

Основной целью данной диссертации является анализ показателей качества обслуживания пакетов на основе теории нечетких множеств.

Основными задачами данной магистерской диссертации являются:

1. Анализ методов и характеристик качества обслуживания, в сетях следующего поколения.
2. Оценки качества обслуживания на основе нечеткого множества
3. Разработка нечеткой системы оценки качества обслуживания в среде Matlab (fuzzy tech).

Узбекское Агентство Связи и Информатизации
Ташкентский Университет Информационных Технологий

На правах рукописи

Абасханов Шарофиддин Абдурашидович

Нечетко-множественный анализ показателей обслуживания в сетях
с коммутацией пакетов
Специальность: (5А522202 - Сети связи, узлы и распределения информации)

Диссертация

На соискание степени магистра телекоммуникаций

Работа рассмотрена
и допускается к защите
зав. кафедрой ТС и СК
Эшмурадов А.М. _____
« ____ » _____ 2012 г.

Научный руководитель
к.т.н. Амирсаидов У.Б. _____

Ташкент-2012

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДОЛОГИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ NGN	8
1.1. Основы качества обслуживания в сетях NGN	8
1.2. Характеристики качества функционирования сети.....	16
1.3. Требования к качеству обслуживания типовых услуг NGN	19
Выводы...	
2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ	28
2.1. Методы оценки качества ITU-T.....	28
2.2. Метод оценки качества речи.....	36
2.3. Метод оценки качества передача данных	44
Выводы.....	48
3. НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ	49
3.1. Основы нечетко множественного анализа	49
3.2. Метод оценки качества на основе нечеткого множества	60
3.3. Нечетко - множественной анализ качества обслуживания в среде Matlab.....	67
Выводы.....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	83
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	85

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Узбекистан на сегодняшний день наблюдается положительная тенденция - ускоренный рост услуг связи и информатизации, которые за год возросли на 41,6 процента. Это обеспечено в первую очередь за счет увеличения количества абонентов, пользующихся услугами мобильной связи и сети Интернет. Сегодня около 8 миллионов человек являются активными пользователями сети Интернет.[1]

В нашем государстве, как и во всем мировом сообществе, внедряются Сети Следующего Поколения (NGN). Операторы и провайдеры телекоммуникаций решают внедрением NGN бизнес - задачи по обеспечению роста доходности и удержания абонентской базы. При этом модернизация устаревшего оборудования и введение новых универсальных услуг требует больших инвестиций, как в оборудование, так и в обучение персонала.

Сети следующего поколения, позволяют на основе одной универсальной среды предоставлять различные телекоммуникационные услуги - услуги видеотелефонной связи, видеоконференций, высокоскоростного доступа в Интернет и высокоскоростной передачи данных, комплекс IP-телевидения, услуги по созданию мультисервисных корпоративных сетей, IP-телефония и услуги документооборота. На практике функционирование этих сетей позволит сделать предоставляемые услуги мобильными и доступными независимо от географии участников коммуникации.

В Узбекистане созданы все необходимые предпосылки для плавного перехода от традиционных сетей телекоммуникаций к сетям NGN. На сегодняшний день ряд компаний Узбекистана, представляющих коммуникационные услуги, продолжают развивать сети NGN или их фрагменты. Это относится к АК «Узбектелеком», операторам сотовой связи,

компаниям интернет провайдерам. Однако эволюция традиционных сетей телекоммуникаций к сетям NGN требует решения целого ряда задач, относящихся к архитектуре сети, регулированию деятельности операторов и межсетевому взаимодействию, организацию синхронизации в сетях NGN.

Узбекистан является 13 страной мира, в которой был реализован проект по созданию сети NGN. Инициатором проекта выступило СП «East Telecom». Данная технология дает возможность предоставлять различные виды услуг речи, видео, данные через единую универсальную многопротокольную мультисервисную сеть, открывая новые горизонты для развития новых приложений.

Актуальность темы научного исследования. В последнее время наблюдается бурное развитие информационных технологий, что связано с переходом от постиндустриального общества к информационному. Технической основой построения информационного общества является Глобальная информационная инфраструктура, включающая в свой состав телекоммуникационную подсистему. От телекоммуникационной подсистемы требуется обеспечение возможности передачи любого вида информации, из любой точки мира, в любое время. В настоящее время в качестве такой сети рассматриваются сети связи, построенные согласно концепции NGN. Сети NGN ориентируются при своем построении на использование современных телекоммуникационных технологий, отличаются архитектурой от ранее используемых и не ограничиваются количеством предоставляемых услуг и видов передаваемой информации. Перечисленные свойства внедряемой сети выдвигают новые требования к проектированию. В процессе проектирования решаются такие задачи как: синтез структуры будущей системы, синтез топологии и выбор параметров элементов системы.

Цели и задачи исследования. Основной целью данной диссертации является анализ показателей качества обслуживания пакетов на основе теории нечетких множеств.

Основными задачами данной магистерской диссертации являются:

1. Анализ методов и характеристик качества обслуживания, в сетях следующего поколения.
2. Оценки качества обслуживания на основе нечеткого множества
3. Разработка нечеткой системы оценки качества обслуживания в среде Matlab (fuzzy tech).

Научная новизна диссертационной работы. Разработана имитационная модель на основе нечеткого множества для оценки качества обслуживания на основе пакетов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Анализ характеристик качества функционирования сети.
2. Требования к качеству обслуживания типовых услуг NGN.
3. Методы оценки качества ITU-T.
4. Оценки качества обслуживания сети следующего поколения на основе нечеткого множества

Методология научного исследования. Для решения задач поставленных в данной диссертации использованы элементы имитационного моделирования и методы теории нечетких множеств.

Объекты и предмет исследования. Объектом диссертационного исследования являются мультисервисные сети связи. Предметом исследования являются методы оценки качества обслуживания пакетов.

Практическая ценность научного исследования. Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что разработанная нечеткое

система оценки качества обслуживания можно использовать в составлении соглашения об уровне качества обслуживания (SLA) между оператором и пользователем сети

Апробация результатов работы. Результаты исследований и выполненных работ по теме диссертации обсуждались на Республиканской научно-технической конференции “Технологии информации - коммуникации” 4 - 5 марта 2008 г. и были изложены в следующих докладах:

1. «Анализ технической возможности NGN технологий», 4-5 марта 2008 г.
2. «Роль NGN технологии в современной технологии», 4-5 марта 2008 г.

1.МЕТОДОЛОГИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ NGN

1.1.Основы качества обслуживания в сетях NGN

Термин NGN (Next Generation Network – сеть следующего поколения) стал встречаться в специальной литературе начиная с 2000 г., однако четкого определения данного понятия не сформировалось до сих пор. Активно использующие этот термин специалисты сходятся в одном: сети NGN основаны на пакетных технологиях передачи и обеспечивают функциональные возможности «Triple Play» (коммерческой концепции, применяемой поставщиками телекоммуникационных услуг для обозначения совместного предоставления пользователю услуг передачи речи, видео и данных)[2]. Разработкой международных стандартов для NGN занимаются Международный союз электросвязи (МСЭ, рекомендации серии Y.2000 «Глобальная информационная структура, аспекты протокола Интернет и сети следующего поколения»), проект TISPAN (Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks) в рамках Европейского Института по стандартизации в области телекоммуникаций (European Telecommunications Standards Institute, ETSI), а также организация 3rd Generation Partnership Project (3GPP). TISPAN и 3GPP являются авторами концепции IMS (Internet Protocol-based Multimedia Subsystem) и разрабатывают основанное на подсистеме IMS ядро сети NGN, которое может использоваться для построения как беспроводных, так и фиксированных сетей связи.

Следует понимать, что NGN – не конкретная сеть, а концепция развития сетей связи в направлении создания универсальной сетевой инфраструктуры, которая позволяла бы переносить любые виды информации и предоставлять пользователям любые услуги, независимо от времени и места расположения. Способом реализации концепции NGN является создание мультисервисных сетей связи, ориентированных на

предоставление самого широкого спектра услуг в рамках единой сетевой структуры. На сегодняшний день концепция NGN находится на этапе исследований и становления, причем чаще формулируются требования к NGN и задачи изучения, а не конкретные решения. Приведем определения NGN в соответствии с документами ведущих международных организаций по стандартизации. Под *сетями связи следующего поколения* институт ETSI понимает *«сеть связи на базе технологии коммутации пакетов, способную обеспечивать предоставление услуг связи и пригодную для использования различных транспортных высокоскоростных технологий, обеспечивающих качество обслуживания, в которой функции, связанные с предоставлением услуг, не зависят от технологии транспортной сети»*. В документах МСЭ-Т это определение дополнено следующим образом: *«...NGN обеспечивает неограниченный доступ пользователей к сетям связи и конкурирующим между собой поставщикам услуг и/или услугам связи, выбираемым самими пользователями. Сеть поддерживает универсальную мобильность, которая обеспечивает постоянное и повсеместное предоставление услуг связи пользователям»*[3].

Ключевыми особенностями сети NGN являются:

- использование режима коммутации пакетов для передачи данных;
- разделение функций управления на функции, связанные с управлением транспортом, управлением вызовами/сессиями и приложениями/услугами;
- отделение процесса предоставления услуг от процесса транспорта, использование открытых интерфейсов;
- поддержка большого набора услуг, приложений и механизмов, основанных на конструктивных блоках, включая потоковые услуги, услуги в режиме реального и нереального времени, мультимедийные услуги;
- поддержка широкополосных технологий со сквозным («из конца в конец», end-to-end) обеспечением качества обслуживания;

- взаимодействие с существующими сетями через открытые интерфейсы;
- мобильность в обобщенном смысле (generalized mobility);
- неограниченный доступ пользователей к различным поставщикам услуг;
- множество схем идентификации абонента;
- одни и те же характеристики для одинаковых с точки зрения пользователя услуг;
- конвергенция услуг мобильных и фиксированных сетей;
- независимость услуг - ориентированных функций от используемых транспортных технологий;
- поддержка различных технологий для реализации сети доступа и др.

Одними из наиболее актуальных вопросов при предоставлении услуга связи являются вопросы качества обслуживания. Высокий уровень качества важен как для пользователя, так и для поставщика услуг, при этом принципиальным является гарантированность качества предоставляемых услуг, когда пользователь имеет возможность выбирать требуемый ему уровень обслуживания, а поставщик услуг принимает на себя обязательства этот уровень обеспечить.



Рис.1.1 Архитектура сети следующего поколения

Оценка качества в сети следующего поколения производится на трех уровнях:

- на уровне пользователя оцениваются показатели субъективного мнения человека, например субъективная оценка качества восприятия отдельного вида информации;
- на уровне услуг оцениваются различные аспекты качества услуги, такие как скорость передачи данных, механизмы кодирования и многое другое;
- на транспортном уровне оценивается качество функционирования сети: задержки, потери, вариация задержки и т. д.

На каждом уровне определены соответствующие параметры оценки качества: показатели качества восприятия (Quality of Experience, QoE) на уровне пользователя, показатели качества обслуживания (Quality of Service, QoS) на уровне услуг и показатели качества функционирования сети (Network Performance, NP) на транспортном уровне. На рис 1.2 показана трехуровневая модель оценки качества и соответствующие параметры оценки.

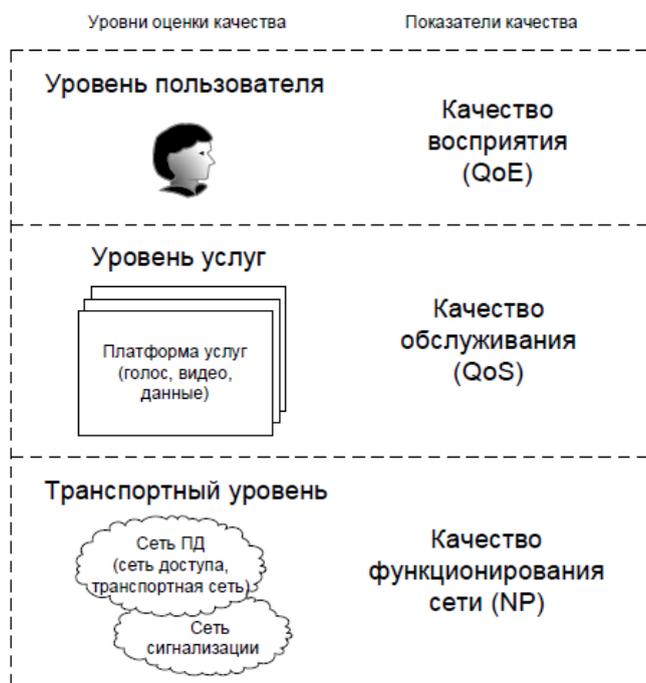


Рис. 1.2. Трехуровневая модель оценки качества

Качество восприятия определяется как общая приемлемость услуги или приложения с точки зрения конечного пользователя. Влияние на оценку

пользователя может оказывать как эффективность функционирования всех элементов системы, включая терминалы, сеть, клиентское оборудование, инфраструктуру сервисов, так и субъективные факторы, такие как ожидание пользователя, связанные с предоставляемой ему услугой, и контекст применения, а также параметры его зрения и слуха. Пользователь интуитивно оценивает качество данной услуги, сравнивая его с качеством подобных услуг других операторов. Качество восприятия с точки зрения пользователя может быть выражено совокупностью параметров. Эти параметры описываются в терминах, понятных как службе, предоставляющей услугу, так и пользователю, и не зависят от структуры сети. Они ориентированы преимущественно на эффект, воспринимаемый пользователем, должны быть гарантированы пользователю службой и поддаваться объективному измерению в точке доступа к услуге.

Качество обслуживания согласно Рекомендации E.800 представляет собой «суммарный эффект показателей качества услуги, который определяет степень удовлетворенности пользователя услуги». Показатели QoS специфицируют характеристики и свойства конкретных приложений, однако требования для различных приложений могут отличаться. Например, для телемедицины точность доставки информации более важна, чем вариация задержки передачи, в то время как для IP-телефонии значение и вариация задержки являются ключевыми параметрами и должны быть минимизированы. Термин «качество обслуживания» также относится к совокупности сетевых технологий (механизмов QoS), целью которых является предоставление поставщику возможности управлять уровнем качества предоставляемых им услуг. С помощью механизмов QoS поставщик может распределить ресурсы сети в зависимости от потребностей той или иной услуги, а также того или иного пользователя, и снизить нагрузку на сеть.

Качество функционирования сети согласно Рекомендации I.350 измеряется посредством параметров, которые рассматриваются оператором связи и используются при разработке, конфигурации, эксплуатации и техническом обслуживании сети. Такие показатели определяются независимо от производительности оконечного оборудования и действий пользователя, но зависят от используемой сетевой технологии. Для каждой сетевой технологии определяется система уровней качества обслуживания, описываемых с помощью наборов требований, которые носят название классов QoS этой технологии. Разработаны сетевые классы QoS для протоколов IP, ATM (Asynchronous Transfer Mode), Frame Relay и т. д.

На рис.1.3 представлена общая эталонная конфигурация QoE, QoS и NP для сетей NGN, в таблице 1.1 приведено краткое описание этих концепций.



