

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет» (НИУ)  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ИКТ

\_\_\_\_\_ С.Н. Даровских  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Сеть управления электросвязью: общая информационная модель сети**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ - Д 11.03.02.2020.222.00 ПЗ

Руководитель работы,

\_\_\_\_\_ В.В. Новиков  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,

студент группы КЭ-411

\_\_\_\_\_ С.В. Лукьянов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер,

\_\_\_\_\_ В.Д. Спицына  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## РЕФЕРАТ

Выпускной квалификационный проект 48 с.,  
2 пл., 15 илл., 8 источников.

В данной выпускной квалификационной работе произведено следующее:

- выполнено сравнение существующие концепции управления сетью связи, определить их преимущества и недостатки;
- изучена основная идея, принципы, и функции иерархической системы управления сетью связи;
- изучена иерархическая система управления сетью связи в контексте теории сетей массового обслуживания с ненадежным обслуживающим элементом;
- построена экспериментальная модель системы управления сетью связи с помощью аппарата массового обслуживания.

Работа состоит из четырёх глав.

1. Постановка задачи.
2. Концепция управления сетями связи.
3. Элементы теории сетей массового обслуживания.
4. Моделирование системы TMN с помощью аппарата сетей массового обслуживания.

|           |      |                |         |      |  |                      |        |
|-----------|------|----------------|---------|------|--|----------------------|--------|
|           |      |                |         |      | ЮУрГУ-Д.11.03.02.2020.222.00 ПЗ  |                      |        |
|           |      |                |         |      |  |                      |        |
| Изм.      | Лист | № докум.       | Подпись | Дата |  |                      |        |
| Разраб.   |      | Лукьянов С.В.  |         |      | Сеть управления<br>электросвязью: общая<br>информационная модель<br>сети | Лит.                 | Лист   |
| Проверил  |      | Новиков В.В.   |         |      |  | Д                    | 3      |
|           |      |                |         |      |  |                      | Листов |
| Н. Контр. |      | Спицына В.Д.   |         |      |  |                      | 48     |
| Утв.      |      | Даровских С.Н. |         |      |  | ЮУрГУ<br>Кафедра ИКТ |        |

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 6  |
| 1 Постановка задачи .....  | 8  |
| 2 Концепции управления сетями связи .....  | 9  |
| 2.1 Принципы построения системы управления сетями связи.....                     | 9  |
| 2.2 Концепция TMN  | 12 |
| 2.2.1 Состав и предназначение основных элементов TMN .....                       | 12 |
| 2.2.2 Функции и уровни TMN.....  | 15 |
| 2.2.3 Архитектуры TMN.....   | 17 |
| 2.2.4 Функциональная архитектура TMN.....  | 18 |
| 2.2.5 Информационная архитектура TMN.....  | 19 |
| 2.2.6 Логическая многоуровневая архитектура TMN .....                            | 22 |
| 2.2.7 Преимущества и недостатки концепции TMN .....                              | 25 |
| 2.3 Протокол управления SNMP.....  | 26 |
| 2.3.1 Общие сведения о протоколе SNMP.....                                       | 26 |
| 2.3.2 Модель управления .....  | 27 |
| 2.3.3 Архитектуры систем управления сетями.....                                  | 29 |
| 2.3.4 Анализ качества функционирования системы управления .....                  | 31 |
| 2.4 Элементы теории надежности систем управления .....                           | 31 |
| 3 Элементы теории сетей массового обслуживания .....                             | 34 |
| 3.1 Основные положения сетей массового обслуживания .....                        | 34 |
| 3.2 Сети массового обслуживания как средство аналитического моделирован<br>..... | 35 |
| 4 Моделирование системы TMN с помощью аппарата сетей массового обслужив.         | 38 |
| 4.1 Моделирование системы TMN с помощью сети очередей .....                      | 38 |
| 4.1.1 Обобщенная модель системы TMN .....  | 38 |
| 4.1.2 Модели для отдельных элементов исследуемой системы TMN.....                | 41 |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.3 Критерии качества функционирования ..... | 43 |
| 4.2 Анализ качества функционирования .....     | 44 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                               | 51 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....                  | 52 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Листинг программы .....          | 53 |

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время глобальная телекоммуникационная отрасль претерпевает множество конфигурации. Быстрое развитие телекоммуникационных технологий и появление нового средств коммуникационного оборудования ставят перед операторами сетей и поставщиками телекоммуникационных услуг непростые задачи по поддержанию функционирования сетей и предоставлению высококачественных услуг связи.

В последние годы проектирование телекоммуникационных сетей стало более сложным и универсальным. Теперь оно включает в себя большое количество типов коммуникационного оборудования, которое поддерживает все типы стандартов и протоколов для передачи информации. Необходимо поддерживать высокий уровень качества связи для различных категорий пользователей. Неизбежно, что необходимо автоматизировать контроль, мониторинг и управление разнородным оборудованием и системами связи на основе общих принципов. Для осуществления указанной деятельности оператор связи должен иметь центр управления сетями и/или услугами, который позволяет ему реализовывать соответствующие функции:

- быстро внедрять новые услуги связи для получения новых клиентов и дополнительных источников доходов;
- поддерживать нормативное качество сервиса клиентов, охватывая минимизацию времени восстановления оборудования в последствии сбоев или же отказов;
- обеспечивать круглосуточную техническую помощь пользователей;
- снизить издержки на использование сети при осмысленном соотношении

«стоимость/производительность/надёжность». В данной бакалаврской работе требуется:

- аналитически сравнить существующие концепции управления сетью связи, определить их преимущества и недостатки;

- изучить основную идею, принципы, и функции иерархической системы управления сетью связи.
- изучить иерархическую систему управления сетью связи в контексте теории сетей массового обслуживания с ненадежным обслуживающим элементом.
- построить экспериментальную модель системы управления сетью связи с помощью аппарата массового обслуживания.
- произвести оценку качества функционирования системы управления сетью связи при ограниченной надежности.

При этом в соответствии с современными требованиями сам подход к проектированию и внедрению систем поддержки эксплуатации сетей связи (англ. Operation Support System, OSS) сместился от управления сетевыми технологиями и ресурсами к управлению пользовательскими сервисами.

## 1 Постановка задачи

В данной работе будет рассмотрена математическая модель для системы с применением многоуровневой иерархической структуры. Система должна удовлетворять реальным условиям, при которых элементы системы управления не являются идеально надежными. Будет произведен анализ работы системы управления, рассчитаны показатели трафика и задержки при различных параметрах надежности.

В данной работе следует решить данные задачи:

- аналитически сравнить существующие концепции управления сетью связи, определить их преимущества и недостатки;
- изучить основную идею, принципы, и функции иерархической системы управления сетью связи;
- изучить иерархическую систему управления сетью связи в контексте теории сетей массового обслуживания с ненадежным обслуживающим элементом;
- построить экспериментальную модель системы управления сетью связи с помощью аппарата массового обслуживания;
- произвести оценку качества функционирования системы управления сетью связи при ограниченной надежности.

## 2 Концепции управления сетями связи

### 2.1 Принципы построения системы управления сетями связи

Сети связи, которые представляют собой набор узлов и линий между ними, предназначены для передачи сообщений в виде электрических сигналов от источника сообщения получателю. Для реализации коммуникационных предложений недостаточно иметь адекватные коммуникационные сети и оборудование. Необходимо создать вспомогательные службы, системы, дополнения в сети связи, которые, по критериям расширения потребностей потребителей, обеспечивали бы ее стабильную работу в течение всего срока службы оборудования и внешних дестабилизирующих воздействий.

Эти дополнения (надстройки) включают в себя системы для технических операций, нумерации, биллинга, оплаты услуг связи и многое другое. Полный список систем зависит от конкретного типа сети связи (первичной, вторичной и т.д.).

Все эти системы поддерживают телекоммуникационную сеть, обеспечивая ее работу и необходимый уровень показателей для удовлетворения потребностей потребителей. Перечисленные «системы поддержки» объединены общей концепцией – системой управления, которая неразрывно взаимодействует с телекоммуникационной сетью в замкнутом цикле с обратной связью через указанные интерфейсы.

Интерфейсы – это устройства (программные и аппаратные) для координации технических средств системы управления, технической операционной системы и сети связи. Телекоммуникационная сеть можно рассматривать как кибернетическую систему, которая включает в себя объект управления SO (управляемая подсистема) и систему управления SU (управляющую подсистему), связанные между собой потоками информации управления и контроля и подверженные внешним воздействиям (рисунок 2.1).

Внешние влияния в отношении сети - это планы и руководящие указания

вышестоящих организаций (от высших уровней управления) и требования к доставке сообщений и предоставлению других услуг, а также различные влияния или сбои (неисправности) отдельных элементов, которые прерывают процесс.

На рисунке 2.1 показана модель системы управления сетью связи.



Рисунок 2.1 – Модель системы управления сетью связи в общем виде

Цель управления сетью связи является обеспечение своевременного создания соединений по конкретным адресам и передача определенного объёма сообщений в соответствии с заданными вероятностно-временными характеристиками с минимальными материальными и техническими затратами.

Управление сетью связи включает (рисунок 2.2):

- систему управления установлением соединений (СУУС): управление потоками нагрузки;
- систему управления сетью (СУСС): управление нагрузкой и управление структурой сети).

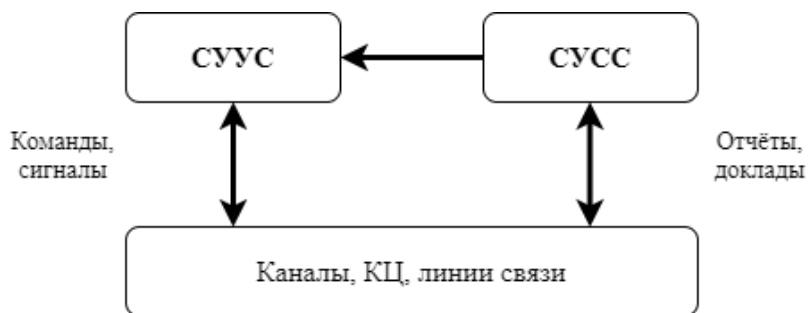


Рисунок 2.2 – Концептуальная модель сети связи

В целом система управления сетями электросвязи представляет собой «систему, которая выполняет функции управления сетью на основе ряда информационных технологий для планирования, обслуживания, эксплуатации, оперативного и административного управления предоставляемыми сетями и услугами».

Система управления организационной сетью каждого оператора (LMS) должна представлять собой географически распределенную иерархическую структуру, построенную в соответствии с принципами TMN. Топология сетей управления в зоне ответственности оператора, расположение центров управления, количество иерархических уровней должны определяться на основе характеристик управляемых сетей, их назначением, размером, отраслью, организацией технических средств.

Минимальное количество иерархических уровней – два:

- на нижнем уровне расположены центры управления сетевыми элементами, которые контролируют и непосредственно взаимодействуют с сетевыми элементами;
- на верхнем уровне – центр управления сетью, услугами и бизнесом (если требуется).

Системы управления сетями федеральной значимости обычно должны иметь четырехуровневую структуру, включая, помимо центра управления сетью и услугами связи оператора на верхнем уровне иерархии и центра управления элементами на нижнем уровне иерархии, два других подуровня управления сетями:

- территориальный центр управления, осуществляющий функции по управлению сетью и услугами связи в зоне, определенной администрацией связи;
- узловой центр управления, осуществляющий управление на части выделенной территории территориального центра управления в непосредственном взаимодействии с этим центром.

Таким образом, основной целью создания сети управления связью является

автоматизация управления для существующей и перспективной цифровой сети, в которой должно обеспечиваться:

- создание условий для интеграции национальных сетей связи во всемирную инфраструктуру связи;
- увеличение доходов за счет увеличения пропускной способности сети, улучшения качества и расширения спектра услуг, требуемой полноты и надежности в сети для каждого уровня управления;
- снижение эксплуатационных расходов за счет уменьшения потерь из-за простоев сети с своевременной и точной диагностикой неисправностей, повышением уровня автоматизации управленческих операций, централизацией квалифицированного персонала.

