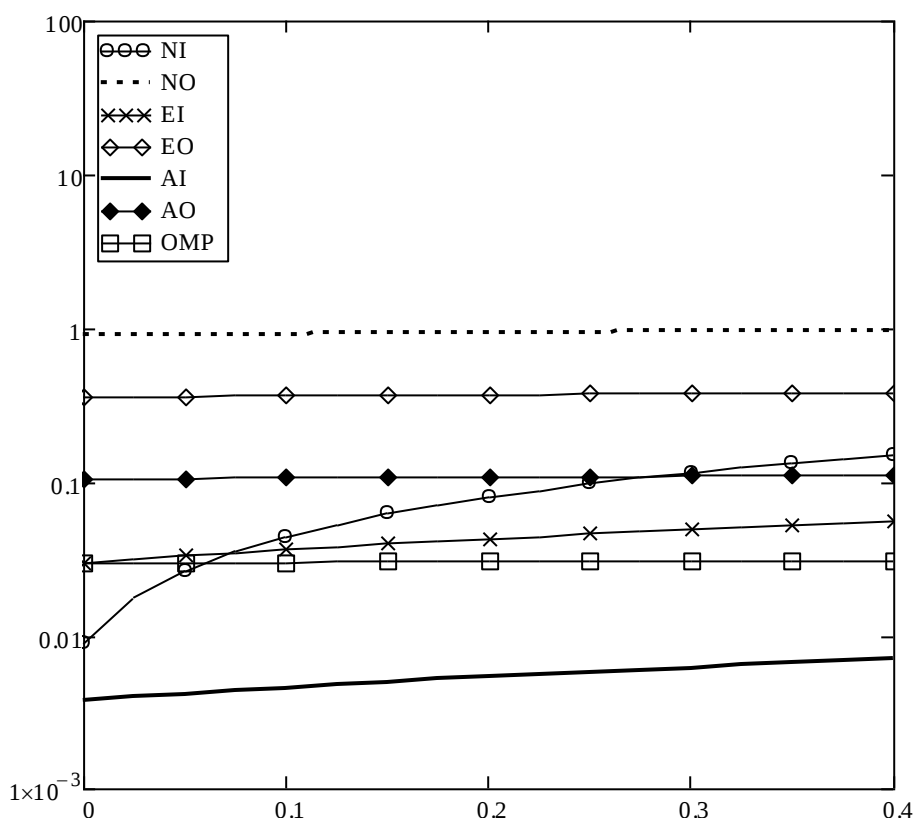


Рис. 8. Зависимости $\rho = \phi(\lambda_{NMS})$ при $\lambda_{EMS} = 0.07$

В результате выполненного исследования продемонстрирована возможность количественной оценки производительности (быстродействия) иерархической системы OSS, в которой заявки (запросы), поступающие в систему, отличаются по степени их важности для задач управления. Предлагаемая методика основана на решении системы алгебраических

уравнений, которые учитывают перемещение заявок между отдельными элементами системы в процессе многофазового обслуживания. Для практической реализации этой методики разработаны соответствующие программные средства, которые использовались при проведении контрольных расчётов.

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. *Костин А.А.* Модель системы интегрированного управления телекоммуникационными сетями и услугами // *Электросвязь*, №10, 2002. — С. 22-26.
4. *Мочалов В.П.* Теоретические основы разработки и анализ вероятностно-временных характеристик распределенных систем управления телекоммуникационными сетями и услугами. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 365с.
5. *Башарин Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А.* Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчёта. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. — 336 с.
6. *Шнепс М.А.* Системы распределения информации. Методы расчёта: Справ. пособие. — М.: Связь, 1979. — 344с.
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. — P.381-390.
8. *Woo W.-D., Hwang H.-S., Yoon B.-N.* Throughput Evaluation of TMN EMS for ATM Switch // *Proc. of Int. SBT/IEEE Telecom. Symposium (ITS'98)*, Vol. 2, August 1998. — P. 566-570.
9. *Lee J.Y., Hwang C.J., Lee G.H., Woo W.D., Yoon B.-N.* Implementation and Performance Analysis of a TMN System for Public ATM Networks // *Proc. of 23rd Int. Conf. / Computers & Industrial Engineering*, Vol. 35, No. 1-2, 1998. — P.275-278.

Статья поступила в редакцию 08.05.2013

Мейкшан Владимир Иванович

д.т.н., профессор кафедры ТСиВС СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86),
тел. (383) 269-82-73, e-mail: MeikshanVI@gmail.com

Analysis of priority-based service disciplines in hierarchical telecom network management system**V.I. Meikshan**

The network of queues is considered in accordance with mathematical modeling of multilevel management system for telecommunication network. On the basis of the queuing theory the formulae are obtained for calculating mean response time on external management commands associated with Operations and Maintenance (O&M) activities. To illustrate the opportunities of the proposed approach, which takes into account different degree of importance (priorities) for control commands, numerical calculations and the analysis of the results are presented.

Keywords: telecommunication networks, management system, queuing theory, priorities, mean response time.