Рис.1.3. Общая эталонная конфигурация QoE, QoS и NP для сетей NGN

Концепции QoE, QoS и NP оценивают качество на разных уровнях и с различных точек зрения. Параметры качества восприятия носят в большей степени субъективный характер и зависят от действий и желаний пользователя. Для оператора сети наибольший интерес представляют параметры NP, детализирующие аспекты QoS и представляющие собой проекцию общих требований к функционированию системы на уровень сети и отдельные сетевые технологии. Параметры качества функционирования сети могут быть определены, измерены или вычислены, а

также контролируются оператором.

Параметры качества обслуживания определяются с учетом влияния всех компонентов и участков сети, в том числе с учетом влияния сетей различных операторов, поэтому под термином QoS подразумевается прежде всего сквозное качество, или качество «из конца в конец».

Параметры качества функционирования сети могут определяться как для всей сети, так и для отдельных ее участков и объектов, например: качество функционирования транспортной сети, абонентского участка сети и т. д [4].

Таблица 1.1

Общая характеристика концепций QoE, QoS и NP

Хар-ка	Уровень NGN	Краткое описание	Примеры показателей
QoE	Уровень пользователя	Общая приемлемость услуги с точки зрения конечного пользователя	Субъективная оценка качества восприятия отдельного вида информации (например, громкость, разборчивость при передаче речи) по 5- балльной шкале MOS (Mean Opinion Score)
QoS	Уровень услуг	Суммарный эффект показателей производительности услуги, который определяет степень удовлетворенности пользователя услугой	Скорость передачи данных, скорость механизмов кодирования, доступность обслуживания
NP	Транспортный уровень	Характеристика работы сети, измеряемая посредством параметров, рассматриваемых оператором и используемых для проектирования, настройки и эксплуатации сети	Односторонняя задержка передачи по сети, коэффициент потери пакетов

Взаимосвязь между показателями QoS и NP может определяться эмпирическим путем, если для этого не существует аналитической методики. Знание взаимосвязи между показателями QoS и NP позволяет, с одной стороны, по измеренным значениям параметров NP предсказать значения параметров QoS или, с другой стороны, по целевым значениям параметров QoS определить требуемые для их поддержания значения параметров NP. Для удовлетворения требований международных стандартов и рекомендаций и для поддержания конкурентоспособности услуг в МСС необходимо учитывать потребности пользователя в услугах с определенным уровнем качества. В связи с этим при расчете и проектировании мультисервисных сетей связи целесообразно использовать второй подход и при определении показателей NP отталкиваться от нормированных значений показателей QoS.

1.2. Характеристики качества функционирования сети

Транспортная сеть NGN строится на основе пакетных технологий передачи информации. Задачей транспортной сети является прозрачная передача информации – как пользовательской, так и управляющей. Основными технологиями построения транспортных сетей NGN являются IP/MPLS (Multiprotocol Label Switching) и ATM, причем технология ATM, как правило, используется на канальном уровне в качестве транспорта для IP. Измерения и параметры качества функционирования на уровне IP позволяют определить эталонные величины для требований к сети, которые не зависят от основных технологий передачи данных и подходят для использования при сквозной оценке качества. Поэтому мы ограничимся рассмотрением характеристик качества функционирования сети на уровне IP[5].

Существует два основных подхода к измерению качества функционирования сети – активное (active, intrusive) и пассивное (passive, non-intrusive). Активное измерение производится с помощью тестового потока в условиях обычного функционирования сети. Такой тип измерения позволяет детально выделить характеристики NP, например, время односторонней задержки, влияние размера блока данных и т. д., однако активное измерение вносит дополнительную нагрузку на сеть. Пассивное измерение производится с помощью сбора информации в узлах сети (маршрутизаторах уровня IP, коммутаторах ATM и Ethernet) с использованием базового протокола управления сетью (Simple Network Management Protocol, SNMP) и других технологий. Метод не вносит дополнительной нагрузки на сеть и позволяет производить измерения для каждого устройства или звена сети, однако измерения могут быть ограничены в рамках одного домена или сети в связи с использованием разных протоколов. Согласно общей модели качества функционирования сети на уровне IP, определенной в Рекомендации Y.1540, основными сетевыми компонентами являются хост, маршрутизатор, хост-

источник, хост-получатель и звено. Под *точкой измерения* (Measurement point, MP) понимается граница между хостом и смежным звеном, на которой можно констатировать *эталонные события* (Reference Event, RE) и произвести измерение характеристик передачи. Примерами эталонного события могут служить такие события, как «пакет покидает хост» или «пакет достигает хоста». Передача пакета констатируется, когда пакет проходит точку измерения, при условии что проверка контрольной суммы его заголовка стандартными методами дает положительный результат и значения адресных полей заголовка соответствуют IP-адресам ожидаемых источника и получателя. Также важными понятиями модели являются сегмент сети (network section) и звено обмена (exchange link). Под *сегментом сети* понимается совокупность хостов и соединяющих их звеньев, которые совместно обеспечивают передачу информации на уровне IP между хостом-источником и хостом-получателем и находятся в пределах одной автономной системы.

Звено обмена – это звено, соединяющее либо хост- источник или хост-получатель с соседним хостом (например, маршрутизатором), который может принадлежать иной юрисдикции (в этом случае звено обмена называют также звеном доступа); либо два маршрутизатора, принадлежащих к различным сегментам сети. Звено обмена, сегмент сети, хост-источник и хост-получатель являются базовыми сегментами сети, ограничивающимися точками измерения.

Ансамбль сегментов (network section ensemble) – любая совокупность связанных между собой сегментов сети и всех звеньев обмена, их соединяющих.

Показатели качества функционирования сети подразделяются на четыре основные категории[6].

- 1. Задержка передачи в базовом сегменте сети.* К этой категории относятся два показателя NP уровня IP для версии протокола IPv4: задержка передачи (или переноса) IP пакетов (IP packet transfer delay, IPTD) и вариация задержки IP пакетов, или джиттер задержки (IP packet delay variation, IPDV).
- 2. Ошибки и потери передачи в базовом сегменте сети.* Основными показателями NP в этой категории являются доля потерянных IP пакетов, или коэффициент потери IP пакетов (IP packet loss ratio, IPLR), и доля искаженных IP пакетов, или коэффициент ошибок IP пакетов (IP packet error ratio, IPER).
- 3. Готовность базового сегмента сети.* Готовность – свойство объекта быть в состоянии выполнять требуемую функцию при заданных условиях в данный момент времени или в течение заданного интервала времени при условии обеспечения необходимыми внешними ресурсами. Готовность является ключевым показателем, определяющим качество функционирования сети. Основой для определения показателя готовности сети на уровне IP служит параметр IPLR – доля потерянных IP пакетов, или коэффициент потерь IP пакетов.
- 4. Пропускная способность базового сегмента сети.* Полезно иметь возможность охарактеризовать качество функционирования сети с помощью показателей, связанных с понятием пропускной способности. При введении таких показателей необходимо учитывать, что на пропускную способность сети на уровне IP оказывают влияние протоколы вышележащих уровней, например протокол управления передачей (Transmission Control Protocol, TCP). Можно рассматривать такие показатели, характеризующие ширину полосы пропускания, как пропускная способность звена/канала (capacity of a link/path), коэффициент использования звена (link utilization), доступная ширина полосы пропускания звена (available bandwidth of a link), достижимая ШПП канала (achievable bandwidth on a path). Однако работа МСЭ-Т над определением показателей данной категории пока не завершена.

1.3. Требования к качеству обслуживания типовых услуг NGN

Требования к параметрам качества функционирования сети определяются требованиями к качеству обслуживания при предоставлении той или иной инфокоммуникационной услуги. Услуги мультисервисной сети связи подразделяются на три основные категории по общему характеру требований к QoS:

- услуги передачи речи (например, телефония);
- услуги передачи видео (например, IP-телевидение);
- услуги передачи данных (например, предоставление доступа в Интернет).

Заметим, что речь идет о классификации наиболее востребованных услуг NGN, попадающих в рамки концепции «Triple Play». Можно привести примеры услуг NGN, обладающих специфическими требованиями к QoS, однако мы не выделяем их в отдельные категории в силу их недостаточной распространенности[7].

Предоставление услуг передачи речи в сетях IP явилось первым шагом на пути конвергенции в сфере инфокоммуникаций и развивается на протяжении более чем пяти лет. Работа над стандартами качества при предоставлении таких услуг в целом ряде международных и национальных организаций по стандартизации продвинулась весьма далеко.

Среди услуг по передаче речи выделяют три основные группы:

- телефония;
- голосовые сообщения;
- потоковая речь.

На качество обслуживания при передаче речи значительное влияние оказывает односторонняя задержка передачи по сети. Результатом влияния этого параметра являются два эффекта: возникновение эха и нарушение динамики разговора. Первый эффект становится заметен при значении

величины задержки выше нескольких десятков миллисекунд, что делает механизмы, ограничивающие эффект эха, обязательными для оборудования IP-телефонии. Второй – когда величина задержки превышает сотни миллисекунд. Для голосовой связи рекомендована задержка не более 150 мс.

К кратковременным вариациям задержки человеческое ухо малочувствительно. В зависимости от типа кодека не воспринимается вариация задержки в пределах 15–50 мс. На практике для всех голосовых услуг вариация задержки компенсируется посредством использования буфера для сглаживания фазового дрожания.

Поскольку голосовые пакеты не передаются повторно, при их потере или искажении качество восприятия речи на принимающей стороне может заметно ухудшаться. Частые потери голосовых пакетов могут привести к ухудшению разборчивости речи и полной невозможности общения. Искажения при потере пакетов зависят от типов применяемых кодеков.

При телефонии хорошего качества допустимый уровень потерь пакетов не должен превышать 1%. Для услуги передачи голосовых сообщений требования к уровню потери информации такие же, как для телефонии. Ключевое различие между указанными услугами состоит в том, что при передаче голосовых сообщений параметр задержки не оказывает настолько сильного влияния. Значение имеет только задержка между запросом пользователя на прослушивание нового голосового сообщения и тем моментом, когда он услышит начало сообщения. Для услуг голосовой телефонии считается приемлемой величина задержки до нескольких секунд. Требования к задержке при передаче потоковой речи (например, для услуги радио через Интернет) могут быть ослаблены в связи с односторонней передачей. Однако к потерям предъявляются более жесткие требования, чем для телефонии. Значения параметров качества при предоставлении услуг передачи речи согласно Приложению I к Рекомендации G.1010 приведены в таблице 1.2. Характеристики задержек и потерь при передаче речи для различных классов

обслуживания ETSI TIPHON (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks) показаны в таблице 1.3.

Таблица 1.2

Значения показателей качества передачи речи

Приложение	Степень симметрии	Скорость передачи данных, кбит/с	Значения ключевых параметров		
			Односторонняя задержка, мс	Вариация задержки, мс	Потеря пакетов
Голосовая телефония	Двусторонняя	4–64	Предпочтит. < 150, предельная	< 1	< 3%
Голосовые сообщения	Преимущественно односторонняя	4–32	< 1 с для записи, < 2 с для воспроизведения	< 1	< 3%
Потоковая речь высокого качества	Преимущественно односторонняя	16–128	< 10 с	<< 1	< 1%

Таблица 1.3

Классы качества для услуг передачи речи ETSI TIPHON

Характеристика	Классы обслуживания			
	наилучший (Gold)	высокий (Silver)	средний (Bronze)	низкий
Сквозная односторонняя задержка, мс	< 150	< 250	< 350	< 450
Вариация задержки, мс	< 10	10–20	20–40	–
Коэффициент потерь пакетов	< 0,5%	0,5–1 %	1–2%	–

Предоставление услуги передачи видео на основе IP-сетей сравнительно молодое, хотя и очень перспективное направление развития отрасли. На сегодняшний день для передачи видео нет согласованных стандартов, регламентирующих качество предоставления таких услуг.

Среди видео услуг выделяют две основные категории:

- интерактивное видео (например, видеоконференции);
- потоковое видео (например, IPTV).

Интерактивное видео подразумевает двусторонний обмен как видео, так и аудиоинформацией. В связи с этим требования к характеристикам качества обслуживания и качества функционирования сети для интерактивного видео такие же, как для голосовой телефонии. Из-за односторонней задержки передачи по сети возникают эффекты эха и нарушения динамики. Кроме того, при передаче трафика интерактивного видео возникает дополнительное требование синхронизации видео и аудиоинформации. Человеческий глаз нечувствителен к небольшой потере информации, поэтому допустим невысокий уровень потерь, который зависит от особенностей видеокодека и способов защиты от потерь информации[8]. Для предотвращения значительных потерь рекомендуется использовать механизмы, реализующие алгоритмы приоритезации трафика, например DiffServ (Differentiated Services).

Отличительной особенностью потокового видео, например IPTV, является отсутствие диалогового элемента, благодаря чему требования к задержкам могут быть снижены по сравнению с требованиями для интерактивного видео. Вариация задержки незначительна, поскольку компенсируется адаптивными буферами на стороне пользователя. При этом задержка, добавляемая буфером, может достигать 100–500 мс.

Для сохранения хорошего качества изображения требуется низкая величина потери пакетов. Для гарантии эффективного предоставления видеослужб по сети IP величина коэффициента потерь пакетов IP не должна превышать 10^{-5} .

Модель измерения качества видеослуг согласно Рекомендации J.241 показана на рис.1.4. Здесь заданы четыре точки измерений[9]:

- А – кодер видео;
- В – уровень IP на стороне головной станции (IP-трафик);
- С – уровень IP на стороне оборудования пользователя (IP-трафик);
- D – декодер видео.



Рис. 1.4. Модель измерения показателей качества при предоставлении услуг передачи видео

В таблице 1.4 приведены значения параметров NP при передаче видеoinформации.

Таблица 1. 4

Значения показателей NP при передаче видео

Приложение	Степень симметрии	Скорость передачи данных, бит/с	Значения ключевых параметров			
			Одностор. задержка, мс	Вариация задержки, мс	Потеря пакетов, %	Доп. параметры
Интерактивное видео	Двустор.	16–384	Предпочт. < 150, допуст. < 400	-	< 1	Рассинхронизация видео и аудио < 80 мс
Потоковое видео	Одностор.	16–384	< 10 с	-	< 1	-

Традиционно в сетях IP трафик передается по методу «негарантированной доставки» (best effort). Сеть старается обработать поступающий трафик как можно быстрее, но при этом не дается гарантий относительно результата. По методу best effort обслуживаются преимущественно веб-услуги, электронная почта, обмен сообщениями, передача файлов. Также популярны приложения реального времени, связанные с передачей данных, например интерактивные игры.

Для всех видов услуг по передаче данных основным требованием к качеству передачи является гарантия отсутствия потерь информации. Вариация задержки при передаче незначительно влияет на качество, тем не менее определенные ограничения на уровень синхронизации между информационными потоками мультимедийной сессии (например, аудиоинформация при просмотре широковещательной презентации) должны быть установлены. Требования к задержке при передаче отличаются для различных типов приложений. На основе требований к задержкам можно выделить следующие классы услуг по передаче данных[10,11]:

- Веб-услуги, под которыми понимается поиск и просмотр текстовых компонентов веб-страниц. Остальные компоненты, такие как изображения и видеоклипы, относятся к другим категориям в рамках данного раздела. С точки зрения пользователя основополагающим фактором качества является скорость появления страницы после запроса. Для данной категории услуг задержка менее 10 секунд считается приемлемой.
- Класс объемных данных (файлы). Поскольку при передаче файлов пользователю предоставляется возможность просмотра информации о ходе передачи (скорости передачи, проценте полученной информации от общего размера файла и т. д.), то требования к задержке можно ослабить по сравнению с требованиями для веб - страниц.
- Высокоприоритетные услуги по передаче данных, например электронная коммерция. Основные требования пользователя к данной категории услуг –

немедленное начало передачи после запроса пользователя. Задержка при передаче в пределах нескольких секунд считается приемлемой.