## 2.2 Концепция TMN

### 2.2.1 Состав и предназначение основных элементов TMN

Термин Telecommunication Management Network (TMN) введен Международным Союзом Электросвязи с 1992 года и означает «Сеть управления электросвязью». Сеть TMN это «...специальная сеть, которая обеспечивает управление сетями электросвязи и их услугами путём организации взаимосвязи с компонентами различных сетей электросвязи на основе общих интерфейсов и протоколов, стандартизованных МСЭ-Т».

Архитектурные и конструктивные принципы TMN обеспечивают выполнение задач, связанных с надежным управлением, эксплуатационным контролем и эксплуатацией разнородного телекоммуникационного оборудования, выпускаемого различными производственными компаниями (рисунок 2.3). TMN предназначен для управления сетевыми услугами общего пользования, для технического оперативного контроля и управления сетевыми устройствами, чтобы гарантировать нормативное качество своевременного предоставления услуг связи.

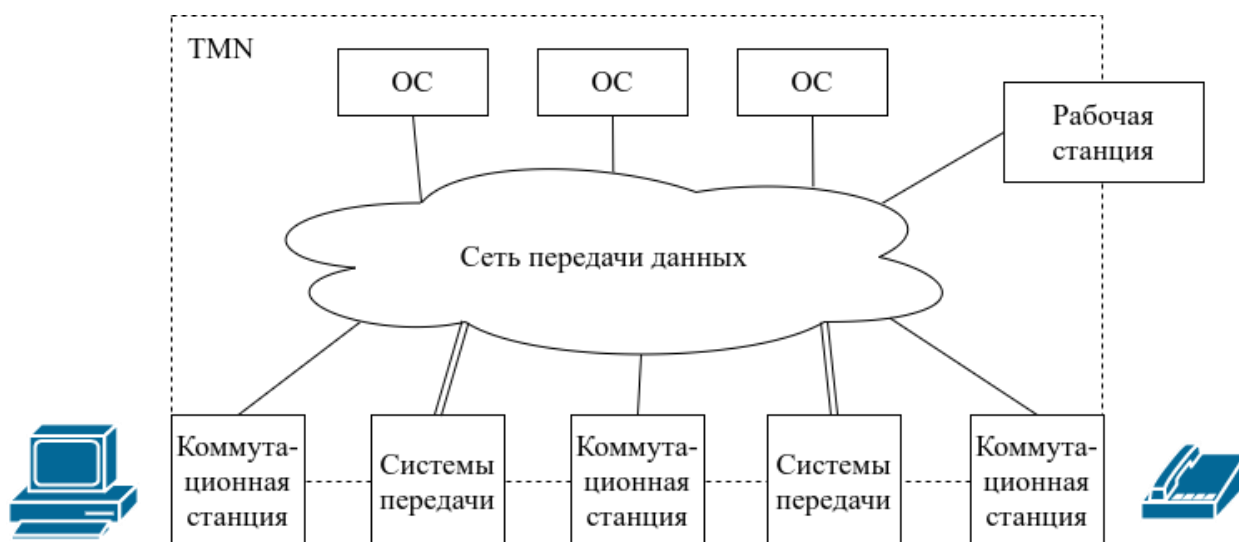


Рисунок 2.3 – TMN и сеть электросвязи

Объектами управления TMN - это телекоммуникационные ресурсы, которые представляют собой физически реальное коммуникационное оборудование – функциональные блоки, модули, для индивидуальных свойств которых может быть реализовано целевое управляющее действие. Например, можно запретить организацию обходных направлений связи через конкретный узел связи или изменить максимально возможный уровень потерь, допустимый в направлении связи.

Концепция TMN охватывает большинство типов в настоящее время видов сетей и систем связи, а также разные типы телекоммуникационного оборудования:

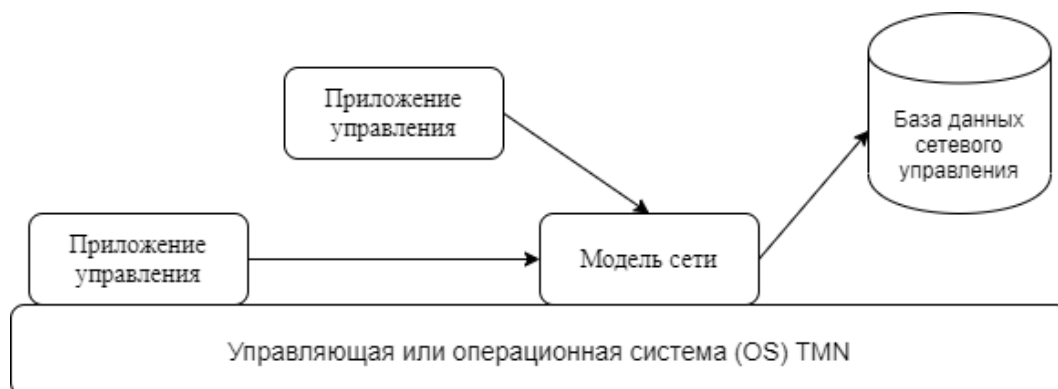
- сети связи общего пользования и выделенные сети;
- оборудование систем передачи данных (мультиплексоры, кросс-коннекторы, каналообразующее оборудование и т.д.);
- линии связи (медные и оптоволоконные кабельные системы, спутниковое каналообразующее оборудование);
- программное обеспечение оборудования связи;
- программное обеспечение вычислительных сетей и комплексов;
- цифровые и аналоговые коммутаторы телефонной сети общего

пользования и других сетей связи;

- сети передачи данных (глобальные и локальные);
- сама сеть TMN (т.е. управление сетью TMN);
- системы сигнализации;
- программное обеспечение, необходимое для предоставления телекоммуникационных услуг;
- прикладное программное обеспечение вычислительных систем;
- системы электропитания, инженерного обеспечения (системы пожарного оповещения и другие системы безопасности).

Обмен командами управления и прочей информацией между TMN и оборудованием связи осуществляется через так называемые опорные точки (Reference Points), которые реализуются в виде интерфейсов TMN. Для передачи сигналов и команд управления TMN соединяется с оборудованием систем и средств электросвязи при помощи сети передачи данных (Data Communication Network – DCN).

В первую очередь, управляющие системы (рисунок 2.4) обеспечивают обработку данных, поступающих от управляемой сети электросвязи, в целях наблюдения и контроля функционирования телекоммуникационного оборудования, а также для обеспечения работы самой TMN. Также они поддерживают информационную модель сети электросвязи, которая включает описание физических объектов электросвязи с помощью общепринятых информационных технологий и специализированных программных средств, например, систем управления базами данных (СУБД).



## Рисунок 2.4 – Структура управляющей системы в TMN

Функции управления могут выполняться либо автоматически, либо человеком-оператором. Кроме того, управляющая система обеспечивает обслуживание терминалов пользователя и поддерживает форматирование данных. Рабочие станции имеют графические интерфейсы и поддерживают язык общения «человек-машина». Также они обладают возможностями обработки данных и средствами ручного и автоматического ввода-вывода информации.

Кроме того, на основе DCN данная TMN может взаимодействовать с другими аналогичными TMN. Это взаимодействие по сути является взаимодействием различных операционных систем.

### 2.2.2 Функции и уровни TMN

При детальном рассмотрении сети электросвязи в контексте концепции TMN можно выделить три функциональных уровня (plane) (рисунок 2.5).

К функциям TMN относятся:

- обмен информацией управления между сетями электросвязи и сетью TMN;
- преобразование информации управления различными системами связи в единый формат для обеспечения совместимости данных в TMN;
- перенос информации управления между разными компонентами TMN;
- анализ и преобразование информации управления в форму, понятную конечному пользователю системы;
- защищенный доступ к информации управления для всех пользователей TMN.



Рисунок 2.5 – Уровни управления в сети TMN

Уровень пользователя (User Plane). На этом уровне осуществляется оказание конечному пользователю услуг электросвязи, например, прием и передача речи, пакетов данных, видео изображений и т.п. Обмен данными осуществляется через стандартизованные интерфейсы TMN. На уровне пользователя технически осуществляется доступ к услугам управления.

Уровень управления оборудованием (Control Plane) представляет собой непосредственный контроль и управление оборудованием связи с помощью встроенного или загружаемого ПО, которое в реальном времени устанавливает соединения и разъединения, управляет маршрутизацией вызовов, обменом и обработкой сигналов и т.п. На данном уровне реализуются функции технологического управления системами связи.

Уровень менеджмента (Management Plane) обеспечивает общее управление сетью и управляет развитием телекоммуникаций. Сюда можно отнести управление монтажом, техническим обслуживанием и эксплуатацией

оборудования связи, контроль и тестирование средств связи, управление трафиком, обеспечение необходимой безопасности информации, мониторинг сетевой инфраструктуры, перенастройку сети в случае неисправностей с тем, чтобы позволить уровню пользователя и уровню управления оборудованием функционировать с максимально возможной эффективностью. Уровень менеджмента содержит функции, реализуемые с помощью прикладного ПО, что обеспечивает вмешательство в работу технологического управления сетей и систем электросвязи.

TMN непосредственно не предоставляет универсальные и новые услуги связи, но поддерживает услуги управления, которые необходимы для контроля качества предоставления универсальных услуг связи и обеспечения надежного функционирования сетей связи.

TMN осуществляет мониторинг всей сети электросвязи (а не только локальных участков, как это делается на уровне управления оборудованием), и принимает решения по управлению, исходя из реальных сетевых условий и поступающей информации.

### 2.2.3 Архитектуры TMN

В TMN описание свойств соответствует описанию архитектуры сети. Под архитектурой TMN понимается совокупное обозначение состава и структуры сети, описание взаимного расположения компонентов сети, определение способов взаимодействия компонентов TMN между собой и с внешней средой.

Виды архитектуры управления:

- функциональная архитектура TMN, которая описывает функции управления;
- информационная архитектура TMN, которая описывает понятия TMN на основе стандартов управления ISO в рамках объектно-ориентированного подхода;
- логическая многоуровневая архитектура TMN (Logical Layered

Architecture, LLA), которая показывает, как управление сетью может быть структурировано в соответствии с различными потребностями администрации связи.

#### 2.2.4 Функциональная архитектура TMN

Функциональная архитектура описывает соответствующее распределение функциональных возможностей в сети TMN, что позволяет создавать блоки функций, из которых может быть построена сеть TMN произвольной сложности. Определение блоков функций и опорных точек между блоками функций приводит к требованиям спецификаций интерфейсов, рекомендованным для сети TMN.

Функциональная архитектура сети TMN базируется на ряде блоков функций сети TMN. Эти блоки функций обеспечивают общие функции сети TMN, которые позволяют данной сети TMN выполнять функции управления. Для переноса информации между блоками функций сети TMN используется функция передачи данных (Data Communication Function, DCF). Пары блоков функций сети TMN, которые обмениваются информацией управления, разделены с помощью опорных точек.

Функциональная архитектура TMN состоит из следующих основных компонентов:

- функциональные блоки – наименьшие (элементарные) единицы TMN, которые могут быть стандартизированы;
- функции приложений управления (Management Application Functions, MAF)
- функции, которые предоставляют одну или несколько услуг управления;
- функции управления TMN (TMN Management Function, TMN MF) и набор функций управления TMN.
- функции управления TMN обеспечивают взаимодействие между парами MAF в управляющей и управляемой системах и группируются в набор

функций управления;

- опорные точки – описание требований к интерфейсам TMN.

В функциональной архитектуре TMN определено четыре различных типа функциональных блоков (рисунок 2.6):

- функциональный блок операционной системы (Operations Systems Function block, OSF);
- Функциональный блок элемента сети (Network Element Function block, NEF);
- функциональный блок рабочей станции (Workstation Function block, WSF);
- функциональный блок преобразования (Transformation Function block, TF).

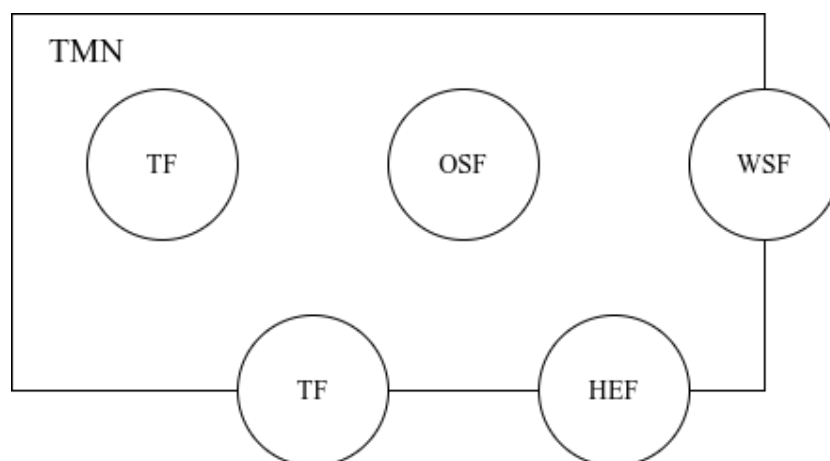


Рисунок 2.6 – Структура функциональных блоков TMN

### 2.2.5 Информационная архитектура TMN

Ключевыми элементами информационной архитектуры являются элементы, модели взаимодействия элементов и собственно информационные модели.

Информационные элементы, если их рассматривать с точки зрения объектно-ориентированного подхода, делятся на управляющие и управляемые объекты.

Описание управляемого объекта, а осуществляется с помощью контура управляемого объекта. На рисунке 2.7 показаны характеристики объекта, доступные для управления, а именно:

- атрибуты, которые описывают свойства объекта;
- действия, которые могут выполняться на объекте;
- поведение или режим работы объекта, которые задаются согласно операции;
- сообщения или уведомления, которые выдаются объектом.

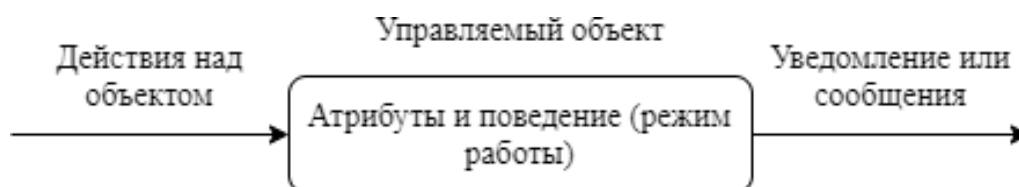


Рисунок 2.7 – Принцип функционирования управляемого объекта

Управляемый объект наиболее точно можно охарактеризовать его состоянием и взаимоотношениями с другими объектами, которые отражены в атрибутах управляемого объекта. Доступ к этим атрибутам управляющий объект получает при помощи соответствующей команды. При описании объекта, а управления используется набор уведомлений или сообщений, которые управляемый объект отправляет управляющей системе и оповещает ее о событиях, связанных с данным объектом.

Управление ВОС (взаимодействием открытых систем) осуществляется с помощью модели взаимодействия агент-менеджер (рисунок 2.8).



## Рисунок 2.8 – Взаимодействие менеджера и агента в информационной архитектуре TMN

Программное приложение, формирующее команды управления и обрабатывающее уведомления, называется программой-менеджером. Приложение, которое установлено на элементе сети и выполняет команды называется программой-агентом.

Менеджер устанавливает взаимосвязь с агентом для осуществления управляющего взаимодействия. Возможное нарушение такой взаимосвязи может быть обнаружено обеими сторонами.

Программа-агент является так называемым посредником между программой-менеджером и управляемыми ресурсами. При этом агент с помощью своего функционального интерфейса управляет физическими ресурсами. Программа-агент имеет точную информационную модель и описание управляемого ею ресурса. В этой модели отображены рабочие характеристики ресурса, которые можно контролировать в процессе управления.

Все операции, осуществляемые над управляемым объектом, могут быть разделены на четыре типа: запросы, ответы, указания и подтверждения. Эти типы используются следующим образом:

- чтобы выполнить операцию, менеджер посылает управляющую команду (сообщение запрос);
- агент принимает его как сообщение-указание;
- агент выполняет требуемое действие и может послать сообщение-ответ;
- сообщение-ответ принимается менеджером как сообщение-подтверждение.

Информационная модель управления представляет собой абстрактное описание сетевых ресурсов, доступных для управления, и соответствующих операций управления, определяет стандарты для содержания информационного

массива, который появляется в ходе сетевого управления.

## 2.2.6 Логическая многоуровневая архитектура TMN

В рамках концепции TMN существует определённая иерархия «обязанностей», связанных с управлением теми или иными объектами. Такая иерархия может быть описана с помощью термина «уровень управления»; соответственно архитектура, которая описывается с помощью уровней, называется логической многоуровневой архитектурой (Logical Layered Architecture, LLA) TMN.

Функциональные возможности сети TMN могут быть разбиты на следующие уровни (рисунок 2.9):

- уровень сетевых элементов (Network Element Layer, NEL);
- уровень управления элементом (Element Management Layer, EML);
- уровень управления сетью (Network Management Layer, NML);
- уровень управления услугами (Service Management Layer, SML);
- уровень управления бизнесом (Business Management Layer, BML).

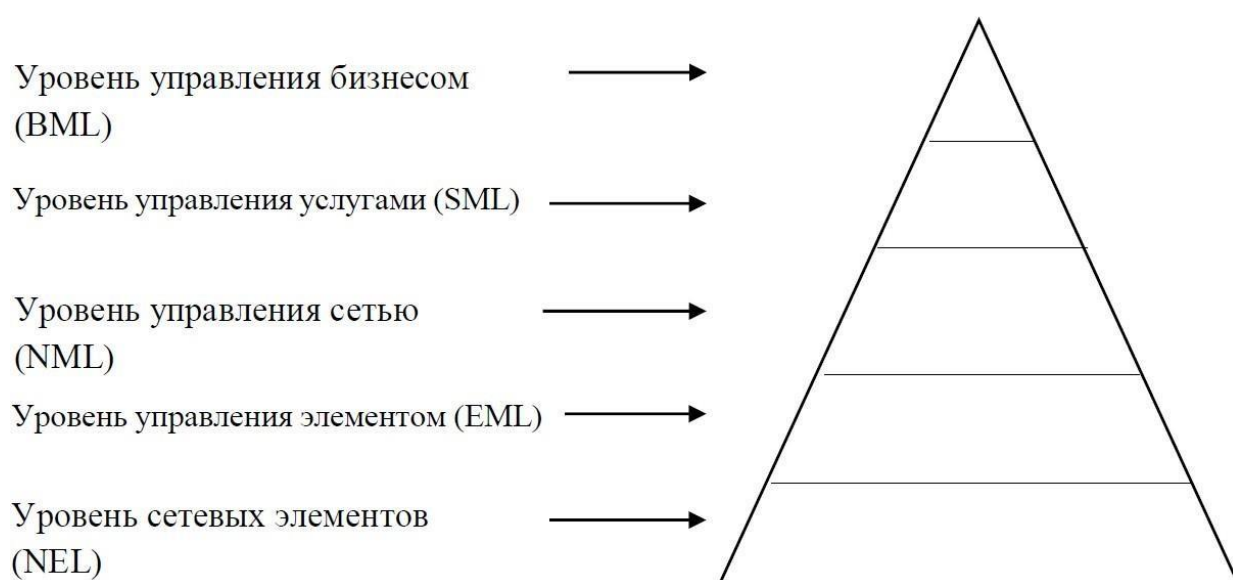


Рисунок 2.9 – Пирамида управления TMN

На всех уровнях пирамиды решаются задачи одних и тех же пяти

функциональных групп (управление конфигурацией сети, управление устранением отказов, управление качеством, управление расчётами, управление защитой информации), однако, на каждом уровне эти задачи имеют свою специфику: чем выше уровень, тем более общий и агрегированный характер приобретает собираемая о сети информация.

Информация о состоянии уровня поступает наверх, а сверху вниз идут управляющие воздействия. Степень автоматизации управления может быть различной, и обычно имеет место сочетание автоматизированных и ручных процедур. Как правило, чем выше уровень иерархии управления, тем ниже его степень автоматизации.

Уровень сетевых элементов представляет собой саму сеть связи, то есть объект управления. В качестве сетевых элементов могут рассматриваться коммутационные станции, системы передачи, мультиплексоры, комплекты тестового оборудования и т.д.

Уровень управления элементами охватывает контроль, отображение параметров работы, техническое обслуживание, тестирование, управление применительно к отдельным элементам или некоторым их подмножествам.

В качестве примера можно привести следующие функции, выполняемые на уровне управления элементом сети:

- обнаружение ошибок и неисправностей телекоммуникационного оборудования и систем связи;
- измерение потребляемой мощности;
- измерение температуры оборудования;
- измерение задействованных ресурсов оборудования связи, например, загрузки центрального процессорного элемента, наличия свободного места в буфере передачи/приёма, длины очереди и т.п.;
- регистрация статистических данных;
- модификация программного обеспечения.

Уровень управления сетью осуществляет функции управления, касающиеся

взаимодействия между многими видами телекоммуникационного оборудования.

На уровне управления сетью внутренняя структура элемента сети

«невидима», это означает, к примеру, что состояние буфера устройства приёма/передачи, температура оборудования и т.п. не могут напрямую контролироваться и управляться этим уровнем.

Примеры функций, выполняемых на уровне управления сетью:

- создание полного представления о сети (информационная модель сети);
- создание обходных путей установления соединения с целью поддержки QoS для конечных пользователей;
- модификация и обновление таблиц маршрутизации;
- мониторинг загрузки линий и каналов связи;
- оптимизация возможностей сети для повышения эффективности использования средств и систем связи;
- обнаружение неисправностей и ошибок программного обеспечения.

Уровень управления услугами (сервисами) затрагивает вопросы управления, которые непосредственно касаются пользователей услуг связи. Это могут быть клиенты оператора, абоненты сетей связи, а также администрации

операторов связи или провайдеров услуг. Управление услугами осуществляется на основе информации, которая предоставляется уровнем управления сетью; при этом уровень управления услугами “не видит” детальную внутреннюю структуру сети. Маршрутизаторы, АТС, системы передачи не могут непосредственно управляться с уровня управления услугами.

Примеры функций управления, которые выполняются на уровне управления услугами:

- контроль качества услуг связи (задержки, потери и т.д.);
- учёт объёма использования услуг связи;
- добавление и удаление пользователей;
- назначение сетевых адресов и номеров телефонных аппаратов.

Уровень управления бизнесом отвечает за управление целым предприятием. Данный уровень занимается вопросами долговременного

планирования сети с учётом финансовых аспектов деятельности организации, владеющей сетью. На этом уровне ежемесячно и поквартально подсчитываются доходы от эксплуатации сети и её отдельных составляющих, учитываются расходы на эксплуатацию и модернизацию сети, принимаются решения о развитии сети с учётом финансовых возможностей. Уровень бизнес-управления обеспечивает для пользователей и поставщиков услуг возможность предоставления дополнительных услуг.

### 2.2.7 Преимущества и недостатки концепции TMN

Выполним анализ преимуществ и недостатков TMN. Ключевые преимущества концепции TMN:

- практически все ведущие разработчики платформ управления (Hewlett-Packard, Digital, Sun, Cabletron, IBM) включили поддержку стандартов TMN в свои продукты;
- появление новых небольших компаний, которые сделали разработку средств TMN-управления своим основным бизнесом;
- большая часть телекоммуникационного оборудования сегодня выпускается со встроенной поддержкой интерфейса Q – одного из основных элементов архитектуры TMN.

К основным недостаткам TMN можно отнести следующие:

- технология TMN с технической точки зрения не проработана настолько, чтобы считаться законченной стандартизированной технологией, которую можно было бы реализовать на практике в виде конкретной законченной системы;
- существует более или менее стандартизированная адаптация TMN к применению на транспортных сетях SDH и сетях абонентского доступа ISDN (рекомендаций серий G и M). Однако для других важных телекоммуникационных

технологий (например, сети IP) детализированная адаптация TMN отсутствует;

- рекомендации, которые в своей совокупности должны давать полное представление о TMN, имеют довольно сложный для правильной интерпретации формальный язык описания с большим количеством перекрёстных ссылок, что затрудняет как чтение, так и изучение рекомендаций;

- часто реализация TMN-интерфейсов рассматривается неоправданно сложным и дорогостоящим делом. Считается, что протокольные стеки, регламентированные для Q-интерфейса, являются слишком “перегруженными” и “тяжёлыми”;

- наличие новых, более рентабельных, надёжных и, что очень немаловажно, популярных коммерческих технологий, предоставляющих новые средства реализации интерфейсов, однозначно ослабляют позиции TMN.