– Передача изображений различных форматов, некоторые из которых могут быть терпимы к потерям во время передачи, при передаче других потери недопустимы. Однако, учитывая тот факт, что искажение даже одного бита может вызвать видимое ухудшение качества изображения, принято считать, что в общем случае необходима гарантия отсутствия потерь информации.

Требования к задержке при передаче изображений не критичные и сравнимы с требованиями при передаче файлов, поскольку изображение обычно появляется на экране пользователя по мере поступления данных, что иллюстрирует процесс передачи.

– Интерактивные игры, требования к параметрам качества которых в значительной степени зависят от специфики игры. В общем случае для данной категории задержки при передаче должны быть минимальными и не превышать доли секунды.

– Приложения для удаленного доступа типа Telnet, обеспечивающие удаленный доступ пользователя к узлам сети. Значения задержек при передаче должны быть минимальны и не превышать доли секунды, для того чтобы разница во времени между набором символов пользователем и их отображением на экране не была ощутима для пользователя.

– Электронная почта. При передаче сообщений электронной почты различают процесс обмена информацией между пользователем и локальным почтовым сервером и обмен информацией между серверами. В первом случае задержки при передаче информации не должны превышать нескольких секунд. Во втором случае требования к задержкам минимальны, допустимыми считаются задержки в пределах нескольких минут или даже часов.

– Мгновенный обмен сообщениями, как правило, подразумевает обмен текстовой информацией, однако может также включать обмен аудио и видеоданными. Несмотря на название данной категории, она не относится к категориям передачи данных в реальном времени, и задержки в пределах

нескольких секунд считаются приемлемыми.

– **Фоновые приложения.** Для данной категории единственным требованием к качеству передачи данных является отсутствие ошибок при передаче. Требования к задержкам минимальны. К данной категории относится передача факсимильных сообщений, задержка при передаче которых не должна превышать 30 секунд, однако допустимы потери информации в некоторых пределах. К фоновым услугам также относится обмен короткими сообщениями, при котором допускается задержка в пределах 10 секунд.

Выводы

Исходя из информации, рассмотренной в первой главе можно сделать следующие выводы:

- Рассмотрены уровни оценки качества сети следующего поколения и общие характеристики концепций QoE, QoS и NP

- Анализ показал, что параметры качества обслуживания определяются с учетом влияния всех компонентов и участков сети, в том числе с учетом влияния сетей различных операторов, поэтому под термином QoS подразумеваются, прежде всего, сквозное качество или качество «из конца в конец».

- Произведен анализ подходов к измерению качества функционирования сети, анализ показал, что в измерение качества функционирования сети следующего поколения существует два основных подхода: активное (active, intrusive) и пассивное (passive, non-intrusive). Активное измерение производится с помощью тестового потока в условиях обычного функционирования сети. Такой тип измерения позволяет детально выделить характеристики NP, например, время односторонней задержки, влияние размера блока данных и т. д., однако активное измерение вносит дополнительную нагрузку на сеть. Пассивное измерение производится с помощью сбора информации в узлах сети (маршрутизаторах уровня IP, коммутаторах ATM и Ethernet) с использованием базового протокола

управления сетью (Simple Network Management Protocol, SNMP) и других технологий.

- Рассмотрены основные категории показателя качества функционирования сети.

2.МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

2.1.Методы оценки качества ITU-T

Предоставление услуг гарантированного качества независимо от типа передаваемой информации является отличительной особенностью сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN). Качество обслуживания абонентов в NGN является ключевым вопросом и в той или иной форме присутствует при решении практически любой задачи, связанной с проектированием или эксплуатацией сетей данного типа. Как правило, качество предоставляемой пользователю услуги фигурирует в роли ограничений в рамках математической постановки какой-либо более общей задачи, например задачи выбора пропускных способностей каналов передачи на этапе проектирования или задачи распределения этих пропускных способностей между информационными потоками на этапе управления сетью в процессе ее эксплуатации. Зачастую эти ограничения формулируются в терминах сетевых показателей качества, отражающих качество передачи трафика на участке транспортной сети и не учитывающих влияние других элементов соединения, например локальных сетей и оконечного оборудования[12]. В общем случае формулировка требований и ограничений должна осуществляться в терминах оценок качества, воспринимаемого конечным пользователем, которые являются производными качества работы сети.

Рассматривая управление сетевыми ресурсами как основной инструмент достижения заданного качества обслуживания на этапе эксплуатации телекоммуникационной сети (ТКС), следует отметить, что наибольшая эффективность управления трафиком, канальными и буферными ресурсами достигается при условии реализации динамической многопутевой стратегии. При ориентировании именно на такой подход возникает следующая научно-техническая задача: сформулировать в аналитическом виде условия

(ограничения) обеспечения требований конечных пользователей к воспринимаемому качеству услуги в условиях реализации динамической многопутевой стратегии управления трафиком и другими сетевыми ресурсами.

Поставленную задачу условно можно разделить на две последовательно решаемые подзадачи: первая связана с получением формализованной зависимости оценок качества конечного пользователя от текущего значения сетевых параметров, вторая – с формированием зависимости сетевых параметров качества от текущего распределения ресурсов при условии реализации динамической многопутевой стратегии[13].

Сквозное качество обслуживания пользователей определяется рядом факторов, среди которых качество сетевого соединения (на уровне IP), специфические для конкретного приложения действия, аспекты восприятия самого пользователя. В соответствии с перечисленным можно выделить три уровня качества обслуживания, для описания каждого из которых вводится свой термин (рис.2.1 – сквозная оценка качества телекоммуникационной услуги, рис.2.2 – точки измерения параметров качества; табл.2.1);

– качество работы сети (Network Performance, *NP*), соответственно на уровне сети;

– качество телекоммуникационных услуг (обслуживания) (Quality of Service, *QoS*) на уровне приложения;

– воспринимаемое качество телекоммуникационной услуги (Quality of Experience, *QoE*) на уровне пользователя.

Оценка *QoE* представляет собой количественно выраженную степень удовлетворенности конечного пользователя качеством полученной им телекоммуникационной услуги. На достижение хороших значений именно этих оценок направлены все усилия операторов связи. Это интегральная оценка качества, выражаемая не в технической терминологии, а в некоторых

баллах. Рекомендациями ITU-T определены несколько таких оценок, среди которых в качестве основных следует выделить (табл.2.2)[14]:

- рейтинг качества R (Quality Rating), $0 \leq R \leq 100$;
- среднюю экспертную оценку MOS (Mean Opinion Score), $1 \leq MOS \leq 5$.

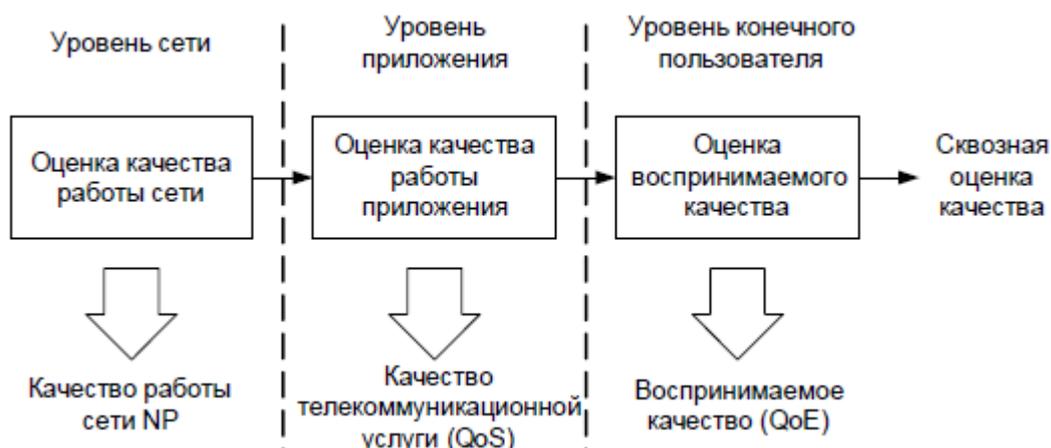


Рис.2.1 Сквозная оценка качества телекоммуникационной услуги

Таблица 2.1

Точки измерения параметров качества

	Воспринимаемое качество QoE	Качество телекоммуникационной услуги QoS	Качество работы сети (сетевые характеристики NP)
Ориентировано на	на пользователя		на оператора (провайдера)
Уровень	Конечного пользователя	Приложения	Сети
Указывает на	Соответствие ожидаемому пользователем качеству услуги, отражает потребительские свойства услуги	Получаемое пользователем качество услуги	«Слабые места» в работе сети, отражает текущее качество работы сети, ориентировано на разработку, проектирование, эксплуатацию и техническое обслуживание

Определяется	Пользователем с учетом аспектов восприятия	Путем измерения в точках доступа к услуге	Типом (возможностью) сетевых элементов, протоколов и соединений в целом
Описывается параметрами (атрибутами)	Восприятия пользователя (оценки <i>MOS</i> , <i>R</i>)	Услуги (суммарная с учетом терминального оборудования задержка, результирующий уровень потерянных и принятых с ошибками пакетов, скорость с учетом TCP)	Элемента соединения (выделенная пропускная способность, сетевая задержка с учетом времени распространения и обслуживания в очереди, сетевой джиттер, вероятности потери пакета в сети, возникновения ошибок в пакете,
Характер оценки	Интегральная	Совокупность оценок	
Документация ITU-T	G.107, G.109, G.1070, P.800, P.830	G.1010, G.1030, Y.1541	Y.1540, Y.1541

Таблица 2.2

Пределы R и MOS по стандарту ITU-T

R (нижний предел)	MOS (нижний предел)	Удовлетворенность пользователя
90	4,34	Очень удовлетворен
80	4,03	Удовлетворен
70	3,60	Некоторые пользователи не удовлетворены
60	3,10	Многие пользователи не удовлетворены
50	2,58	Почти все пользователи не удовлетворены

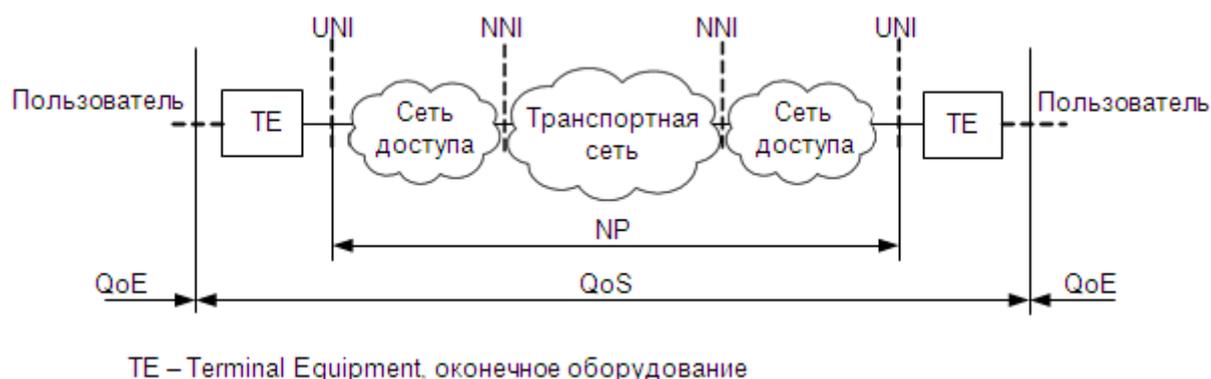


Рис.2.2 Точки измерения параметров качества

Оценки MOS и R связаны между собой нелинейной зависимостью, которую в диапазоне $2,5 < MOS < 4,4$ можно аппроксимировать выражением $MOS = R/20$. Требование хорошего качества в терминах QoE можно записать как $R_{треб} > 70$ или $MOS_{треб} > 3,5$. На практике QoE определяется качеством соединения, а также психологическими аспектами восприятия, где главную роль играет не столько получаемое качество, сколько его соответствие ожидаемому. Это указывает на важность предварительного соглашения о качестве предоставляемых услуг SLA (Service Level Agreement) между пользователем и провайдером. Хотя QoS , так же, как QoE , определяется в точке потребления услуги (интерфейс пользователь-машина), однако, в отличие от QoE , качество телекоммуникационной услуги QoS выражается через совокупность специфических (технических) показателей и параметров услуги, которые, с одной стороны, определяются качеством работы телекоммуникационной сети, а с другой – определяют способность данной услуги удовлетворять установленные или прогнозируемые требования пользователя. QoS отражает качество предоставляемой услуги на уровне приложения и в соответствии с делением приложений по типу передаваемой информации (речь, видео и данные) в качестве ключевых параметров использует задержку, джиттер и величину потерь для аудио и видеоприложений (для видеотелефонии добавляется еще синхронизация

между потоками звука и изображения) и задержку и величину потерь для приложений передачи данных.

Рекомендация ITU-T G.1010 содержит граничные значения указанных параметров, необходимые для приемлемого качества работы различных приложений. Следует отметить, что для приложений передачи данных фактором, определяющим результирующее качество услуги (*QoE*), является величина потерь, в то время как для передачи речи и видео критичными будут величины задержки и джиттера (рис.2.3). Показатели *QoS* являются функцией качества работы терминального (оконечного) оборудования и качества работы сети, включая сети доступа и транспортную сеть. В результате можно выделить два направления в достижении требуемого качества телекоммуникационной услуги *QoS*[15]:

- 1) улучшающие качество настройки терминального оборудования (выбор и настройка кодеков, настройка TCP и операционной системы, выбор алгоритма и размера буфера компенсации джиттера, правильный выбор скорости передачи и частоты кадров, обеспечение при необходимости синхронизации между звуком и изображением и пр.);
- 2) приемлемое качество работы сети *NP*. Учитывая долю сети в суммарном значении перечисленных выше параметров *QoS*, качество ее работы должно находиться под тщательным контролем со стороны сетевой системы управления и само по себе представляет предмет для исследования.

Качество работы сети *NP* – это количественные характеристики сети, технические показатели и параметры, полученные в результате испытаний и измерений параметров телекоммуникационной сети, каналов электросвязи, технических средств телекоммуникаций.

В качестве основных параметров сетевого уровня, определяющих качество обслуживания абонентов, в соответствии с Y.1540 можно выделить:

- задержку передачи IP-пакета *TNP*, которая включает в себя задержки распространения и обработки в очереди;

- межконцевую вариацию задержки (джиттер) *DNP*;
- процент потерянных IP-пакетов *PNP*;
- процент пакетов, принятых с ошибками *PE NP*;
- процент пакетов с нарушенной очередностью *PRO NP*;
- скорость передачи *BNP*, выражаемую в пакетах или в битах в секунду.

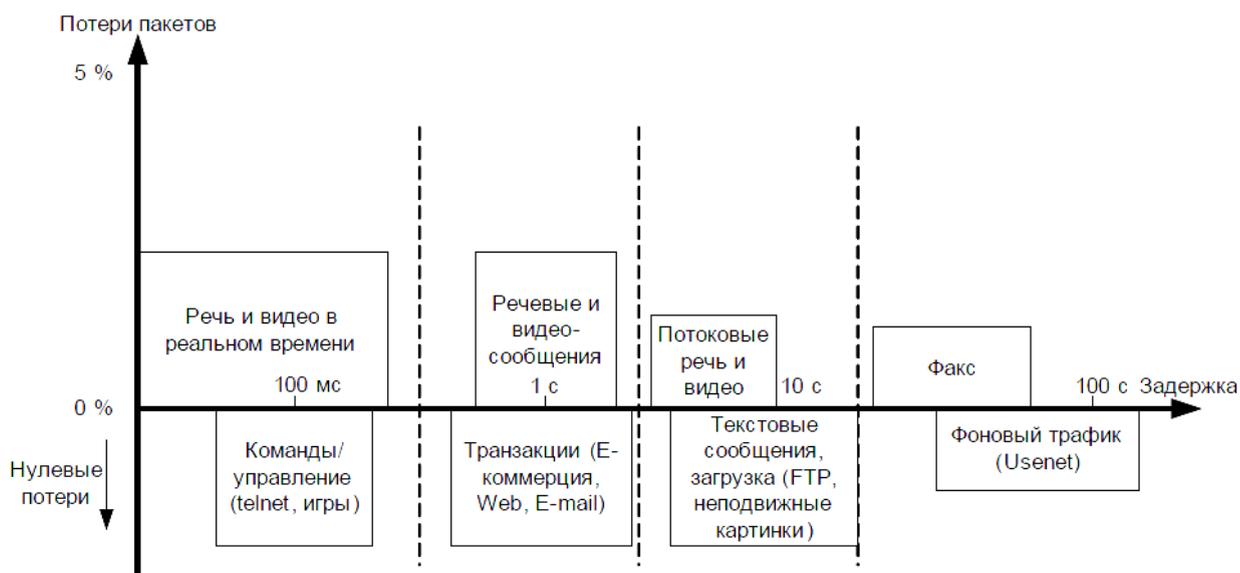


Рис.2.3. Граничные значения рекомендации ITU-T G.1010

В рекомендации Y.1540 оговаривается, что параметры, связанные с потоком и пропускной способностью на уровне IP, не являются необходимыми, так как под влиянием протоколов более высоких уровней, прежде всего TCP, результирующие их значения могут существенно измениться.

Требования к параметрам различных приложений послужили основой для создания восьми классов сетевого качества обслуживания (табл.2.3). Здесь класс 5 не содержит ни одного граничного значения, что подразумевает возможность их динамического формирования на основании текущего запроса.

Таблица 2.3

Классы QoS сетевого качества обслуживания

Параметр	Классы QoS							
	Класс 0	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5	Класс 6	Класс 7
T_{NP}	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н	100 мс	400 мс
D_{NP}	50 мс		Н	Н	Н	Н	50 мс	
P_{NP}	10^{-3}					Н	10^{-3}	
P_{ENP}	10^{-4}					Н	10^{-6}	

Н – параметр не определен

2.2.Метод оценки качества речи

На практике значения перечисленных параметров качества работы сети NP определяются текущим распределением сетевых ресурсов между принятыми к обслуживанию информационными потоками. При наличии системы динамического управления ресурсами сети параметры NP являются управляемыми и выступают в качестве инструмента достижения требуемого пользователем качества обслуживания [16](рис.2.4).

Таким образом, используя введенную терминологию, можно рассматривать сквозное качество обслуживания как функциональную зависимость $QoE(QoS(NP))$ и в целях достижения качества обслуживания, удовлетворяющего пользователя, необходимо согласовать оценки потребителя QoE и оператора NP , что составляет основу системного подхода к качеству обслуживания. Рассматривая управление параметрами NP как основной инструмент достижения запрашиваемого качества обслуживания, можно выделить два подхода к математической формулировке задачи его обеспечения. Оба они предполагают введение в существующую математическую модель ТКС дополнительных ограничений, однако в первом случае эти ограничения формулируются в терминах NP , а во втором – в терминах QoE (или QoS).



Рис.2.4 Динамической управление сети

Ограничения на сетевые параметры качества в рамках первого, являющегося общепринятым, подхода могут быть записаны в общем виде как:

$$\begin{cases} T_{NP} \leq T_{NP\text{треб}}(QoE_{\text{треб}}); \\ D_{NP} \leq D_{NP\text{треб}}(QoE_{\text{треб}}); \\ P_{NP} \leq P_{NP\text{треб}}(QoE_{\text{треб}}); \\ B_{NP} \geq B_{NP\text{треб}}(QoE_{\text{треб}}); \end{cases} \quad (2.1)$$

Данный подход предусматривает наличие предварительного этапа формирования требований к сетевым параметра качества $NP_{\text{треб}}$ на основании известных требований на уровне пользователя $QoE_{\text{треб}}$ (или приложения $QoS_{\text{треб}}$), то есть как функцию $NP_{\text{треб}}(QoE_{\text{треб}})$ или $NP_{\text{треб}}(QoS_{\text{треб}})$.

Воспринимаемое качество обслуживания QoE зависит как от качества работы сети, так от ряда действий, производимых над трафиком в конечном оборудовании в соответствии с типом приложения, генерирующего данный трафик.

В результате функциональная зависимость $QoE(QoS(NP))$ определяется типом приложения. Как показали результаты анализа, формализованная зависимость $QoE(NP)$ (а значит $NP_{треб}(QoE_{треб})$) существует только для трех типов услуг: передача речи, видеотелефония и просмотр информации в Web. Для некоторых типов услуг (различные приложения передачи данных, цифровое телевизионное вещание) существует формализованная зависимость $QoS(NP)$, что позволяет сформировать требования к сетевым параметрам как $NP_{треб}(QoS_{треб})$, где $QoS_{треб}$ – характерные для данного приложения требования к качеству в терминах QoS , содержащиеся в G.1010. В случае полного отсутствия формализованной зависимости показателей различных уровней при формировании требований к сетевым параметрам следует воспользоваться рекомендацией Y.1541 и выбрать класс обслуживания (табл.2.3) с учетом изложенного там же руководства по применению классов QoS протокола IP (рис. 2.5).

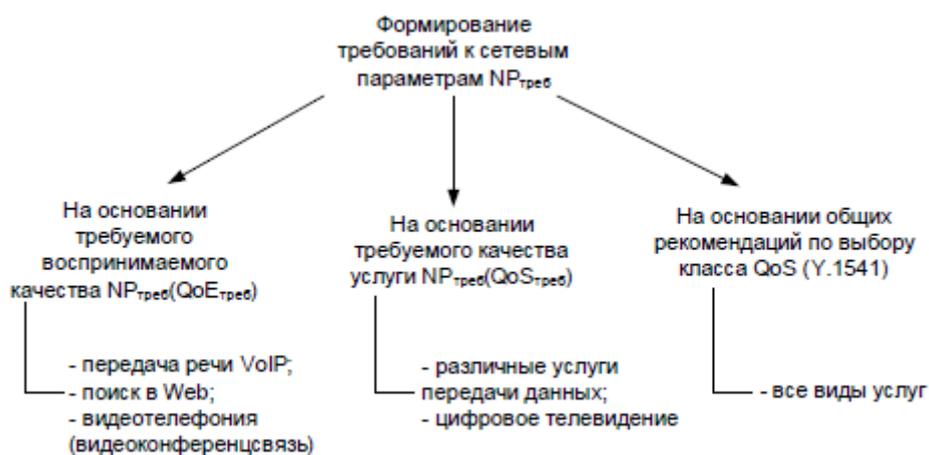


Рис.2.5 Классы QoS протокола IP

Другой подход к обеспечению гарантированного качества связан с введением зависимости $QoE(QoS(NP))$ в математическую модель сети. Тогда проверка выполнения требований относительно предоставляемого качества будет формализована в виде ограничений на уровне QoE :

$$MOS \geq MOS_{треб} \text{ или } R \geq R_{треб} \quad (2.2)$$

Для тех видов услуг, для которых существует только формализованная зависимость $QoS(NP)$ ограничение (2.2) можно записать как:

$$T_{QoS} \leq T_{QoS_{треб}}, D_{QoS} \leq D_{QoS_{треб}}, P_{QoS} \leq P_{QoS_{треб}}, B_{QoS} \geq B_{QoS_{треб}} \quad (2.3)$$

где

$T_{QoS}, D_{QoS}, P_{QoS}, B_{QoS}$ – соответствующие параметры качества на уровне приложения.

Тогда в общем виде задача гарантированного качества обслуживания может быть сформулирована как оптимизационная, связанная с поиском экстремума некоторого, как правило, стоимостного функционала при наличии ряда ограничений, среди которых вида (2.1) или (2.2), (2.3). Учитывая достаточно сложную взаимосвязь отдельных сетевых параметров в их влиянии на сквозную оценку качества и возможность ее более полного учета только в рамках второго подхода (2.2), (2.3), именно он заслуживает дальнейшего развития и предполагает следующие два этапа: формализацию зависимости $QoE(NP)$ или $QoS(NP)$ и ее введение в математическую модель сети.

В случае передачи речевой информации через сети IP (VoIP) результирующее качество обслуживания QoE может быть оценено с использованием E-модели, в наиболее полной степени на данный момент отражающей сложную взаимосвязь факторов качества передачи речи (рис. 2.6).

В рамках E-модели для оценки воспринимаемого качества передачи речи используется рейтинг качества R , который представляет собой зависимость:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A \quad (2.4)$$

где R_0 – фактор, связанный со значением отношения сигнал/шум, учитывает влияние шумов, возникающих при передаче, таких как шумы оборудования, шумы в помещении; при значении всех входящих в его состав параметров, рекомендуемых по умолчанию, $R_0 = 93,2$; I_s – коэффициент снижения качества, вызванного всеми одновременными искажениями, которым подвергается речевой сигнал, включая процессы преобразования в ЦАП/АЦП, а также вызванного неоптимальным местным эффектом; I_d – коэффициент снижения качества, обусловленного влиянием задержек и наличие эха сигнала; I_{e-eff} – коэффициент снижения качества, вызванного искажениями, вносимыми в процессе кодирования/декодирования, а также потерями речевых пакетов; A – коэффициент выигрыша.

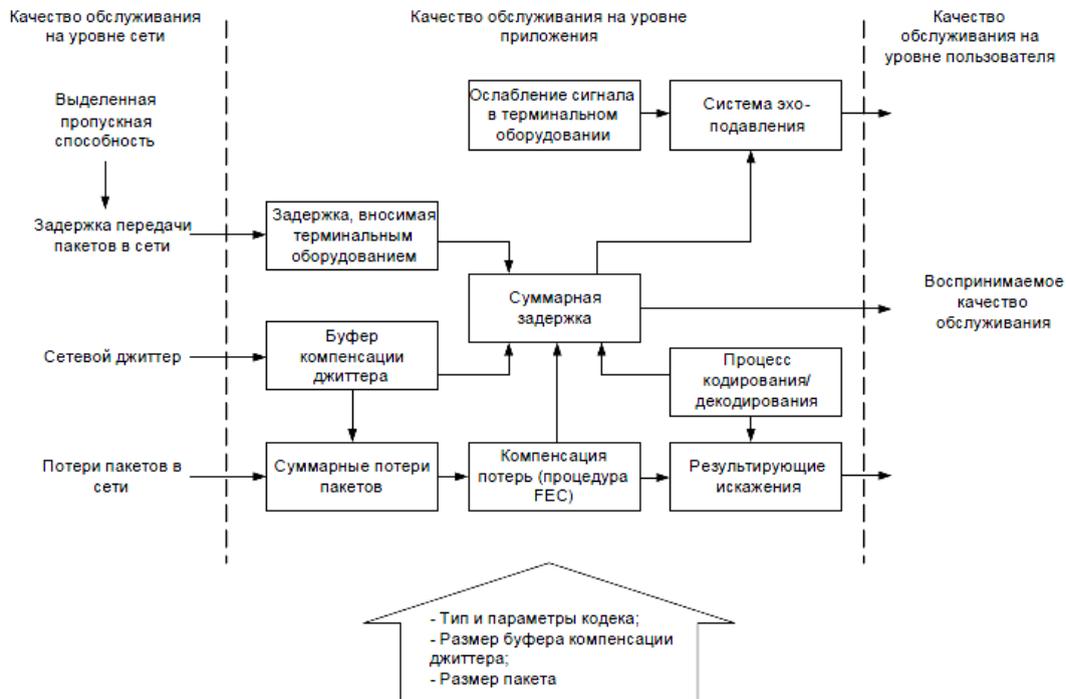


Рис.2.6. Факторы качества передачи речи

В целом E-модель позволяет объединить в едином показателе качества как индивидуальные характеристики сигналов, так и сетевые параметры передачи (задержку и величину потерь пакетов в сети) и представляет собой совокупность ряда математических выражений, зависящих от множества входных параметров. Положив все входные параметры, не связанные с передачей по сети, равными значениям по умолчанию, можно сформировать зависимость $QoE(NP)$ для передачи речевого трафика следующим образом

$$R = R_0 - I_{dd}(T_{NP}) - I_{e-eff}(P_{NP}) \quad (2.5)$$

где $I_{dd}(T_{NP})$ – коэффициент снижения качества, обусловленного длительной задержкой, как функция задержки в сети.

$$I_{dd} = \begin{cases} 0, T_a \leq 100 \text{мс}; \\ 25 \left[(1 + X^6)^{\frac{1}{6}} - 3 \left(1 + \left[\frac{X^6}{3} \right]^{\frac{1}{6}} \right) + 2 \right], T_a > 100 \text{мс}; \end{cases} \quad (2.6)$$

$$\text{где } X = \log \frac{\left(\frac{T_a}{100} \right)}{\log_2}$$

В случае передачи речи между двумя терминалами *VoIP*, взаимодействующими через сеть передачи данных, абсолютная задержка T_a представляет собой сумму одноконцевой сетевой задержки, отражающей качество работы сети, T_{NP} и задержек обработки в каждом терминальном оборудовании T_{TE} , возникающих вследствие кодирования t_{enc} , пакетизации t_{frame} , декодирования t_{dec} , компенсации джиттера t_{jb} . В среднем задержка T_{TE} составляет около 80 мс для устройства категории В Р.1010 и 50 мс для устройства категории А Р.1010. Наличие в соединении участка LAN увеличивает задержку T_a в среднем на 5 мс.