## 2.3 Протокол управления SNMP

### 2.3.1 Общие сведения о протоколе SNMP

Для решения глобальных задач по управлению сетью Интернет, при учете разнородности оконечных устройств (компьютеров, мобильных устройств и т.д.), маршрутизаторов и программного обеспечения, используемых в сети, необходимо использовать средства, которые позволят сохранить целостность и функциональность всей сети при едином управлении.

За диагностику IP-сетей отвечает протокол ICMP. А для функции управления создано два протокола, а именно SNMP (Simple Network Management Protocol, с англ. «Простой протокол сетевого управления», разработан в 1988 году) и CMOT (Common Management Information services and protocol over TCP/IP), однако применение последнего на 2020 год сильно ограничено.

Как правило, прикладная программа управления взаимодействует с сетью по цепочке SNMP-UDP-IP-Ethernet. Наиболее значимым управляемым объектом является внешний порт сети (gateway) или маршрутизатор сети (router). Каждому

объект у управления присваивается свой уникальный номер для безошибочной идентификации объект а.

Протокол SNMP работает на основе транспортных возможностей UDP (англ. User Datagram Protocol – протокол пользовательских датаграмм) и используется сетевыми станциями, осуществляющими управление. Он дает возможность управляющим станциям собирать информацию о текущем состоянии сети Интернет или ее отдельных участков.

Протокол определяет только формат данных (при этом он не имеет фиксированного формата), а менеджеры сети и управляющие станции в свою очередь анализируют, обрабатывают и интерпретируют эти данные. При своей работе SNMP использует управляющую базу данных (MIB –Management Information Base).

### 2.3.2 Модель управления

Агентами в протоколе управления SNMP являются программные модули, которые работают в управляемых устройствах. Агенты собирают информацию о тех устройствах, в которых они работают, и преобразовывают эту информацию для доступа к ней по протоколу SNMP систем управления сетями (NMS – Network Management Systems). Схема этой модели представлена на рисунке 2.10.

Управляемое устройство может являться узлом любого типа, находящимся в какой-нибудь сети: сюда относятся концентраторы, мосты, роутеры, служебные устройства связи, хосты, принтеры и т.д.

Так как некоторые из этих устройств имеют ограниченные способности управления программным обеспечением (например, они могут иметь малый объём памяти или ЦП с низким быстродействием), то управляющее ПО должно быть построено так, чтобы минимизировать воздействие своей производительности на управляемое устройство.

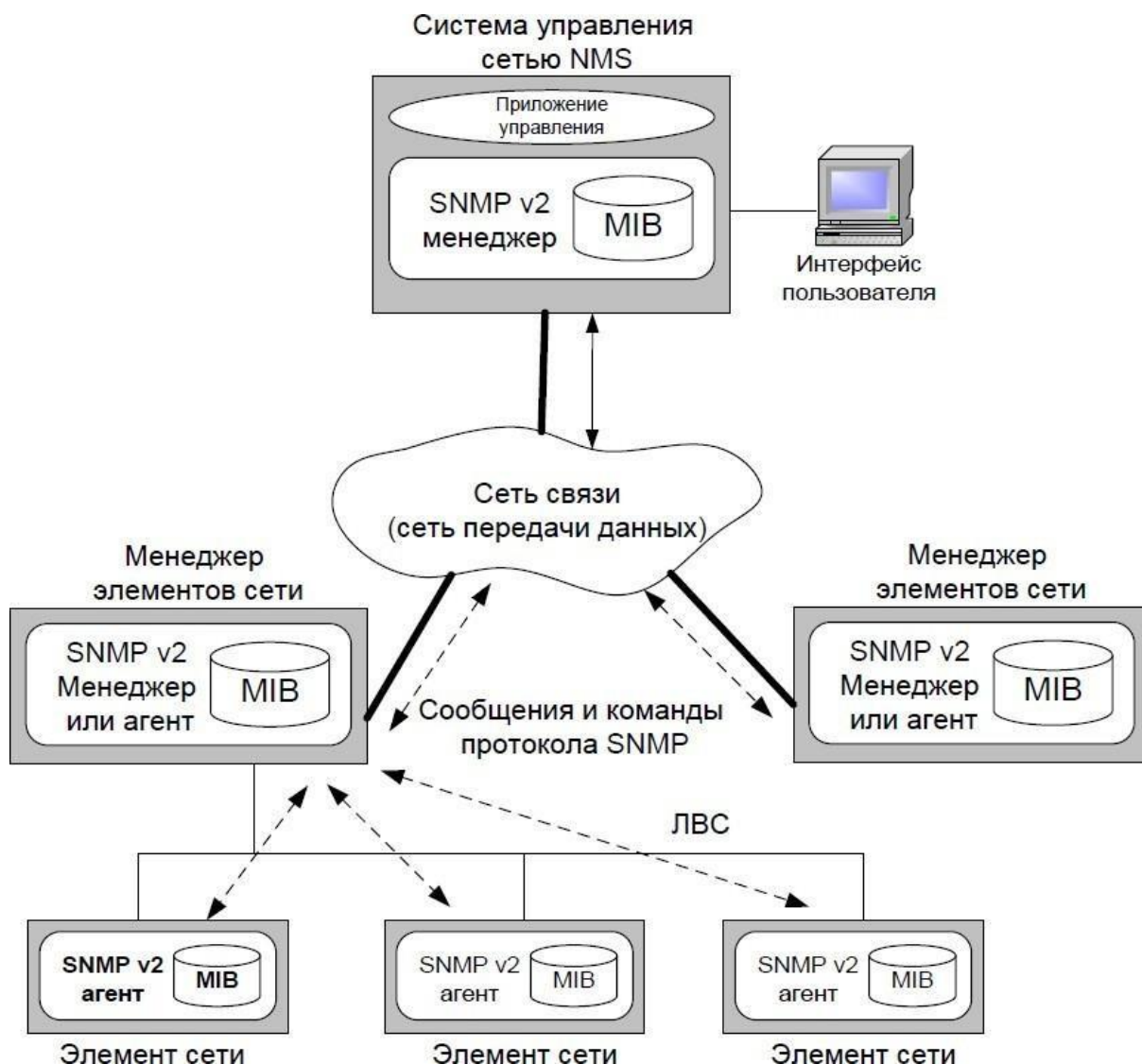


Рисунок 2.10 – Принцип использования протокола SNMP

По причине того, что управляемые устройства могут иметь порог по выполнению задач, то вся ответственность управления возлагается на NMS. Поэтому NMS обычно являются вычислительными машинами, имеющими быстродействующие ЦП, цветные устройства отображения, большой объем памяти и пропорционально большой объем диска хранения данных. В любой управляемой сети может иметься одна или более NMS.

### 2.3.3 Архитектуры систем управления сетями

Существует три основных подхода к системам управления сетью:

- централизованный;
- распределенный;
- иерархический.

Однако, крупная централизованная система управления, построенная на базе единственного менеджера, вряд ли будет функционировать правильно. На это есть несколько причин. Первая из них, недостаточная масштабируемость по производительности, так как при централизованном подходе один единственный менеджер вынужден будет обрабатывать весь поток сообщений от всех агентов. И вторая причина заключается в том, что такой подход не обеспечит высокого уровня надежности, так как при отказе единственного менеджера будет потеряно управление всей сетью.

Схема «менеджер – агент» позволяет создавать достаточно сложные в плане архитектуры распределенные системы управления. Обычно вся распределенная система включает огромное количество связок «агент – менеджер», которые дополняются рабочими станциями операторов сети для доступа к менеджерам. Каждый агент собирает свои данные и управляет определенным участком сети. Менеджеры, которые иначе называются серверами системы управления, собирают информацию от своих агентов, анализируют ее и отправляют на хранение в базу данных.

Распределённые системы могут иметь один уровень управления, либо несколько. Одно уровневое построение системы управления в настоящее время считается неэффективным и устаревшим, и обычно вызвано тем обстоятельством, что элементарные системы управления изначально построены как монолитные системы, которые не были рассчитаны на модульность системы. Гораздо более гибким является иерархическое построение связей между менеджерами. Каждый менеджер нижнего уровня в свою очередь, выполняет и

функции агента для менеджера верхнего уровня. Агент такого типа взаимодействует уже с увеличенной моделью МІВ («База данных управления») только своей части сети, в которой собирается именно та информация, которая нужна менеджеру верхнего уровня для управления сетью в целом.

Обычно для разработки моделей сети на разных уровнях построение начинают с верхнего уровня, на котором определяется состав и объемы информации, требуемой от менеджеров-агентов нижерасположенного уровня, поэтому такой подход назван подходом «сверху вниз». Он уменьшает объемы информации, задействованной в процессе управления расположенными ниже уровнями.

Концепцию TMN по большей части можно сопоставить иерархической архитектуре связей между агентами и менеджерами (рисунок 2.11), хотя также известны случаи реализации отдельных принципов TMN и в одноуровневых распределенных архитектурах.

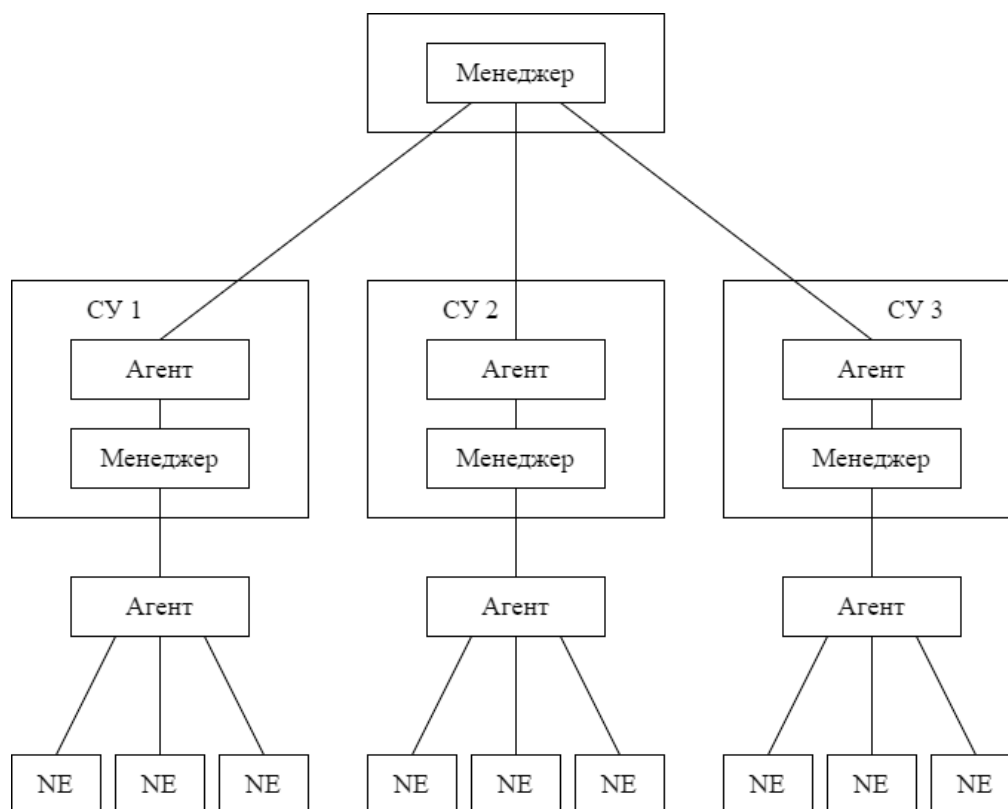


Рисунок 2.11 –Распределенная система с иерархическими связями между менеджерами

#### 2.3.4 Анализ качества функционирования системы управления

В течение десяти последних лет наблюдалось интенсивное развитие сетевых инфраструктур, и к настоящему времени корпоративные сети увеличились как по размеру, так и по своей сложности. Это приводит к тому, что со стороны служб управления возрастают требования к надежности, качеству функционирования и масштабируемости. Все более важными становятся вопросы практического применения распределенных и иерархических архитектур управления.

Распределенные архитектуры для интегрированного управления предприятием должны охватывать обширные территории и справляться с огромными потоками информации, которые передаются с помощью локальных и глобальных компьютерных сетей. Задержки при доставке сообщений, а также выход из строя элементов сети являются основными факторами, которые существенно воздействуют на качество функционирования и экономическую эффективность систем управления.