Влияние потерь пакетов на качество передачи речи формализовано в виде коэффициента (рис. 2.7)

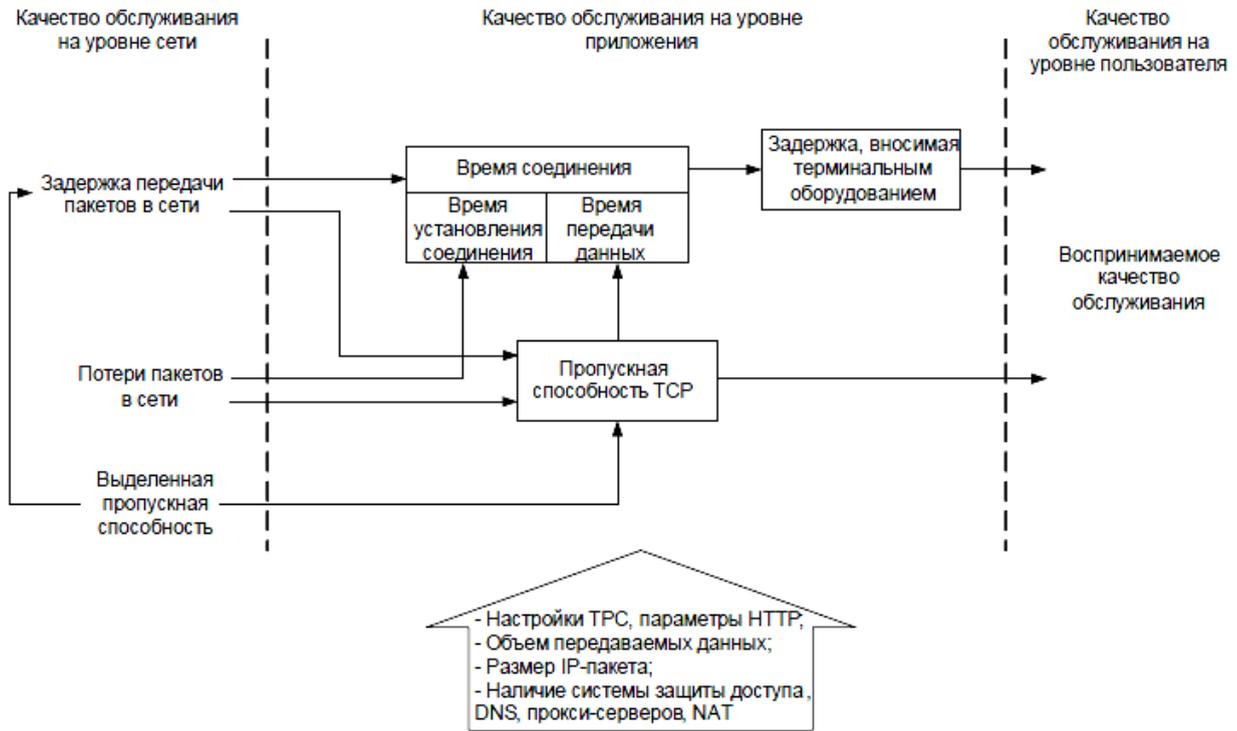


Рис.2.7 Влияние потерь пакетов на качество передачи речи

где I_e – коэффициент снижения качества из-за использования низкоскоростных кодеков, который зависит только от типа кодека и определяется в Дополнении I/G.113; P_{pl} – суммарная вероятность потери пакета, учитывающая потери пакетов в сети P_{NP} и в терминальном оборудовании P_{TE} , предполагая потери в терминальном оборудовании незначительными, можно считать $P_{pl} = P_{NP}$; B_{pl} – фактор, учитывающий устойчивость кодека к потерям (Дополнение I/G.113); $BurstR$ – коэффициент «всплеска» потерь, который равен 1 при независимой потере пакетов и превышает 1 при наличии групповых потерь. Выражения (2.6) и (2.7) в совокупности представляют собой формализацию зависимости

$$I_{e-eff} = I_e + (95 - I_e) \frac{P_{pl}}{\frac{P_{pl}}{BurstR} + B_{pl}} \quad (2.7)$$

$QoE_{(NP)}$ для услуги передачи речи *VoIP*. Их влияние на результирующее воспринимаемое качество (для примера для кодека G.711 со случайными потерями и PLC) . В результате требования пользователя к сквозному качеству предоставляемой услуги передачи речи при заданном типе терминального оборудования и используемом кодеке могут быть записаны так:

$$R_0 - I_{dd}(T_{NP}) - I_{e-eff}(P_{NP}) \geq R_{\text{треб}} \quad (2.8)$$

Выражение (2.8) представляет собой ограничение типа (2.2) для приложений передачи речи, которое в дальнейшем подлежит введению в математическую модель сети с целью ее расширения на предоставление услуг гарантированного качества.

2.3.Метод оценки качества передача данных

На данный момент модель для получения оценки сквозного качества предоставления услуг передачи данных в терминах QoE предложена только для случая поиска и просмотра информации в Web. Воспринимаемое пользователем качество просмотра информации в Web в соответствии с G.1030 является функцией времени сеанса связи и вычисляется по одной из следующих формул[17]:

$$MOS_{2-стр} = \frac{4}{\ln\left(\frac{0,011T_{\max} + 0,47}{T_{\max}}\right)} (\ln(T_{\text{сеанса}}) - \ln(0,011T_{\max} + 0,47)) + 5 \quad (2.9)$$

$$MOS_{1-стр} = \frac{4}{\ln\left(\frac{0,005T_{\max} + 0,24}{T_{\max}}\right)} (\ln(T_{\text{сеанса}}) - \ln(0,005T_{\max} + 0,24)) + 5 \quad (2.10)$$

$$MOS_{\text{один}} = \frac{4}{\ln\left(\frac{0,003T_{\max} + 0,12}{T_{\max}}\right)} (\ln(T_{\text{сеанса}}) - \ln(0,003T_{\max} + 0,12)) + 5 \quad (2.11)$$

где $MOS_{2-стр}$, $MOS_{1-стр}$, $MOS_{\text{один}}$ – оценки MOS для двухстраничного сеанса связи поиска и просмотра информации, для одностраничного сеанса связи и для произвольных одностраничных сеансов (одиночное событие) соответственно; $T_{\text{сеанса}}$ – время сеанса связи; T_{\max} –максимальное ожидаемое время сеанса связи. Время сеанса связи $T_{\text{сеанса}}$ представляет собой время, в течение которого будет полностью загружена нужная Web-страница. В случае двухстраничного поиска и просмотра информации это сумма времени загрузки страницы поиска, самого поиска и загрузки запрошенной страницы. Время сеанса связи является параметром, отражающим совокупное качество работы сети, и его можно отнести к уровню QoS .

При использовании протокола TCP для передачи данных время $T_{\text{сеанса}}$ является функцией выделенной пропускной способности B_{NP} , задержки в сети T_{NP} и вероятности потери пакетов в сети P_{NP} . Основой для

формирования зависимости $T_{сеанса}$ (B_{NP} , T_{NP} , P_{NP}) является формула пропускной способности ТСР.

$$B_{TCP} \approx \min \left(\frac{W_{\max}}{RTT}, \frac{1}{RTT \sqrt{\frac{2bP_{pl}}{3}} + T_0 \min \left(1,3 \sqrt{\frac{3bP_{gl}}{8}} \right) P_{gl} (1 + 32P_{pl}^2)} \right) \quad (2.12)$$

где B_{TCP} – приближительная модель пропускной способности ТСР, пак/с; W_{\max} – максимальный размер буферного окна получателя, пакеты; RTT – период кругового обращения, с, $RTT = 2T_{NP}$; b – количество пакетов, запрошенных для подтверждения приема полученным АСК; T_0 – время ожидания для повторной передачи не подтвержденного (потерянного) пакета.

Для эталонной конечной точки ТСР (ТСР Рино) приняты следующие параметры: максимальное окно 16, 64 или 256 кбайт, время ожидания $T_0 = 1$ с,

$b = 2$ пакета (одно подтверждение АСК на два пакета). Характерной особенностью ТСР-соединения является его способность предотвращать

перегрузки, однако в результате таких действий появляются дополнительные потери пакетов (потери вследствие проверки протоколом ТСР возможности передачи с недопустимыми параметрами) с вероятностью $P_{пров}$. Для оценки

$P_{пров}$ можно воспользоваться упрощенной формулой пропускной способности

ТСР:

$$B_{TCP} \approx \frac{MSS}{RTT} * \frac{C}{\sqrt{P_{пров}}} \quad (2.13)$$

где C – постоянная, которая учитывает влияние случайных/периодических потерь и стратегии АСК, как правило, $C = 0,866$; MSS – максимальный размер сегмента ТСР. Учитывая, что ТСР ограничивает пропускную способность приблизительно до 75 %, то есть $0,75 TCP NP B \approx B$, имеем:

$$P_{пров} \approx \frac{MSS}{RTT} * \frac{C}{0,75 B_{NP}} \quad (2.14)$$

Тогда суммарная вероятность потерь:

$$P_{pl} = 1 - (1 - P_{NP})(1 - P_{пров}) \quad (2.15)$$

При просмотре одной Web-страницы время загрузки приближенно можно оценить как:

$$T_{сеанса} = T_{уст.соед.} + T_{пер} \quad (2.16)$$

где $T_{уст.соед.}$ – время установления соединения TCP; $T_{пер}$ – время передачи содержимого Web-страницы.

Время передачи определяется объемом загружаемой страницы L (для страницы со сложной графикой $L \approx 1 \text{ Мбит}$) и пропускной способностью TCP

$$T_{пер} = \frac{L}{B_{TCP}} \quad (2.17)$$

При незначительных потерях в сети, когда $P_{NP} < P_{пров}$, можно считать

$$T_{пер} = \frac{L}{0,75B_{NP}} \quad (2.18)$$

Время установления соединения представляет собой сумму всех временных задержек (RTT), которые имеют место на данном этапе. Для соединения, предложенного в G.1030 в качестве эталонного (рис.2.8), это время DNS-опроса (26 мс) и время открытия TCP-соединения ($39 \text{ мс} + T_{NP}$)

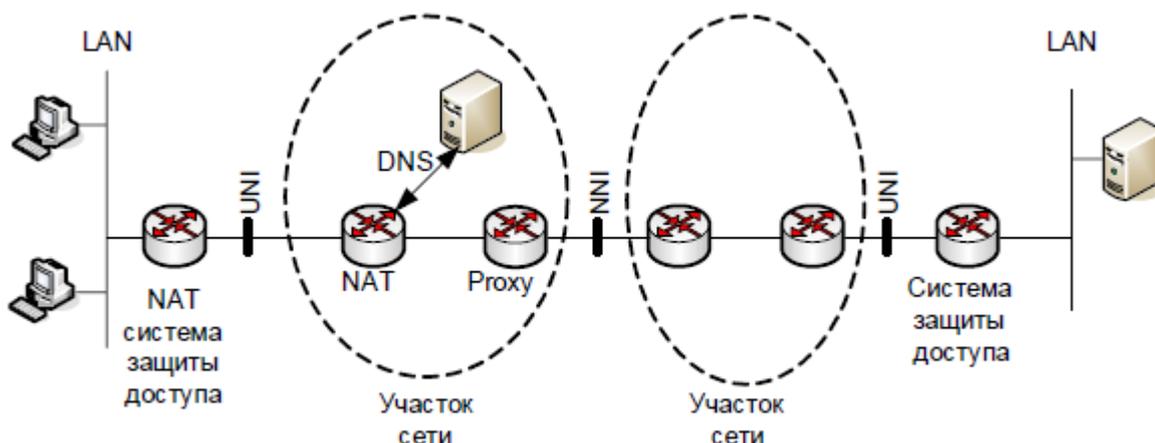


Рис.2.8. Время установление соединения TCP

Таким образом, формулы (2.9) – (2.17) представляют собой зависимость $QoE(NP)$ для просмотра Web-информации, которая может быть использована

для формирования ограничений вида (2.2) исходя из требуемого уровня *MOS*. Для остальных видов услуг передачи данных (транзакции, e-mail, telnet, передача неподвижных изображений, интерактивные игры и пр.) формулы (2.12) – (2.17) отражают зависимость $QoS(NP)$ и могут быть использованы для формирования ограничений вида (2.3) исходя из требуемого QoS .

Выводы

В данной главе диссертации были рассмотрены следующие:

1. Метод ITU-T определяет рейтинг основных качеств:

- рейтинг качества R (Quality Rating), $0 \leq R \leq 100$;

- среднюю экспертную оценку MOS (Mean Opinion Score), $1 \leq MOS \leq 5$.

2. Воспринимаемое качество обслуживания QoE зависит как от качества работы сети, так и от ряда действий, производимых над трафиком в конечном оборудовании в соответствии с типом приложения, генерирующего данный трафик

3. В результате функциональная зависимость $QoE(QoS(NP))$ определяется типом приложения. Как показали результаты анализа, формализованная зависимость $QoE(NP)$ (а значит $NP_{треб}(QoE_{треб})$) существует только для трех типов услуг: передача речи, видео-телефония и просмотр информации в Web.

3. НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

3.1. Основы нечетко множественного анализа

В общем случае под *нечеткой моделью* понимается информационно - логическая модель системы, построенная на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики[18].

Таким образом, отдельными этапами процесса нечеткого моделирования являются:

1. Анализ проблемной ситуации.
2. Структуризация предметной области и построение нечеткой модели.
3. Выполнение вычислительных экспериментов с нечеткой моделью.
4. Применение результатов вычислительных экспериментов.
5. Коррекция или доработка нечеткой модели.

Как было отмечено ранее, одним из характерных признаков сложности построения модели является неопределенность в представлении структуры или поведения системы оригинала. При этом сама категория неопределенности может быть рассмотрена с различных точек зрения. В рамках современной методологии системного моделирования неопределенность может характеризовать следующие аспекты модельных представлений.

- Неясность или нечеткость границы системы. Так, например, использование дихотомических признаков " высокий - низкий", "большой маленький", " дорогой - дешевый", "молодой- старый", "опытный- неопытный", "быстрый- медленный" и подобных им для определения состава элементов системы сталкивается с принципиальной трудностью представления структуры модели системы. Характерный пример этого аспекта неопределенности собственно класс сложных систем в контексте ответа на вопрос: "Какие системы следует считать сложными?" Другим примером может служить проблема распознавания рукописного текста компьютером, которая и сейчас не решена

в полном объеме.

- Неоднозначность семантики отдельных терминов, которые используются при построении концептуальных моделей систем. Речь идет о присущей естественным языкам полисемии или неоднозначности смысла понятий (модель прически и математическая модель, игральный автомат и автомат как стрелковое оружие, географическая карта местности и игральная карта, стрела башенного крана и стрела, пущенная из лука, замок двери и средневековый замок).

- Неполнота модельных представлений о некоторой сложной системе, особенно в связи с решением слабо формализуемых проблем. В этом случае сама попытка построить адекватную модель сложной системы или предметной области сталкивается с принципиальной невозможностью учесть все релевантные особенности решаемой проблемы.

- Противоречивость отдельных компонентов модельных представлений или требований, которым должна удовлетворять модель сложной системы. Так, например, требование решить проблему за минимальное время и с минимальными финансовыми затратами содержит в себе элемент противоречия. Элементы противоречий содержатся в законодательных актах и являются предметом юридической практики.

- Неопределенность наступления тех или иных событий, относящихся к возможности нахождения системы оригинала в том или ином состоянии в будущем. Речь идет о том, что анализ процесса поведения системы не дает оснований для однозначного ответа на вопрос: "Будет ли находиться система оригинал в некотором состоянии в момент времени, который относится к ее будущему?" Этот аспект неопределенности часто называют стохастическим, поскольку он традиционно исследовался средствами теории вероятностей и математической статистики.

Возвращаясь к характеристике методологии нечеткого моделирования, следует отметить, что исходной предпосылкой ее развития являлась разработка адекватных модельных средств для представления первого

аспекта неопределенности, связанного, прежде всего, с неясностью или нечеткостью описания границы системы или отдельных ее состояний. Тем не менее, появление и последующее развитие концепции нечеткой меры и теории возможностей позволяет утверждать то, что и другие аспекты неопределенности могут быть подвергнуты нечеткому анализу.

Таким образом, нечеткая модель системы оригинала, или нечеткая система в первую очередь характеризуется неопределенностью типа неясности (нечеткости) границы системы, а также, возможно, отдельных ее состояний, входных и выходных воздействий. В этом случае исходная структуризация нечеткой системы может быть изображена графически в виде фигуры с расплывчатыми границами (рис. 3.1).



Рис.3.1. Графическая иллюстрация нечеткой системы как системы с нечеткой границей

Как было отмечено выше, базовой методологией построения нечетких моделей являются собственно теория нечетких множеств и нечеткая логика, которые, в свою очередь, являются обобщением классической теории множеств и классической формальной логики. В связи с этим в приложениях 1 и 2 рассматриваются те из понятий классической теории множеств и формальной логики, которые в той или иной степени используются далее для соответствующего нечеткого обобщения.

В связи с рассмотренными выше различными аспектами неопределенности, перечень которых, в свою очередь, не претендует на полноту, следует отметить дискуссию, которая возникла по вопросу: "Является ли нечеткость разновидностью вероятности или она имеет некое самостоятельное содержание?" Эта дискуссия была инициирована адептами стохастического подхода к анализу неопределенности и время от времени дополняется новой аргументацией в пользу того, что по их мнению, нечеткость не вносит ничего нового в процесс анализа неопределенности. Хотя ниже будет строго математически показано что концепция нечеткой меры включает как частный случай вероятностную меру, уже сейчас можно увидеть качественное отличие в рассмотренных выше аспектах неопределенности. Наличие других ее аспектов, таких как неуверенность, несогласованность, ненадежность, недостаточность, могут послужить предметом дальнейших размышлений заинтересованных читателей по данной проблематике. Исторически изучением и разработкой моделей, учитывающих неопределенность того или иного вида, занимаются многие математические дисциплины, такие как теория вероятностей, теория информации, математическая статистика, теория игр, теория массового обслуживания и теория нечетких множеств. Один из способов показать различия нечеткого и стохастического подходов классифицировать тип неопределенности, которая изучается этими дисциплинами. С этой целью рассмотрим два наиболее характерных типа неопределенности стохастическую и лингвистическую неопределенности.

Стохастическая неопределенность имеет место в ситуациях, когда некоторое хорошо описанное событие может произойти, а может не произойти. При этом с течением времени степень неопределенности, связанная с этим событием, может измениться. Дополнительно необходимо принять некоторые предположения относительно условий, при которых рассматривается данное событие. Эти условия, как правило, характеризуют так называемый *идеальный эксперимент*.

Рассмотрим следующее высказывание: *"Вероятность того, что при бросании монеты выпадет орел (герб), равна 0.5"*. В этом высказывании неявно предполагается, что монета и поверхность идеально, но правильной формы, процесс бросания идеален с точки зрения субъектов эксперимента, а потенциальная возможность того, что монета окажется в вертикальном положении, исключается полностью. По прошествии некоторого времени неопределенность исчезает, поскольку после подбрасывания монеты она окажется в одном из двух возможных состояний: либо орлом сверху, либо решкой. Таким образом, рассматриваемое высказывание имеет смысл только по отношению к событию в будущем. Изменение условий эксперимента может привести к изменению содержания этого высказывания. Поскольку обеспечить идеальные условия на практике не всегда возможно, вольно или невольно мы вынуждены считаться с некоторой потенциально присутствующей ошибкой в количественной оценке вероятности событий. Предельные теоремы теории вероятностей как раз и предназначены для оценки этой погрешности при частотной интерпретации вероятности события в длинной серии испытаний. Исторически теория вероятностей была первой математической дисциплиной для представления неопределенности в математических моделях. По этой причине любая неопределенность долгое время считалась стохастической по своей природе и наделялась, иногда искусственно, свойствами случайной неопределенности. Что касается вероятностного процесса, результат любой частной реализации которого является исключительно вопросом случая, предсказать последовательность событий просто невозможно. Для вероятностных процессов оказывается возможным лишь точное описание статистических оценок некоторых усредненных характеристик этого процесса.

Рассмотрим другое высказывание: *"Вероятность того, что завтра пойдет дождь, равна 0.8"*. В этом высказывании неявно предполагается, что событие "пойдет дождь" хорошо описано. Тем не менее, совершенно очевидно, что это событие недостаточно хорошо определено: не ясно, то ли дождь будет идти

целый день, или дождь будет идти 80% от следующих по времени суток? Более того, следует ли считать дождем мелкий дождь или только ливень? Таким образом, при кажущейся очевидности этого высказывания при более детальном его анализе мы обнаруживаем некоторый другой тип неопределенности, который содержательно отличается от стохастического. Эта неопределенность скорее относится к лингвистическому описанию ситуации или события, а не к количественной оценке того, произойдет это событие в будущем или не произойдет.

Лингвистическая неопределенность Реальный мир сложен, причем эта сложность зачастую проявляется как неопределенность в форме неоднозначности или неточности. Этот тип неопределенности связан с неточностью обычного человеческого языка, с ним мы постоянно сталкиваемся в повседневной жизни. Достаточно рассмотреть фразы типа "высокие люди", "горячие пирожки", "красивое лицо", "хороший автомобиль", "устойчивая валюта", "дождливый день", "неважное самочувствие", "трудный день", чтобы понять, что вряд ли возможно дать им точные количественные определения. Действительно, высокие и низкие люди будут иметь свои собственные представления о том, каких людей следует считать высокими. Более того, если мы формально установим считать высокими всех людей выше 180 см, будет ли человек с ростом 179.999 см высоким или нет? Контекст фраз тоже имеет значение, поскольку оценка высоких людей, находящихся на сцене театра и в зрительном зале, будет различной.

Для изучения подобных субъективных оценок предназначена отдельная наука психолингвистика. В рамках этой науки принято считать, что в рассмотренных фразах люди используют слова в качестве некоторых субъективных категорий. Эти субъективные категории дают нам возможность классифицировать объекты, которые характеризуются такими свойствами, как "высота", "длина", "вес", "температура", "цвет". Даже при том, что большинство используемых категорий точно не определено, люди могут использовать их для весьма комплексных оценок и решений, которые

основаны на учете многих различных факторов.

Рассмотрим высказывание: *"Вероятно, мы будем иметь успешный Финансовый год"*. Это высказывание имеет существенные отличия от рассмотренных ранее высказываний. Во первых, само событие точно не определено. Для некоторых компаний успешный финансовый год может означать, что им удастся избежать банкротства. Для других это может означать превышение прибыли за предшествующий год. Даже для отдельно взятой компании трудно предложить некоторое количественное значение прибыли, чтобы определить, будет ли для нее бюджетный год, как рассматривается, успешным или нет. Следовательно, понятие "успешный финансовый год" является субъективной категорией. Другая особенность последнего высказывания заключается в определении выражения вероятности. В то время как в предыдущих двух высказываниях вероятность была выражена количественно, данное высказывание не определяет количество вероятности. Следовательно, выражение вероятности в последнем высказывании также является субъективной категорией так же, как "высокие люди" и "горячие пирожки".

Нечеткое множество. Нечеткое множество (fuzzy set) представляет собой совокупность элементов произвольной природы, относительно которых нельзя с полной определенностью утверждать принадлежит ли тот или иной элемент рассматриваемой совокупности данному множеству или нет. Другими словами нечеткое множество отличается от обычного множества тем, что для всех или части его элементов не существует однозначного ответа на вопрос: "Принадлежит или не принадлежит тот или иной элемент рассматриваемому нечеткому множеству?" Можно этот вопрос задать и по другому: "Обладают или нет его элементы некоторым характеристическим свойством, которое может быть использовано для задания этого нечеткого множества?"

Для построения нечетких моделей систем само понятие нечеткого множества следует определить более строго, чтобы исключить неоднозначность толкования тех или иных его свойств.

Оказалось, что существуют несколько вариантов формального определения нечеткого множества, которые по сути отличаются между собой способом задания характеристической функции данных множеств. Среди этих вариантов наиболее естественным и интуитивно понятным является задание области значений подобной функции как интервал действительных чисел, заключенных между 0 и 1 (включая и сами эти значения).

Математическое определение нечеткого множества. Формально нечеткое множества A определяется как множества упорядоченных пар или кортежей вида: $\langle x, \mu_A(x) \rangle$, где x является элементом некоторого универсального множества или универсума X , а $\mu_A(x)$ - функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому из элементов $x \in X$ некоторое действительное число из интервала $[0, 1]$, т.е. данная функция определяется в форме отображения:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (3.1)$$

При этом значение $\mu_A(x) = 1$ для некоторого $x \in X$ означает, что элемент x *определенно принадлежит нечеткому множеству* A , а значения $\mu_A(x) = 0$ означает, что элемент x *определенно не принадлежит нечеткому множеству* A .

Формально конечное нечеткое множества будем записывать в виде:

$A = \{ \langle x_1, \mu_A(x_1) \rangle, \langle x_2, \mu_A(x_2) \rangle, \dots, \langle x_n, \mu_A(x_n) \rangle \}$, в общем случае – в виде:

$A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \}$.

Поскольку существующие различия в формах записи не имеют принципиального значения, в последующем тексте нечеткие множества для удобства будут обозначаться рукописными прописными буквами: A, B, C, D .

С другой стороны, для записи классических (не нечетких, crisp) множеств будут по-прежнему использоваться общепринятые обозначения в форме: A, B, C, D .

Из всех нечетких множеств выделим два частных случая, которые по сути совпадают со своими классическими аналогами и используются в дальнейшем при определении других нечетких понятий.

Пусто нечеткое множество. В теории нечетких множеств сохраняют свой смысл некоторые специальные классические множества. Так, например, *пустое нечеткое множество* или *множество*, которое не содержит ни одного элемента, по прежнему обозначается через \emptyset . Формально определяется как такое нечеткое множество, функция принадлежности которого тождественно равна нулю для всех без исключения элементов: $\mu_0(x) = 0$. В этой связи уместно упомянуть о том, что характеристическая функция обычного пустого множества также тождественно равна нулю для каких бы то ни было элементов: $\chi_0(x) = 0$.

Универсум. Что касается другого специального множества, то так называемый универсум, обозначаемый через X , уже был использован выше в качестве обычного множества, содержащего в рамках некоторого контекста все возможные элементы. Формально удобно считать, что функция принадлежности универсума как нечеткого множества тождественно равна единице для всех без исключения элементов: $\mu_x = 1$. При этом характеристическая функция обычного универсального множества также тождественно равна единице для каких бы то ни было элементов: $\chi_x = 1$

Нечеткий логический вывод применяется при моделировании объектов с непрерывным и с дискретным выходам. Объекты с непрерывным выходам (рис 3.2) соответствуют задачам аппроксимации гладких функций, возникающим в прогнозировании, многокритериальном анализе, управлении техническими объектами и т.п. Объекты с дискретным выходам (рис.3.3) соответствуют задачам классификации в медицинской и технической диагностике, в распознавании образов, в ситуационном управлении и при принятии решений в других областях.

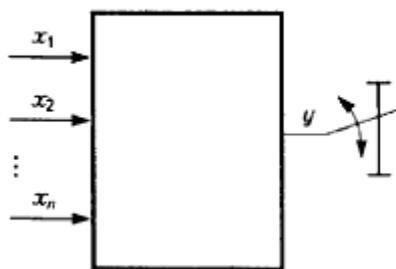


Рис.3.2. Объект с непрерывным выходом

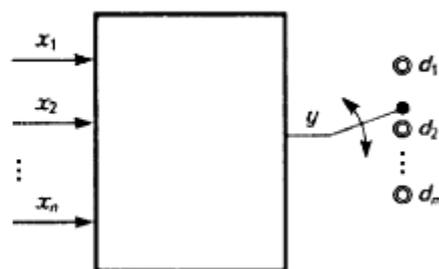


Рис.3.3 Объект с дискретным выходом

Типовая структура системы нечеткого вывода показана на рис.3.4. Она содержит такие модули:

- *Фаззификатор*, преобразующий фиксированный вектор влияющих факторов (X) в вектор нечетких множеств \tilde{X} , необходимых для нечеткого вывода;

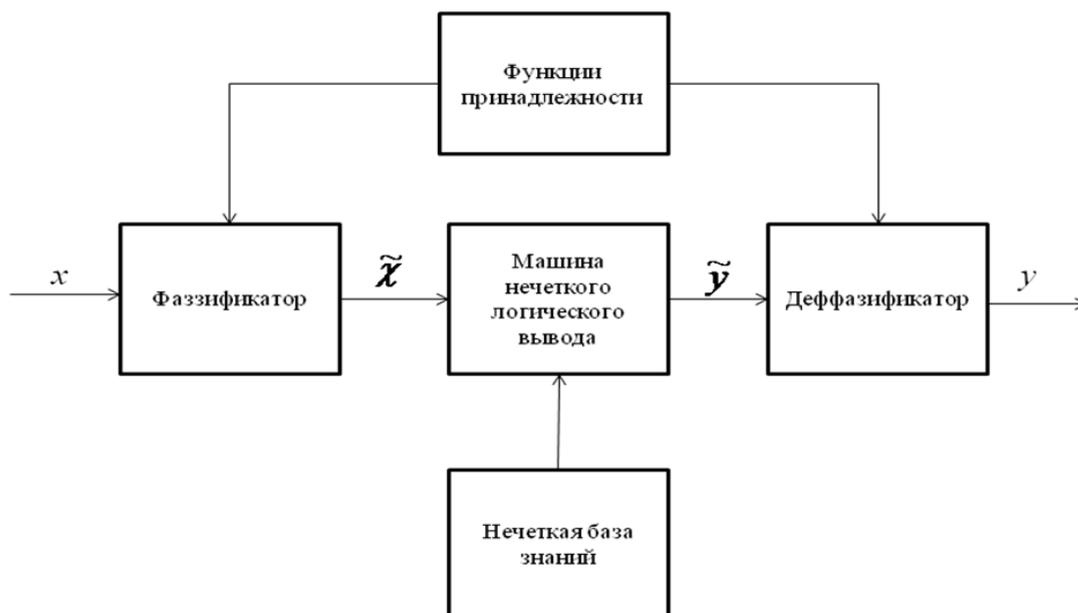


Рис.3.4. Система нечеткого логического вывода

- *нечеткая база знаний*, содержащая информацию о зависимости $Y = f(X)$ в виде лингвистических правил «Если - то»;
- *функции принадлежности*, используемые для представления лингвистических термов в виде нечетких множеств;
- *машина нечеткого логического вывода*, которая на основе правил базы знаний определяет значение выходной переменной в виде нечеткого

множества \tilde{Y} , соответствующего нечетким значениям входных переменных (\tilde{X});

- *деффазификатор*, преобразующий выходное нечеткое множество \tilde{Y} в четкое число Y .