#### 2.4 Элементы теории надежности систем управления

Надежность – это очень важный показатель функционирования систем управления. Поэтому важно определить точные термины, используемые при формулировке теории надежности.

Сформулируем основные определения в рамках теории надёжности для дальнейшей разработки темы работы.

Система – это совокупность различных элементов, взаимодействующих друг с другом в процессе выполнения заданных им функций.

Элемент системы – это минимальная часть системы, которая рассматривается как единое целое; внутренняя структура элемента при таком рассмотрении не является предметом исследования.

Эти два понятия выражены друг через друга и являются относительными:

например, то, что является элементом для одной задачи, может являться системой для другой задачи. Это обусловлено целями изучения, требуемой точностью, уровнем знаний о надежности и т.д. Приведенные далее термины применимы и для систем, и для элементов.

Работоспособным называется состояние системы (элемента), при котором значения атрибутов, характеризующих способность системы (элемента) выполнять свои функции, находятся в пределах, установленных конструкторской, либо нормативно-технической документацией.

Неработоспособным называется состояние системы (элемента), при котором значение хотя бы одного атрибута, характеризующего способность выполнять заданные функции, не находится в пределах, установленных указанной документацией.

Состояние системы также подразделяют на:

- исправное (при котором система удовлетворяет всем требованиям документации);
- неисправное (при котором имеется хотя бы одно несоответствие этим требованиям).

Отличие работоспособной системы от исправной заключается в том, что она удовлетворяет только тем требованиям, которые существенны для функционирования, и может не удовлетворять прочим требованиям (например, требования по внешнему виду). Т.е. исправная система заведомо является работоспособной.

Отказ – это событие, в результате которого система переходит из работоспособного состояния в неработоспособное. Событие, которое заключается в переходе системы от исправного состояния к неисправному (но работоспособному), называется повреждением. Предметов изучения теории надежности являются, как правило, отказы.

Восстановлением называется событие, заключающееся в переходе системы из неработоспособного состояния в работоспособное.

Надежность – это свойство системы сохранять во времени установленные значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в конкретных режимах и условиях эксплуатации.

Довольно распространенными показателями надежности системы являются средняя длительность простоя системы, коэффициент готовности и коэффициент простоя.

Средняя длительность простоя системы ( $\tau_{\text{п}}$ ) – это время, в течение которого система находится в неработоспособном состоянии и не способна выполнять требуемые функции.

Коэффициент готовности ( $K_g$ ) – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени. Представляет собой отношение времени исправной работы к сумме времен исправной работы и вынужденных простоев объекта а, взятых за один и тот же календарный срок:

$$K_g = t_w / (t_w + t_p)$$

*Коэффициент простоя ( $k_{\text{п}}$ )* – вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени. Является отношением времени простоя системы (элемента) к полному

времени нахождения её в эксплуатации:

$$k_{\text{п}} = 1 - k_g.$$

Выводы по главе 2:

Телекоммуникационная сеть (ТКС) функционирует в условиях непрерывного воздействия внутренних и внешних факторов, влияющих на параметры и показатели качества функционирования.

Необходим постоянный контроль над функционированием сети и внесение соответствующих коррекций как в построении сети, так и в протекающие в ней процессы. Для контроля над сетью и сетевыми процессами необходима система управления сетью связи.

### 3 Элементы теории сетей массового обслуживания

#### 3.1 Основные положения сетей массового обслуживания

Система управления сетями связи (СУСС) содержат большое количество разнородных ресурсов, которые одновременно используют большое число пользователей. Соответственно, это порождает рабочую нагрузку, которая состоит из заданий и задач, конкурирующих за доступ к ресурсам, производительность и количество которых всегда ограничены. Поэтому появляются очереди и задержки в обслуживании.

Самым естественным инструментом для аналитического моделирования СУСС служит теория систем и сетей массового обслуживания (СМО и СеМО), или, иначе говоря, теория очередей.

Аналитическая модель представляет СУСС как сеть массового обслуживания, узлами которой служат ресурсы, а заявками – задания. Модель дает возможность отобразить взаимодействие между рабочей нагрузкой и ресурсами СУСС и оценить ожидаемую производительность.

Аналитические модели состоят из уравнений, которые приблизительно отражают алгоритм функционирования сети и ее структуру. Главные достоинства аналитического моделирования СУСС – относительная простота расчетов и минимальные затраты машинного времени на вычисления. Однако большая часть аналитических моделей позволяет получать усредненные значения необходимых характеристик.

Во большинстве случаев теория СеМО обеспечивает компромисс между требованиями к точности модели, сложностью получения необходимых результатов и возможностью их интерпретации. Согласно данным исследований, аккуратно построенные аналитические модели СУСС приводят к результатам, погрешность которых составляет не больше 10% для усредненного значения быстродействия.

### 3.2 Сети массового обслуживания как средство аналитического моделирования

СеМО считаются эффективным средством аналитического моделирования СУСС. Узлы СеМО отражают конфигурацию отдельных компонентов СУСС (программных, аппаратных, группы пользователей, базы данных) и их не нужно отождествлять, например, с коммутационными узлами сети связи.

СУСС можно рассматривать как множество элементов, обеспечивающих заданное обслуживание. Заявку, поступающую в СУСС, можно рассматривать как задание, которое должно быть выполнено элементами СУСС в определенном порядке.

Когда задание требует обслуживания от некоторого обслуживающего устройства (ОУ), оно может быть занятым обслуживанием других заявок. Тогда заявка должна либо встать в очередь к этому ОУ, либо прервать обслуживание ранее поступившей заявки, либо даже получить отказ в обслуживании и остаться на предыдущем ОУ.

Такая значимая характеристика, как производительность СУСС, определяется быстродействием ее отдельных элементов, трудоемкостью заданий и правилом переходов заявки от одного элемента системы к другому. Потоки заявок, циркулирующих в реальной СУСС, зависят от алгоритма функционирования и архитектуры самой СУСС, а также от источников нагрузки внешней среды. Оценить параметры реальной рабочей нагрузки с высокой точностью весьма сложно, поэтому приходится прибегать к различным упрощениям.

Аналитические модели теории СеМО служат обычно для получения характеристик СУСС при заданных вариантах конфигурации и алгоритмов функционирования СУСС в заданном диапазоне внешних нагрузок. Это позволяет найти оптимальный вариант СУСС путем перебора, если число вариантов не очень велико. При этом чаще всего определяют следующие характеристики производительности СУСС:

- время реакции при обслуживании заявок разных типов;
- интенсивность потока заявок, обслуженных СУСС или ее компонентом (количество заявок, завершивших обслуживание в СУСС или ее компоненте за единицу времени);
- времена занятости ОУ некоторого элемента, зависящая от их быстродействия и поступающей на них нагрузки;
- длины очередей и величины задержек (для отдельных компонентов и СУСС в целом).

Одними из важных параметров производительности вычислительных сетей, моделируемых с помощью методов теории СеМО, являются задержка заявок в узлах сети и ее пропускная способность.

Сеть Джексона – это система из  $m$  очередей, в которых находятся заявки на обслуживание. Для некоторой очереди  $u (u=1,2, \dots, m)$  справедливы следующие утверждения:

- очередь имеет бесконечную длину;
- внешние заявки, прибывающие в эту очередь, образуют Пуассоновский поток с параметром  $a_u$ ;
- число обслуживающих устройств равно  $s_u$ ;
- время обслуживания имеет экспоненциальное распределение с параметром  $\mu_u$ .

Заявки могут в произвольном порядке перемещаться из одной очереди в другую. В частности, если заявка покидает очередь  $u$ , то с вероятностью  $p_{uv}$  она переходит в очередь  $v (v=1,2, \dots, m)$ . При этом вероятность того, что заявка уходит из сети очередей (т.е. покидает систему), равна:

$$q_u = 1 - \sum_{v=1}^m p_{uv}. \quad (3.1)$$

При стационарных условиях каждая очередь  $v (v=1,2, \dots, m)$  в рассматриваемой сети Джексона ведет себя как независимая система массового

обслуживания типа  $M/M/s$ , для которой интенсивность поступающего потока заявок равна:

где

$$\lambda_v = a_v + \sum_{u=1}^m \lambda_u p_{uv}, \text{ где } s_v \mu_v > \lambda_v. \quad (3.2)$$

Для такой сети Джексона можно использовать простой способ получения критериев работы сети.

СеМО и СМО называются ненадежными, если их приборы могут время от времени выходить из строя и требовать восстановления (ремонта), только после которого они могут возобновить обслуживание запросов как новые.

Прибор может выходить из строя в любой промежуток времени, когда он находится в рабочем состоянии и на нем обслуживается заявка. А значит, возникновение отказа – это случайное событие. Восстановление прибора так же происходит в течение экспоненциально распределенного времени.

Ввиду случающихся отказов при моделировании СУСС посредством СеМО необходимо принять во внимание показатели ограниченной надежности для отдельного элемента системы: коэффициент готовности  $k_r$  и средняя длительность простоя  $\tau_{п.}$

## 4 Моделирование системы TMN с помощью аппарата сетей массового обслуживания

### 4.1 Моделирование системы TMN с помощью сети очередей

#### 4.1.1 Обобщенная модель системы TMN

В этой главе будет выполнено моделирование работы системы TMN (Telecommunications Management Network – сеть управления телекоммуникациями) с помощью теоремы Джексона для сети очередей.

Системы TMN для управления сетями АТМ обычно имеют иерархическую структуру с четырьмя уровнями. На самом верхнем уровне размещается система управления всей сетью (Network Management System – NMS), ниже располагается уровень, состоящий из нескольких систем управления элементами сети (Element Management System – EMS).

Два нижних уровня занимают, соответственно, агенты и АТМ-коммутаторы, которые для совместной работы объединяются по принципу «один к одному». В соответствии с предположениями теоремы Джексона для такой системы построена сеть очередей и представлены формулы для вычисления следующих показателей качества функционирования: распределения длины очереди и времени ожидания, среднее время реакции (ответа) и максимальная пропускная способность. Также проведены численные расчеты и выполнен анализ полученных результатов.

На рисунке 4.1 отображена общая структура иерархической системы TMN для управления сетью АТМ.

Проблема анализа качества функционирования систем TMN ранее изучалась многими авторами. Но эти предыдущие исследования выполнялись только для единственной системы EMS, которая управляет несколькими АТМ-коммутаторами со своими агентами, т.е. наличие системы NMS не принималось во внимание. Однако реальные системы TMN, как правило, состоят из многих независимых подсистем, причем каждая из них играет ключевую роль в работе

всей системы. По этой причине анализ работы системы TMN должен охватывать все подсистемы, такие как NMS, несколько EMS, агенты и сетевые ресурсы.

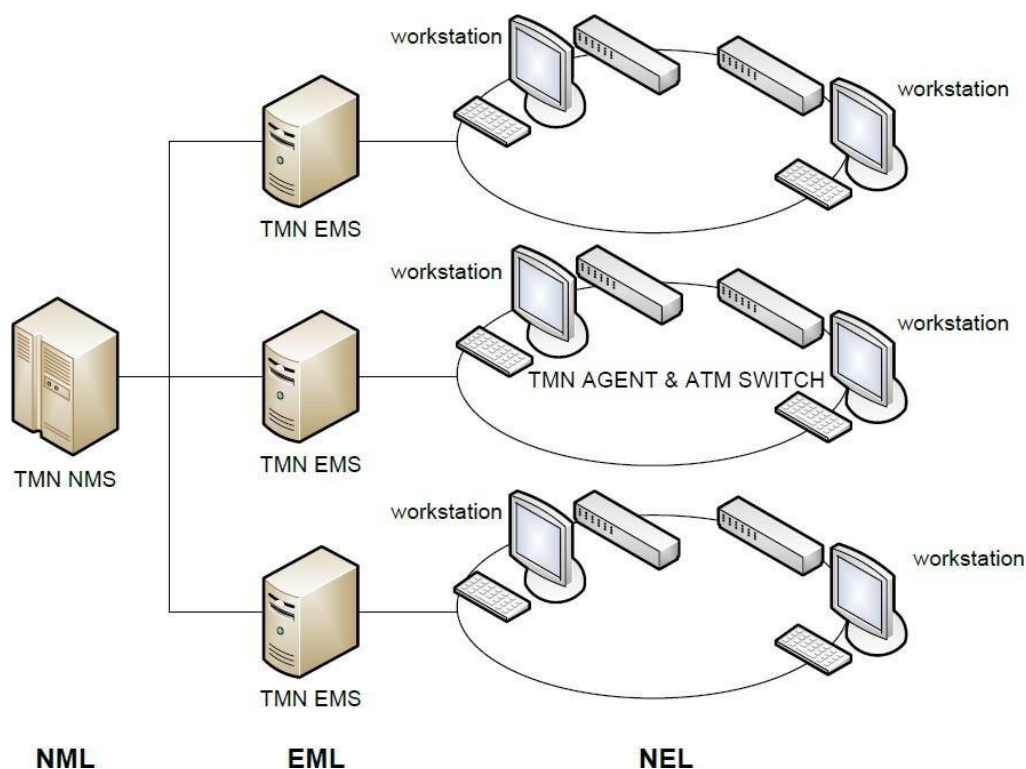


Рисунок 4.1 – Общая структура системы TMN для сети ATM

В настоящей работе с помощью сети Джексона проанализирован процесс функционирования системы TMN, которая имеет иерархическую структуру с четырьмя уровнями. Построена модель, представляющая собой сеть очередей с ненадежными обслуживающими устройствами, и даны формулы для вычисления основных показателей качества работы системы: распределения длины очереди и времени ожидания, среднее время ответа и максимальная пропускная способность. По результатам расчетов выполнен численный анализ указанных характеристик системы TMN.