3.2.Метод оценки качества на основе нечеткого множества

Сети связи, так же как и устройства связи, принято описывать набором технических характеристик. В момент, когда сеть связи и набор предоставляемых ею технических возможностей становятся услугой связи, все характеристики сети связи наследуются услугой связи. Однако у услуги связи возникают и свои новые характеристики, позволяющие лучше позиционировать и отделить ее от других услуг. Одной из важнейших характеристик любой услуги связи является ее качество. Причем если на начальном этапе можно говорить о качестве, как о результате совокупного воздействия объективных характеристик сети связи, то с выходом на массовый рынок услуг связи для непрофессиональных пользователей понятие качества все сильнее уходит в область неизмеримых характеристик. В конечном счете под качеством услуг связи начинают понимать общую меру субъективной удовлетворенности потребителя. Когда услуга связи становится рыночной услугой в полном смысле этого слова, она начинает подчиняться законам рынка. В частности, широко известен закон, что клиент всегда прав. Действительно, первостепенной задачей телекоммуникационной компании, предоставляющей услуги связи на конкурентном рыночном пространстве, становится задача увеличения прибыли через увеличение клиентской базы. На пути повышения прибыли и лояльности клиентов телекоммуникационной компании приходится начинать говорить с клиентами на одном языке. Непрофессиональным потребителям услуг связи (а их большинство) свойственно предъявлять к предлагаемым им услугам связи требования вида "отсутствие перерывов связи", "хорошая слышимость и разборчивость речи" и т.д. По уровню удовлетворенности этих субъективных требований к качеству обычно и делается выбор услуги[19].

Легко понять, что приведенные субъективные требования к качеству являются по сути своей функцией от объективных показателей качества и результата их взаимодействия с характеристиками трафика. Также легко заметить, что субъективные требования к качеству являются целевыми показателями, но при этом не могут быть измерены. Объективные показатели качества могут быть измерены с высокой точностью, но не говорят пользователю ровным счетом ничего. Появляется необходимость контроля субъективной удовлетворенности клиента через оценку объективных показателей качества. Такая задача, с учетом мультисервисности современных сетей, должна быть решена не для конкретного приложения, а для максимально возможного спектра услуг связи.

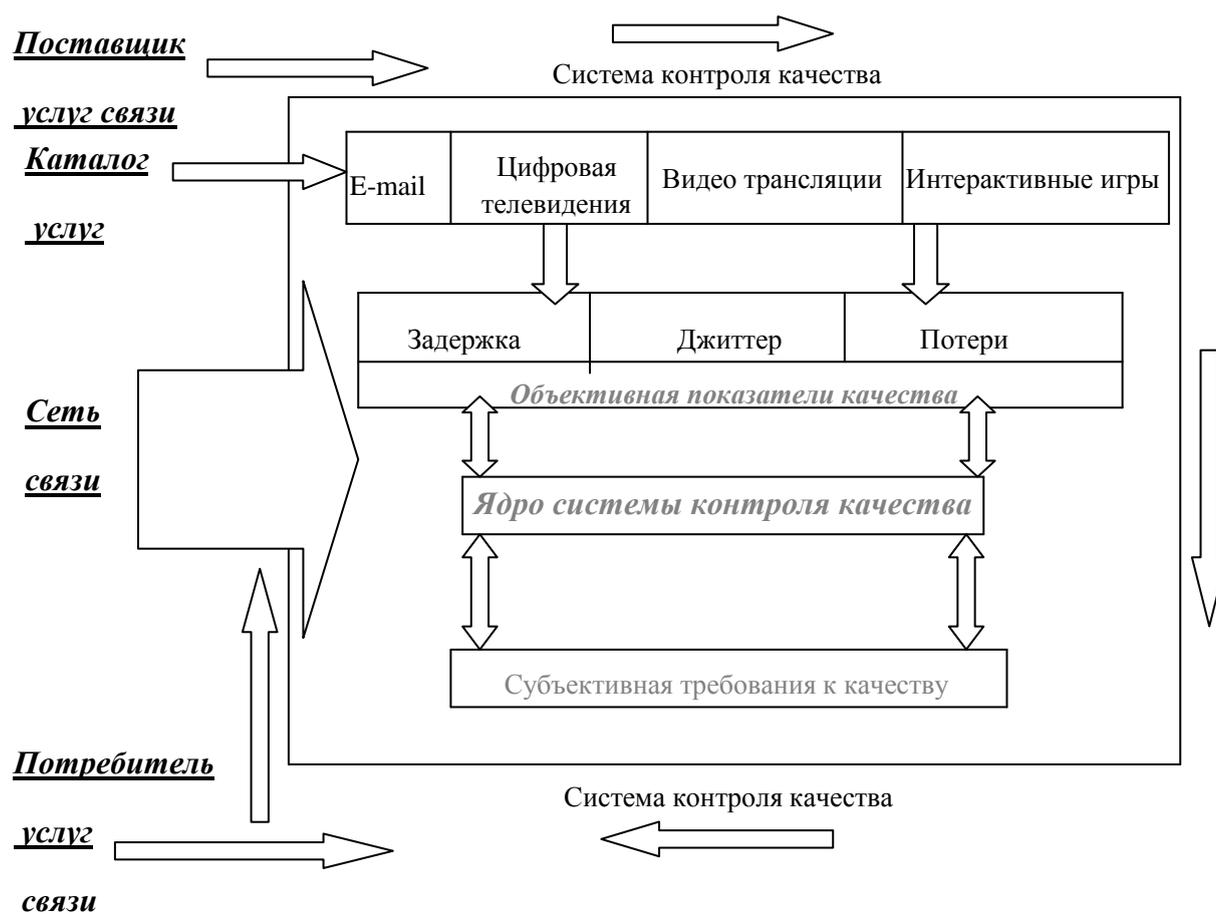


Рис.3.5

Решением поставленной задачи может стать система оценки качества (рис. 3.5), базирующаяся на специальном математическом ядре, одинаково свободно оперирующем объективными и субъективными величинами. Воспользуемся теорией нечетких множеств и аппаратом нечеткой логики для формирования ядра системы.

На примере VoIP. Для обеспечения принципа единства измерений необходимо выбрать объективные показатели качества таким образом, чтобы они были хорошо известны, однозначно понимаемы и адекватно передавали итоговую картину качества. Удобнее всего для этого воспользоваться рядом рекомендаций Международного союза электросвязи (МСЭ). Так, для широко распространенных сетей пакетной коммутации на основе IP-протокола МСЭ выпустил рекомендации Y.1221, Y.1540, Y.1541. В рекомендации Y.1540 определяются объективные показатели качества, которые следует контролировать при определении уровня услуг в сетях IPv4 и IPv6. Рекомендация Y.1221 дает подробное описание и схемы измерений величин этих показателей обслуживания, минимизируя тем самым возможность разночтений при измерениях. Рекомендация Y.1541 вводит понятие классов обслуживания (Network Quality of Service Classes), привязывая их к различным видам пользовательских услуг и приложений. В этой же рекомендации приводятся численные значения для параметров, определенных в Y.1540, которые также сопоставляются с классами обслуживания (табл.3.1).

Таблица 3.1

Классы обслуживания по рекомендации МСЭ Y.1541

Параметр	Классы обслуживания					
	Класс 0	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
производительности сети						
Задержка	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н
Джиттер	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Вероятность потерь	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Н

Таблица 3.2

Переменные системы нечеткого вывода

X	x1	имя переменной	задержка
		терм-множество	(низкая, средняя, высокая)
		пределы значений	[0, 450]мс
	x2	имя переменной	джиттер
		терм-множество	(низкий, высокий)
		пределы значений	[0, 90]мс
	x3	имя переменной	вероятность потерь
		терм-множество	(низкая, высокая)
		пределы значений	[10^{-10} , 10^{-1}]мс
Y	имя переменной	качества услуг	
	терм-множество	(низкое, среднее, высокое)	
	пределы значений	[1,3]мс	

Рассмотрим реализацию услуги передачи голоса поверх IP-протокола (VoIP) с кодеком G.711. Согласно Y.1541 данный вид услуг может функционировать при обеспечении качества по классу 0 или 1. Соответственно при обеспечении класса 0 качество связи будет хорошее и клиенты будут удовлетворены, при обеспечении класса 1 качество среднее и клиентов придется привлекать дополнительными средствами. При прочих условиях качество связи будет слишком низкое. Из таблицы 1 видно, что для обеспечения класса обслуживания 0 необходимо обеспечение низкой задержки, низкого джиттера и низких потерь. Для обеспечения обслуживания по классу 1 допустимый диапазон задержки может быть увеличен до средних значений. Рассуждая таким образом, мы можем легко сформировать полный набор лингвистических переменных и правил для построения системы нечеткого вывода. Для удобства все переменные сведены в таблицу 3.2. Система правил в символьной форме будет иметь вид, ниже приведенный системе.

Система лингвистических правил:

1. (задержка = низкая)&(джиттер = низкий)&(потери = низкие)=>(качество = высокое)
2. (задержка = средняя)&(джиттер = низкий)&(потери = низкие)=>(качество = среднее)
3. (задержка = низкая)&(джиттер = высокий)&(потери = низкие)=>(качество = низкое)
4. (задержка = средняя)&(джиттер = высокий)&(потери = низкие)=>(качество = низкое)
5. (задержка = высокая)&(джиттер = высокий)&(потери = низкие)=>(качество = низкое)
6. (потери = высокие)=>(качество = низкое)

Для окончательного формирования системы нечеткого вывода необходимо отобразить введенные лингвистические переменные на множество соответствующих им действительных чисел путем задания функций принадлежности. Будем оценивать преимущество одного элемента четкого множества над другим по отношению к свойству заданного нечеткого множества при помощи 9-балльной шкалы Саати. Для окончательного формирования системы нечеткого вывода необходимо отобразить введенные лингвистические переменные на множество соответствующих им действительных чисел путем задания функций принадлежности. Будем оценивать преимущество одного элемента четкого множества над другим по отношению к свойству заданного нечеткого множества при помощи 9-балльной шкалы Саати (Таблица 3.3)[20]:

Таблица 3.3

9-балльной шкала Саати

Относительная важность	Определения
1	Равная важность
3	Заметное преимущества одного над другим
5	Существенное преимущество
7	Значительное преимущества
9	Очень сильное преимущества
2,4,6,8	Промежуточная оценка между двумя соседними

Матрица парных сравнений для функции принадлежности нечеткого множества "низкая задержка" будет иметь вид, как указано в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Матрица парных сравнений для функции принадлежности нечеткого множества “низкая задержка”

Задержка, мс	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
0	1	1	1	3	7	9	9	9	9	9
50	1	1	1	3	7	9	9	9	9	9
100	1	1	1	3	5	9	9	9	9	9
150	1/3	1/3	1/3	1	3	5	5	5	7	9
200	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	3	3	5	7
250	1/9	1/9	1/9	1/5	1	1	1	3	3	5
300	1/9	1/9	1/9	1/5	1/3	1	1	1	1	3
350	1/9	1/9	1/9	1/5	1/3	1/3	1	1	1	1
400	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	1	1	1
450	1/9	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1

Таблица 3.5

Степени принадлежности для нечеткого множества “низкая задержка”

Задержка, мс	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
$\mu(v_i)$	1,0000	1,0000	0,9562	0,4823	0,2330	0,1663	0,1070	0,0965	0,0794	0,0619

Находя собственный вектор матрицы, получим значения степеней принадлежности для данного нечеткого множества (табл. 3.5).

3.3. Нечетко - множественной анализ качества обслуживания в среде Matlab

Для реализации процесса нечеткого моделирования в среде Matlab предназначен специальный пакет расширения Fuzzy Logic Toolbox. В этом специальном разделе можно выполнять следующие действия по разработке и использованию нечетких моделей в одном из следующих режимов[21].

- в интерактивном режиме с помощью графических средств редактирования и визуализации всех компонентов систем нечеткого вывода;
- в режиме команд с помощью ввода имен соответствующих функций с необходимыми аргументами непосредственно в окно команд системы MATLAB.

Ниже рассматриваются особенности разработки систем нечеткого вывода в каждом из этих режимов и даются рекомендации по выполнению необходимой последовательности действий.

Разработки и дальнейшего применения систем нечеткого вывода в интерактивном режиме могут быть использованы следующие графические средства, входящие в состав пакета Fuzzy Logic Toolbox.

- Редактор систем нечеткого вывода FIS (FIS Edit) или сокращенно редактор FIS.
- Редактор функций принадлежности системы нечеткого вывода (Membership Function Editor) или сокращенно редактор функций принадлежности.
- Редактор правил системы нечеткого вывода (Rule Edit) или сокращенно редактор правил.
- Программа просмотра правил системы нечеткого вывода (Rule Viewer") или сокращенно просмотрщик правил вывода.
- Программа просмотра поверхности системы нечеткого вывода (Surface Viewer) или сокращенно просмотрщик поверхности вывода.

Кроме этих графических средств в состав пакета Fuzzy Logic Toolbox также входят следующие специальные программы.

- Редактор адаптивных систем нейро-нечеткого вывода (Adaptive Neuro-Fuzzy).

Inference System Editor) или сокращенно редактор гибридных сетей или редактор ANFIS.

- Программа нечеткой кластеризации методом нечетких средних (fuzzy c-means clustering).

Для быстрого нечеткого вывода в пакете Simulink оптимизирован код функции `sffis`, возможности которой аналогичны функции `evalfis`. С использованием Real-Time Workshop можно сгенерировать эффективный код нечеткого вывода. Fuzzy Logic Toolbox содержит два десятка демо-примеров, иллюстрирующих возможности пакета по созданию нечетких систем в различных областях: идентификации, управлении, прогнозировании, обработке сигналов и др.

Создадим систему нечеткого вывода типа Мамдани, имея виду следующие значение:

Таблица 3.6.

Оценка QoS на основе R-фактора и оценок MOS

Значение R-фактора	Категория качества и оценка пользователя	Значение оценки MOS
$90 < R < 100$	Самая высокая (Отлично)	4,34 – 4,50
$80 < R < 90$	Высокая (Хорошо)	4,03 – 4,34
$70 < R < 80$	Средняя (приемлемо: часть пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)	3,60 – 4,03
$60 < R < 70$	Низкая (плохо: большинство пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)	3,10 – 3,60
$50 < R < 60$	Неприемлемая (не рекомендуется)	2,58 – 3,10

Таблица 3.7.

Стандарт ITU-T по значением показателей качества обслуживания

Задержка мс	Вариация мс	Коэффициент потери пакетов (%)	Коэффициент ошибок пакетов 10^{-3}	Значение R - фактора	Значение оценки MOS	Категория качества и оценка пользователя
0	2	0.1	0.01	91	4.4	Самая высокая
100	5	0.17	0.5	90	4.34	
101	6	0.18	0.51	89	4.3	Высокая
200	9	0.25	1	86	4.1	
201	10	0.26	1.1	79	4	Средняя
300	13	0.33	2	72	3.7	
301	14	0.34	2.1	67	3.4	Низкая
400	17	0.41	5	62	3.1	

Проектирование нечеткой системы состоит в выполнении следующий последовательности шагов.