При построении модели использованы следующие обозначения:

- *NI*: входная очередь системы NMS – для поступающих внешних команд управления (например, от персонала системы);
- *NO*: выходная очередь системы NMS – для уведомлений, которые приходят от EMS или формируются внутри NMS;

- $EI_i$ : входная очередь системы  $EMS_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) – для команд управления, полученных этой системой;
- $EO_i$ : выходная очередь системы  $EMS_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) – для уведомлений от соответствующих агентов или от самой  $EMS_i$ ;
- $AI_{ij}$ : входная очередь агента  $j$ , который подчиняется системе  $EMS_i$  ( $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n_i$ ) – для команд управления, полученных этим агентом;
- $AO_{ij}$ : выходная очередь агента  $j$ , который находится в подчинении у системы  $EMS_i$  ( $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n_i$ ) – для уведомлений от этого агента или соответствующего АТМ-коммутатора;
- $S_{ij}$ : очередь в коммутаторе  $j$ , который находится под управлением системы  $EMS_i$  ( $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n_i$ );
- $\lambda_k$ : интенсивность входного потока для очереди  $k$  (от внешних или внутренних источников);
- $\mu_k$ : интенсивность обслуживания для очереди  $k$ .

Рассмотрим модель для анализа работы системы TMN, которая управляет сетью АТМ. Моделирование осуществляется с помощью сети очередей, показанной на рисунке 4.2.

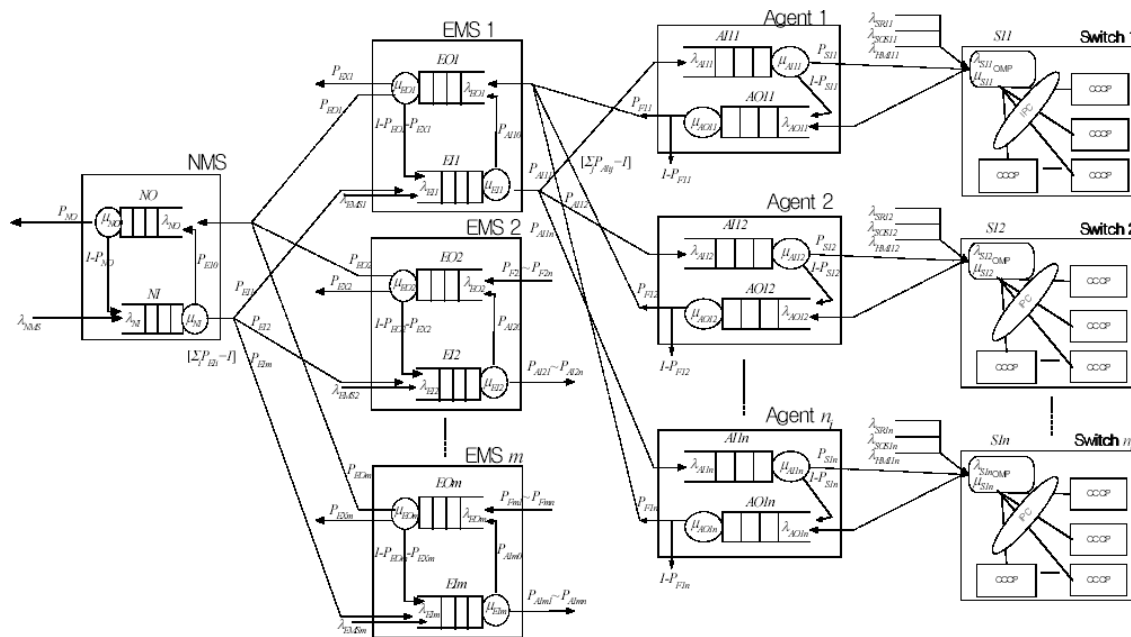


Рисунок 4.2 – Модель в виде сети очередей

#### 4.1.2 Модели для отдельных элементов исследуемой системы TMN

Рассмотрим сначала модель системы NMS. Входная очередь этой системы (NI) принимает два вида заявок, требующих обслуживания:

- команды управления от пользователя (оператора), для которого система NMS является рабочим местом (интенсивность этого потока внешних заявок равна  $\lambda_{NMS}$ );
- внутренние заявки, которые с вероятностью  $1-P_{NO}$  возникают в NMS после обработки уведомлений от систем EMS. С вероятностью  $P_{EIO}$  полное обслуживание заявок из очереди NI происходит только в пределах NMS, а другие команды после обработки в NMS с вероятностью  $P_{Eli}$  ( $i=1, \dots, m$ ) направляются в систему  $EMS_i$ . Вполне естественно, что при этом должно выполняться условие  $\sum_i P_{Eli}=1$ .

Выходная очередь (NO) в системе NMS имеет дело с уведомлениями, которые поступают от систем 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  $1-P_{NO}$  происходит возврат заявки во входную очередь NI для повторной обработки.

Входная очередь ( $EI_i$ ) в системе  $EMS_i$  может содержать три типа заявок на обслуживание:

- внешние команды, поступающие с интенсивностью  $\lambda_{EMS_i}$  от пользователя, который использует  $EMS_i$  как свое рабочее место;
- внешние команды от системы NMS;
- внутренние заявки, которые с вероятностью  $1-P_{EOi}-P_{EXi}$  возникают в  $EMS_i$  после обработки уведомлений от своих агентов. С вероятностью  $P_{Aii0}$  ( $i=1, \dots, m$ ) полная обработка этих заявок будет происходить только в пределах  $EMS_i$ , а с вероятностью  $P_{Aij}$  ( $j=1, \dots, n_i$ ) обслуженные заявки из очереди  $EI_i$  посылаются агенту  $j$ , который находится под управлением системы  $EMS_i$ . При этом соблюдается равенство  $\sum_i P_{Aij}=1$ .

Выходная очередь ( $EO_i$ ) в системе  $EMS_i$  предназначена для приема 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 вероятностью  $P_{EOi}$  заявка будет направлена в очередь  $NO$ ;
- с вероятностью  $P_{EXi}$  заявка покидает сеть очередей;
- с вероятностью  $1-P_{EOi}-P_{EXi}$  заявка посылается обратно в очередь  $EI_i$  для повторной обработки.

Для каждого агента источником команд управления является соответствующая система EMS. Агент  $j$ , который находится под управлением системы  $EMS_i$ , хранит поступающие команды в своей очереди  $AI_{ij}$ . С вероятностью  $P_{Sij}$  обработанные команды пересылаются коммутатору, который непосредственно подчиняется рассматриваемому агенту, а с вероятностью  $1-P_{Sij}$  обработка команды завершается посылкой внутреннего уведомления в выходную очередь этого агента  $AO_{ij}$ . Кроме того, каждый агент может принимать внешние уведомления от своего коммутатора – как результат успешного выполнения команд управления.

Уведомления, накапливаемые в очереди  $AO_{ij}$ , анализируются соответствующим агентом, который способен выполнять функции объединения и фильтрации полученных данных. Как следствие, системе  $EMS_i$  будет передана только часть уведомлений, определяемая вероятностью  $P_{Fij}$ .

Для каждого АТМ-коммутатора существует четыре типа заявок, которые должны обрабатываться процессором эксплуатации и технического обслуживания (Operation and Maintenance Processor – OMP) в составе коммутатора. При рассмотрении коммутатора  $S_{ij}$ , который находится под управлением системы  $EMS_i$ , можно выделить следующие потоки заявок:

- от соответствующего агента (т.е. из очереди  $AI_{ij}$ );
- от внутренних процессоров, которые управляют основными функциями коммутатора и формируют аварийные сообщения, если обнаруживается неправильное выполнение этих функций (интенсивность  $\lambda_{SRij}$ );

- от системы эксплуатации, которая осуществляет наблюдение за работой АТМ-коммутатора и реализует задачи административного управления (интенсивность  $\lambda_{SOSij}$ );

- от средств интерфейса «человек-машина» (Human-Machine Interface – HMI) рассматриваемого АТМ-коммутатора (интенсивность  $\lambda_{HMIij}$ ). После обработки этих заявок процессором ОМР соответствующие уведомления посылаются в очередь  $AO_{ij}$ .

В сети Джексона, которая моделирует исследуемую систему TMN, имеется  $2+2m+m(2n_i+n_i)$  бесконечных очередей заявок. Параметры  $a_u$  для этих очередей соответствуют рассмотренным ранее интенсивностям поступления команд и сообщений (уведомлений):  $\lambda_{NMS}$ ,  $\lambda_{EMSi}$ ,  $\lambda_{SRij}$ ,  $\lambda_{HMIij}$ ,  $\lambda_{SOSij}$ .

Для каждой очереди есть только одно обслуживающее устройство ( $s_u=1$ ). Вероятности  $p_{uv}$  и  $q_u$  для ветвей, связывающих очереди в рассматриваемой сети Джексона, соответствуют вероятностям обмена командами и сообщениями между отдельными элементами системы TMN:  $P_{NO}$ ,  $P_{Eli}$ ,  $P_{EOi}$ ,  $P_{EXi}$ ,  $P_{Alij}$ ,  $P_{Sij}$ ,  $P_{Fij}$ .

#### 4.1.3 Критерии качества функционирования

С использованием рассмотренной модели можно оценить следующие показатели качества функционирования системы TMN:

- распределение длины очереди (т.е. количества ожидающих заявок);
- распределение времени ожидания ответа на запрос к системе;
- среднее время ответа на запрос (т.е. среднее время, необходимое для обслуживания запроса);
- максимальная пропускная способность системы (т.е. максимальное количество запросов к системе, обработанных за единицу времени).

Очень важно, что эти показатели позволяют анализировать качество функционирования всей системы TMN, а не отдельных элементов, входящих в состав системы.

## 4.2 Анализ качества функционирования

В этом разделе произведён расчет перечисленных выше критериев качества функционирования системы TMN, имеющей многоуровневую структуру. Вывод формул основан на применении теоремы Джексона к построенной сети очередей. По отношению к каждой очереди в этой сети действуют следующие предположения:

- интервалы времени между поступающими заявками независимы друг от друга и распределены по экспоненциальному закону (т.е. входной поток заявок — Пуассоновский);
- случайное время обработки заявки также имеет экспоненциальное распределение;
- обработку заявок осуществляет одно обслуживающее устройство;
- длина очереди не ограничена. Таким образом, работа исследуемой системы TMN моделируется с помощью сети, состоящей из независимых систем массового обслуживания типа  $M/M/1$ .

В таблице 4.1 приведены формулы, которые позволяют найти интенсивности поступления заявок и коэффициенты использования обслуживающих устройств для всех очередей рассматриваемой сети Джексона.

Таблица 4.1 – Интенсивность поступления заявок и коэффициент использования обслуживающего устройства для каждой очереди

| Очередь   | $\lambda_k$   | $\rho_k$                          |
|-----------|---|-----------------------------------|
| $NI$      | $\lambda_{NMS} + (1 - P_{NO})\lambda_{NO}$                                      | $\lambda_{NI}/\mu_{NI}$           |
| $NO$      | $P_{EIO}\lambda_{NI} + \sum_{i=1}^m P_{EOi}\lambda_{EOi}$                       | $\lambda_{NO}/\mu_{NO}$           |
| $EI_i$    | $\lambda_{EMS_i} + P_{EII}\lambda_{NI} + (1 - P_{EOi} - P_{EX_i})\lambda_{EOi}$ | $\lambda_{EI_i}/\mu_{EI_i}$       |
| $EO_i$    | $P_{AIij}\lambda_{EI_i} + \sum_{j=1}^n P_{Fij}\lambda_{AOij}$                   | $\lambda_{EOi}/\mu_{EOi}$         |
| $AI_{ij}$ | $P_{AIij}\lambda_{EI_i}$  | $\lambda_{AI_{ij}}/\mu_{AI_{ij}}$ |
| $AO_{ij}$ | $\lambda_{Sij} + (1 - P_{Sij})\lambda_{AI_{ij}}$                                | $\lambda_{AO_{ij}}/\mu_{AO_{ij}}$ |
| $S_{ij}$  | $\lambda_{SRij} + \lambda_{SOSij} + \lambda_{HMIij} + P_{Sij}\lambda_{AI_{ij}}$ | $\lambda_{Sij}/\mu_{Sij}$         |

Коэффициенты использования ( $\rho_k$ ) устройств, которые обслуживают заявки из отдельных очередей сети Джексона ( $k=1, 2, \dots, m$ ), являются важными

параметрами, характеризующими загруженность элементов исследуемой системы TMN.

Среднее время нахождения заявки в  $k$ -й очереди (включая время непосредственной обработки заявки) можно рассчитать по формуле Литтла с учетом выражения:

$$W_k = 1/(\mu_k - \lambda_k). \quad (4.1)$$

С учетом показателей ограниченной надежности обслуживающего устройства, а именно коэффициента готовности ( $k_2$ ) и средней длительности простоя ( $\tau_{\text{п}}$ ), формула для расчёта времени нахождения заявки в  $k$ -й очереди приобретает следующий вид:

$$W_k = 1/(\mu_{\Sigma} - \lambda_k) * (1 + \mu_{\Sigma} k_{\text{п}} \tau_{\text{п}}), \quad (4.2)$$

где  $\mu_{\Sigma} = k_{\Gamma} \mu_k$  и  $k_{\text{п}} = 1 - k_{\Gamma}$ .

Сложнее вычислить  $W_{\text{total}}$  – это среднее значение общего времени нахождения заявки в пределах всей системы (включая время, которое потребовалось на непосредственную обработку заявки соответствующими устройствами).

Простое суммирование найденных значений  $W_k$  для всех очередей сети 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. Однако остается справедливой формула Литтла, согласно которой интенсивность ( $\lambda_{\text{total}}$ ) общего потока заявок, входящих в систему, равна сумме интенсивностей внешних потоков для отдельных очередей:

$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\text{NMS}} + \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{EMSi}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\lambda_{\text{SRij}} + \lambda_{\text{SOSij}} + \lambda_{\text{HMIij}}). \quad (4.3)$$

Отсюда получаем:

$$W_{\text{total}} = \frac{L_{\text{total}}}{\lambda_{\text{total}}} = \frac{\sum_k \rho_k}{\lambda_{\text{NMS}} + \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{EMSi}} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\lambda_{\text{SRij}} + \lambda_{\text{SOSij}} + \lambda_{\text{HMIij}})} \quad (4.4)$$

Скорость реакции исследуемой системы TMN будем измерять длительностью интервала времени, который начинается от момента поступления команды управления в систему NMS и завершается моментом получения ответного сообщения оператором NMS. Обработка команды управления может последовательно осуществляться на разных уровнях анализируемой системы TMN с участием подсистем NMS и EMS, а также агента и АТМ-коммутатора, поэтому среднее значение времени реакции ( $W_{NMS}$ ) равно:

$$W_{NMS} = W_{NI} + P_{EOI}W_{NO} + (1-P)[\sum^m P_{Eli}\{W + P(W + W) + (1-P)a\}], \quad (4.5)$$

где

$$a = \sum_{i=1}^n P_{Alij} \{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{AOij} W_{Sij} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{EOi} W_{NO} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{Alij} W \}$$

Далее представлены результаты численного анализа показателей качества функционирования для системы TMN, которая включает в себя одну систему NMS, m систем EMS, n агентов и столько же АТМ-коммутаторов.

Предполагается, что все однотипные элементы системы являются эквивалентными с точки зрения значений своих структурных и функциональных параметров, т.е.:

$$\begin{aligned} n_1 &= n_2 = \dots = n_m = n, \\ P_{EO1} &= P_{EO2} = \dots = P_{EOm}, \\ P_{EI1} &= P_{EI2} = \dots = P_{EIm}, \\ P_{Si1} &= P_{Si2} = \dots = P_{Sin}, \\ \lambda_{EMS1} &= \lambda_{EMS2} = \dots = \lambda_{EMS m}, \\ \lambda_{SRI1} &= \lambda_{SRI2} = \dots = \lambda_{SRIn}, \end{aligned}$$

$$\mu_{EO1}=\mu_{EO2}=\dots=\mu_{EOi}.$$

Данное предложение существенно упрощает задачу построения демонстрационного примера, который служит только иллюстрацией потенциальных возможностей предлагаемой методики анализа качества функционирования системы TMN.

Среднее время, в течение которого пользователь системы NMS получит ответ на введенную команду управления:

$$W_{TUV} = W_{T^{\wedge}} + P_{W\backslash^{\wedge}} W_{T\backslash} + (1 - P_{W\backslash^{\wedge}}) \cdot \\ \cdot W_{W^{\wedge}X} + P_{h^{\wedge}X\backslash} (W_{W\backslash X} + W_{T\backslash}) + (1 - P_{h^{\wedge}X\backslash}) \cdot p W_{h^{\wedge}X[} + W_{h\backslash X[} + P_{VX[} W_{VX[} + W_{W\backslash X} + W_{T\backslash} qx \quad (4.7)$$

Значения параметров, использованных в этом анализе, таковы:

- интенсивности внешних заявок:

$$\lambda_{EMS}=0,07, \lambda_{SR}=0,07, \lambda_{HMI}=0,07, \lambda_{SOS}=0,07;$$

- вероятности распределения заявок:

$$P_{NO}=0,99, P_{EIO}=0,1, \\ P_{Eli}=(1-P_{EIO})/m, P_{EOi}=0,5, \\ P_{EXi}=0,49, P_{ES}=1-P_{EOi}-P_{EXi}, \\ P_{AliO}=0,1, P_{Alij}=(1-P_{AliO})/n, \\ P_{Sij}=0,5, P_{Fij}=0,9;$$

- интенсивности обслуживания заявок:

$$\mu_{NI}=2,9, \mu_{NO}=2,78, \\ \mu_{Eli}=2,9, \mu_{EOi}=2,78, \\ \mu_{AOij}=2,15, \mu_{Alij}=4,12, \mu_{Sij}=7,31.$$

Расчеты проводились с помощью пакета MathCAD, текст используемой программы представлен в Приложении А.

Проанализируем время реакции системы управления при различных значениях коэффициента готовности отдельных элементов этой системы. Можно

сказать, что коэффициент готовности – это вероятность того, что в произвольный момент времени рассматриваемый элемент готов к работе по назначению.

Когда коэффициент готовности равен единице – все элементы системы работают исправно, т.е. система идеальна. В реальной же жизни такое практически невозможно, поэтому будет рассмотрена более реальная ситуация, когда на одном или нескольких уровнях системы управления сетью АТМ значение коэффициента готовности будет меньше единицы.

Для начала рассмотрим случай, когда коэффициент готовности на первом уровне системы управления, т.е. на уровне управления всей сетью (Network Management System – NMS), имеет значение  $k_r=0.995$ , а значение коэффициента готовности на остальных уровнях (уровень EMS, уровень агентов, уровень АТМ-коммутаторов) будет равным единице.

Рисунок 4.3 позволяет проанализировать время реакции системы.

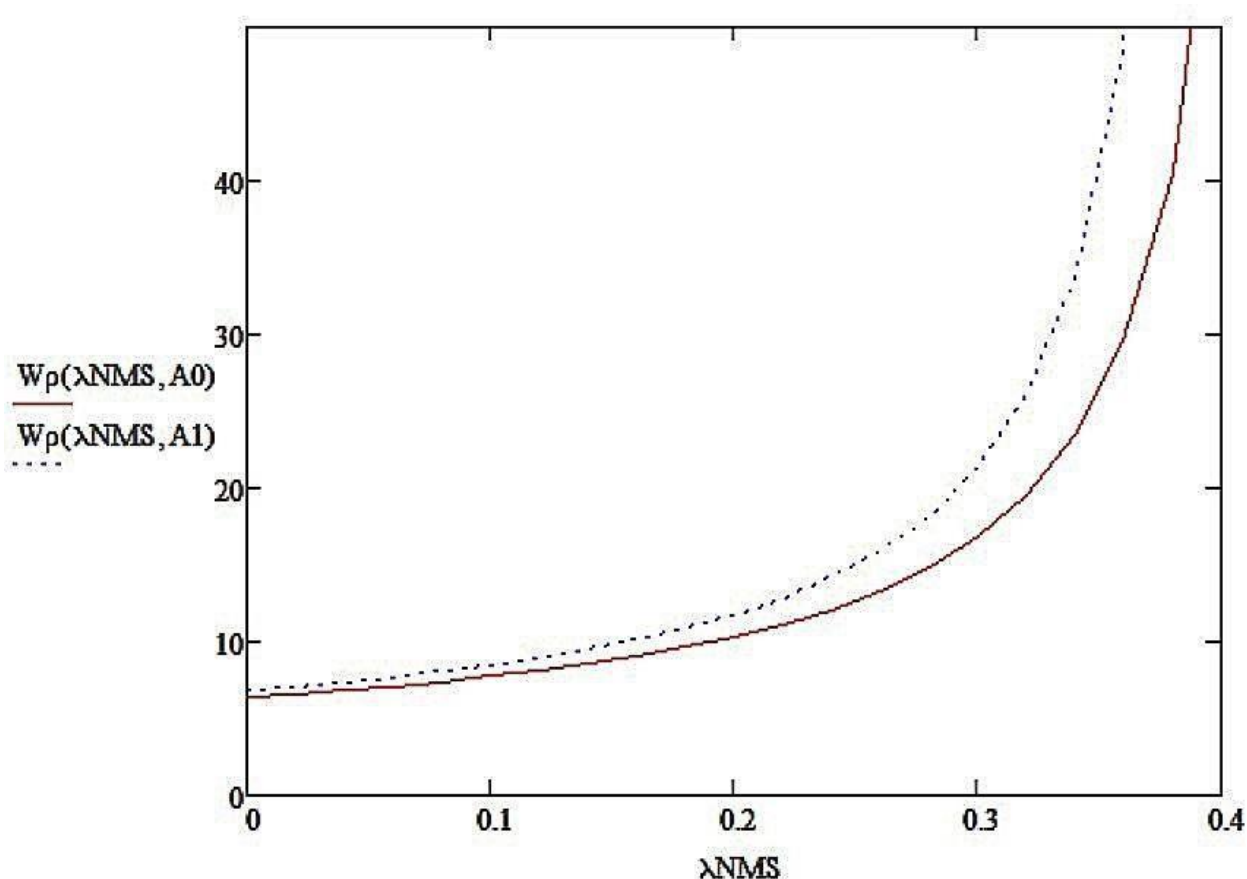


Рисунок 4.3 – Время реакции системы при  $k_{r1}=0,995$ ,  $k_{r2}=k_{r3}=k_{r4}=1$

На рисунке 4.3 красным цветом отображается идеальная ситуация – когда система работает исправно. Также из графика можно понять, что когда коэффициент готовности на уровне управления всей сетью (NMS) меньше единицы, то время нахождения заявки в  $k$ -й очереди  $W_p$  (время реакции системы) значительно увеличивается.

Аналогичные графики получатся и в случае, когда коэффициент готовности на разных уровнях сети АТМ будет равен:

- $k_{r2}=k_{r3}=1, k_{r1}=0,995, k_{r4}=0,97$ ;
- $k_{r1}=0,995, k_{r2}=0,99, k_{r3}=1, k_{r4}=0,97$ .

Если значение коэффициента готовности на втором уровне, т.е. на уровне EMS, будет иметь значение меньше единицы, то по рисунку 4.4 можно сделать вывод, что система почти близка к идеальной и время реакции системы практически не отличается.

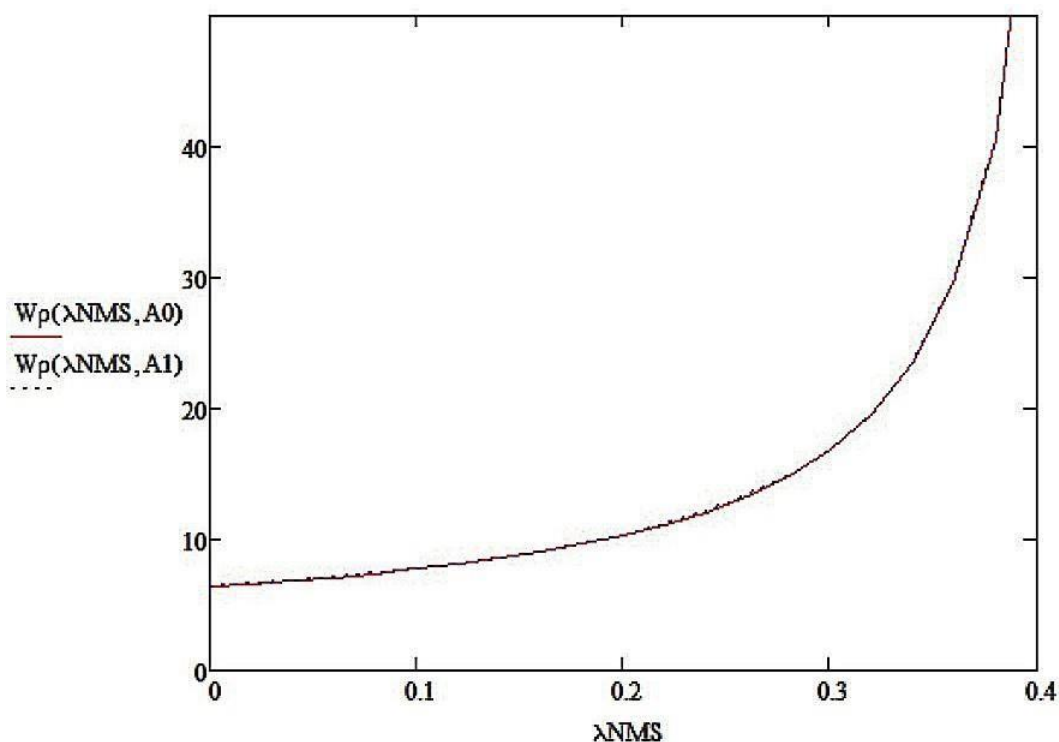


Рисунок 4.4 – Время реакции системы при  $k_{r2}=0,99, k_{r1}=k_{r3}=k_{r4}=1$

Аналогичные графики получаются и в случае, когда коэффициент готовности на разных уровнях сети АТМ равен:

- $k_{r3}=0,98, k_{r1}=k_{r2}=k_{r4}=1$ ;

- $k_{r4}=0,97, k_{r1}=k_{r2}=k_{r3}=1;$
- $k_{r1}=k_{r2}=1, k_{r3}=0,98, k_{r4}=0,97.$

Для наглядности работы системы при ограниченной надежности ее элементов на разных уровнях на рисунке 4.5 представлен график, на котором красным цветом отображается идеальная ситуация – когда система работает исправно. Другие же кривые позволяют понять, что показатели надежности влияют на ее производительность – чем хуже надежность системы управления сетью связи, тем время реакции больше.

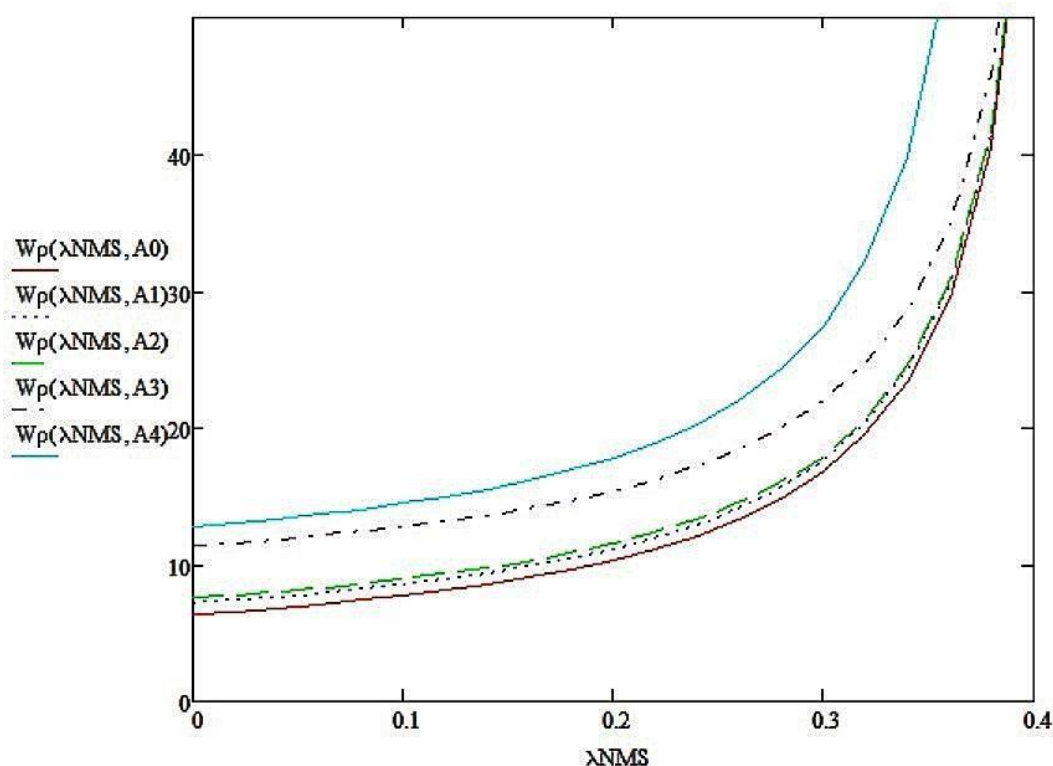


Рисунок 4.5 – Наглядность работы системы при ограниченной надежности ее элементов

Вывод: Используя полученные результаты, можно сказать, что коэффициент готовности элементов системы, занимающихся обработкой поступающих запросов, значительно влияет на конечные задержки в системе. Для любой системы можно подобрать свои параметры, чтобы она работала более продуктивно и с минимальными задержками.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенному анализу, результаты расчетов анализируемой математической модели для систем с применением многоуровневой иерархической архитектуры существенно зависят от структурных параметров системы (количество модулей EMS, агентов, АТМ-коммутаторов). А также от объема внутрисистемного трафика, на который оказывают существенное влияние интенсивности внешних заявок (управляющие команды от операторов системы и уведомления, поступающие от сетевых ресурсов), и от коэффициента готовности элементов системы, обрабатывающих поступающие заявки.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что даже при незначительном понижении коэффициента готовности элементов системы относительно идеальной надежности, время задержки обслуживания поступающих заявок заметно растет.

Эти результаты могут использоваться при проектировании системы управления сетью связи, когда требуется выбрать оптимальную структуру системы, и учесть все аспекты для улучшения функционирования системы. Для достижения максимальной эффективности каждой системы необходимо подбирать свои параметры. Но можно точно утверждать, что показатели надежности значительно влияют на производительность, поэтому улучшать надежность системы – это одна из важнейших задач при проектировании систем управления сетью связи.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 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) Курс лекций на тему «Моделирование систем массового обслуживания» URL: [http://knowledge.allbest.ru/radio/2c0b65635a3ac68a4c43b88521316d37\\_1.html](http://knowledge.allbest.ru/radio/2c0b65635a3ac68a4c43b88521316d37_1.html) (дата обращения: 13.04.2020г.).
- 6) Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики: учебное пособие. – К.: НАУ, 2004. – 164с.
- 7) Мейкшан В.И., Мейкшан Л.И. Оптимальное распределение ресурсов при повышении качества функционирования информационной системы. // Доклады АН ВШ России, 2006, №2(7).
- 8) Мейкшан В.И. Анализ приоритетных дисциплин обслуживания в иерархической системе управления сетями связи. // Вестник СибГУТИ. 2013. №4.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Листинг программы

$n := 5 \quad m := 5 \quad \lambda_{EMS} := 0.07 \quad \lambda_{SR} := 0.07 \quad \lambda_{HMI} := 0.07 \quad \lambda_{SOS} := 0.07$

$\lambda_{sw} := \lambda_{SR} + \lambda_{HMI} + \lambda_{SOS}$

$PNO := 0.99 \quad PNS := 1 - PNO \quad PEIO := 0.1 \quad PEI := \frac{(1 - PEIO)}{m}$

$PEO := 0.5 \quad PEX := 0.49 \quad PES := 1 - PEO - PEX$

$PAIO := 0.1 \quad PAI := \frac{(1 - PAIO)}{n} \quad PS := 0.5 \quad PF := 0.9$

$$A := \begin{bmatrix} 1 & -PNS & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -PEIO & 1 & 0 & -m \cdot PEO & 0 & 0 & 0 \\ -PEI & 0 & 1 & -PES & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -PAIO & 1 & 0 & -n \cdot PF & 0 \\ 0 & 0 & -PAI & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -(1 - PS) & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -PS & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{pmatrix} \mu_{NI} \\ \mu_{NO} \\ \mu_{EI} \\ \mu_{EO} \\ \mu_{AI} \\ \mu_{AO} \\ \mu_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.9 \\ 2.78 \\ 2.9 \\ 2.78 \\ 4.12 \\ 2.15 \\ 7.31 \end{pmatrix} \quad d := 0.4$$

$$W(\lambda, \mu, kg) := \begin{cases} \mu e \leftarrow \mu \cdot kg \\ W \leftarrow 1000 \\ W \leftarrow \frac{1}{\mu e - \lambda + 0.00000001} \left[ 1 + \frac{\mu e}{d} \cdot (1 - kg) \right] \text{ if } \lambda < \mu e \end{cases}$$

$$Wp(\lambda_{NMS}, Akg) := \begin{cases} B \leftarrow (\lambda_{NMS} \ 0 \ \lambda_{EMS} \ 0 \ 0 \ 0 \ \lambda_{sw})^T \\ \begin{pmatrix} \lambda_{NI} \\ \lambda_{NO} \\ \lambda_{EI} \\ \lambda_{EO} \\ \lambda_{AI} \\ \lambda_{AO} \\ \lambda_S \end{pmatrix} \leftarrow A^{-1} \cdot B \\ WNI \leftarrow W(\lambda_{NI}, \mu_{NI}, Akg_0) \\ WNO \leftarrow W(\lambda_{NO}, \mu_{NO}, Akg_0) \\ WEI \leftarrow W(\lambda_{EI}, \mu_{EI}, Akg_1) \\ WEO \leftarrow W(\lambda_{EO}, \mu_{EO}, Akg_1) \\ WAI \leftarrow W(\lambda_{AI}, \mu_{AI}, Akg_2) \\ WAO \leftarrow W(\lambda_{AO}, \mu_{AO}, Akg_2) \\ WS \leftarrow W(\lambda_S, \mu_S, Akg_3) \\ W \leftarrow WNI + PEIO \cdot WNO + (1 - PEIO) \cdot \left[ \frac{WEI + PAIO \cdot (WEO + WNO) \dots}{+ (1 - PAIO) \cdot (WAI + WAO + PS \cdot WS + WEO + WNO)} \right] \\ W \end{cases}$$

$$A0 := (1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$$

$$A1 := (0.995 \ 0.99 \ 0.98 \ 0.97)^T$$

$$\lambda_{NMS} := 0, 0.02..0.4$$

[illegible]