- Открыть FIS- редактор, напечатав слово *fuzzy* в командной строке[22,23]:

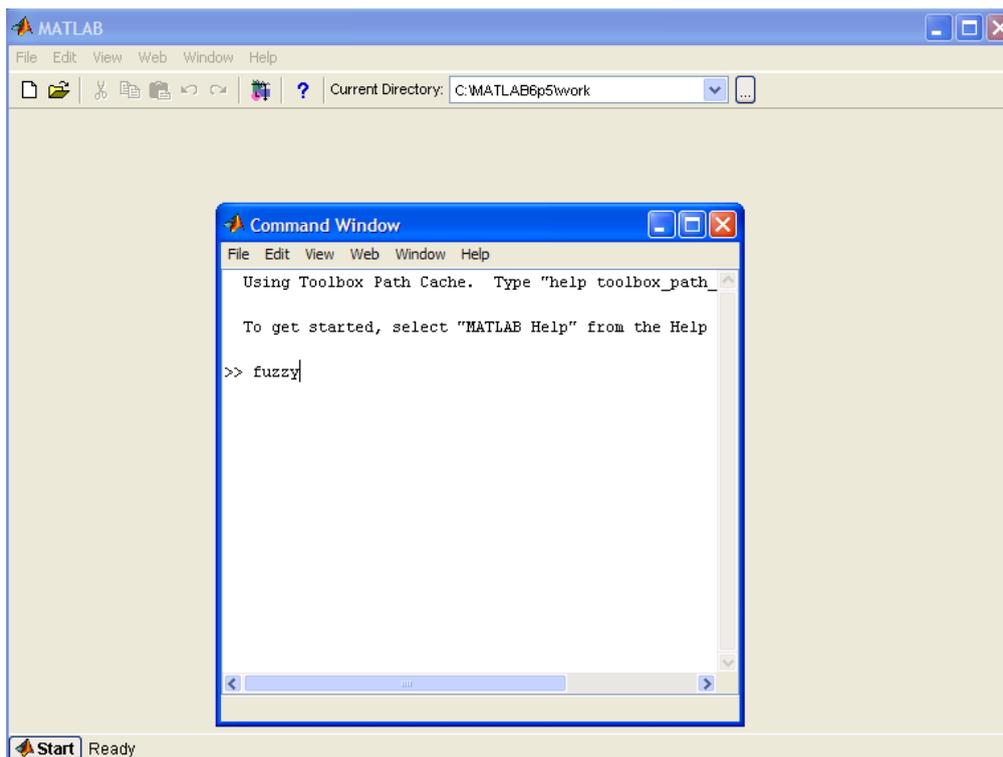


Рис 3.6. Командная строка Matlab

После этого появится новое графическое окно, показанное на рис. 3.7.

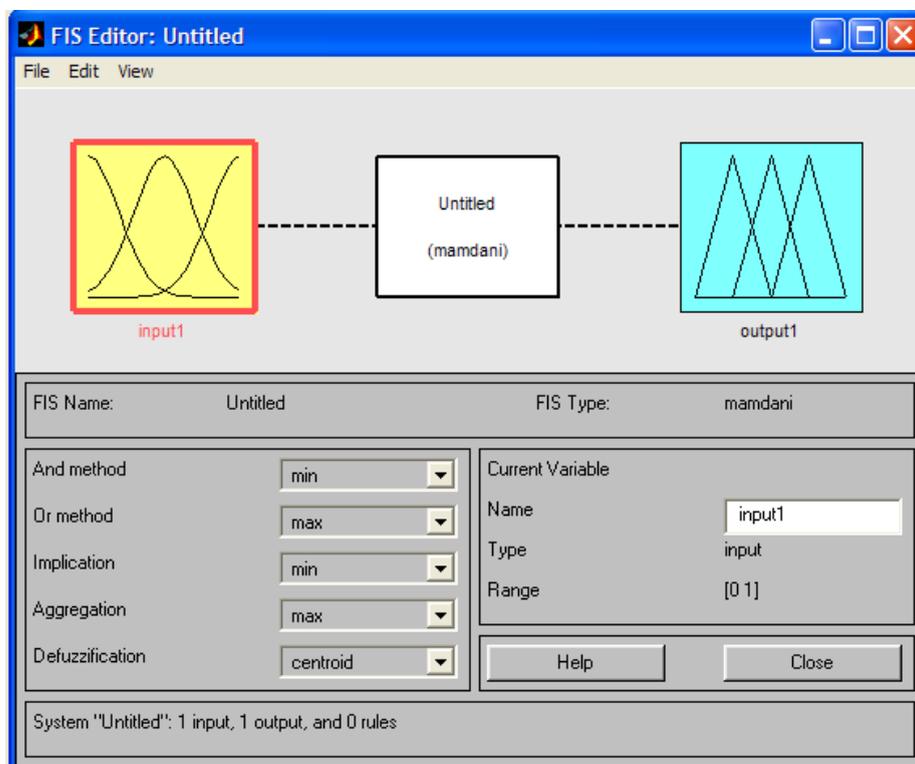


Рис.3.7. Стартовый модель Мамдани в Matlab

- Добавим вторую, третью и четвертую переменную. Для этого в меню **Edit** выбираем команду **Add input** (рис.3.8).

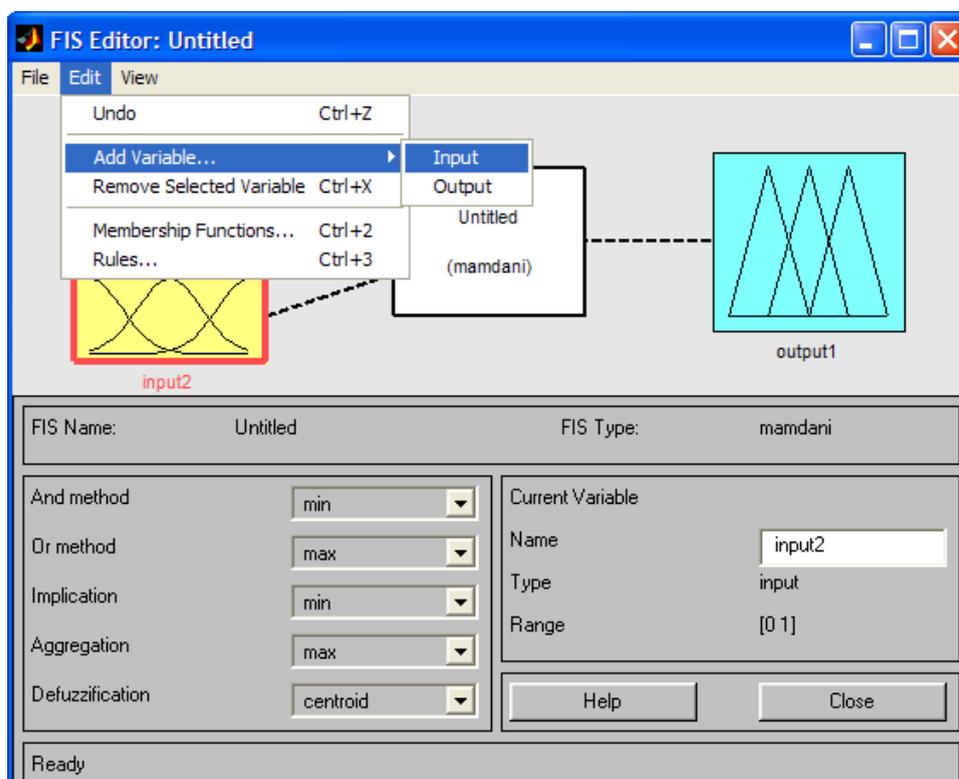


Рис 3.8. Добавления входа в модели Мамдани

- Переименуем первую входную переменную (далее второго, третьего четвертого). Для этого сделаем щелчок левой кнопкой мыши на блоке **input1**, введем новое обозначение *задержка*, (**input2**- *вариация*, **input3**- *к- потери* **input4**- *к- ошибок*) в поле редактирования имени текущей переменной и нажмем <Enter>.

- Переименуем выходную переменную. Для этого щелкнем мышкой на блоке **output1**, введем новое обозначение - *МОС*, у в поле редактирования имени текущей переменной и нажмем <Enter>(Рис.3.9).

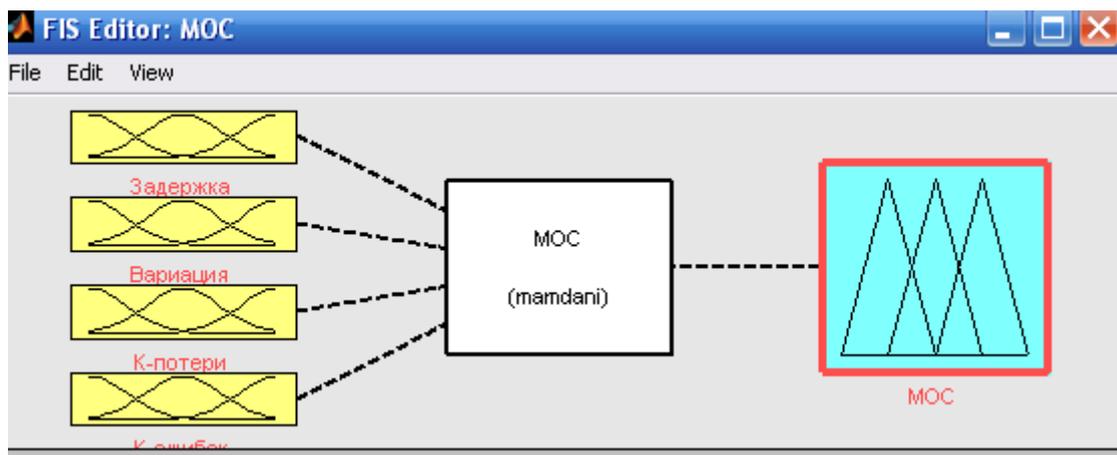
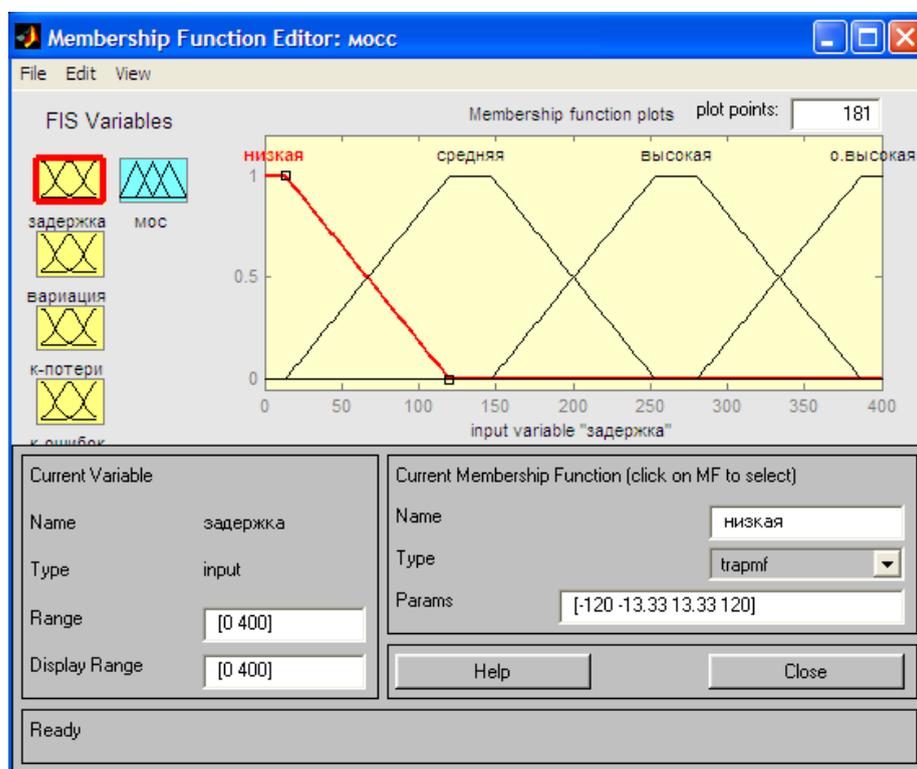


Рис. 3.9. Модель Мамдани

- Зададим имя системы. Для этого в меню **File** выберем в подменю **Export** команду **To Disk...** и введем имя файла *MOC*.
- Перейдем в редактор функций принадлежности. Для этого сделаем двойной щелчок левой кнопкой мыши на блоке *Задержка*.
- Зададим диапазон изменения переменной *Задержка* напечатав [0 400] в поле **Range**.

Рис.3.10. Блок *задержка* в модели Мамдани

- Зададим наименования термов переменной *задержка*. Для этого щелкнем мышкой по графику первой функций принадлежности (см. рис.3.10). График активной функции принадлежности выделяется красной жирной линией. Затем введем наименование терма *Низкий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику второй функции принадлежности, введем наименование терма *Средной* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику третьей функции принадлежности, введем наименование терма *Высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику четвертый функции принадлежности, введем наименование терма *Очень высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. В результате получим графическое окно, изображенное на рис 3.10.
- Зададим функции принадлежности переменной *Вариация* . Для этого активизируем переменную *Вариация* щелчком мышкой по блоку *Вариация*. Зададим диапазон изменения переменной *Вариация*. Для этого напечатаем [0 16] в поле **Range** и нажмем <Enter>(рис.3.11).

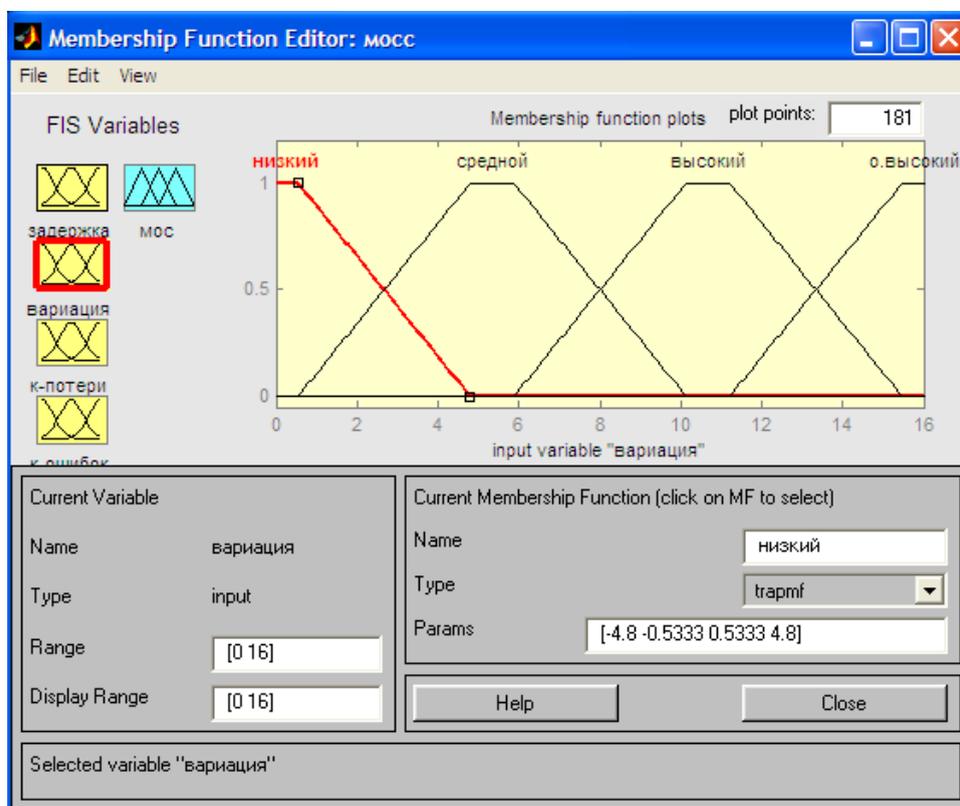


Рис.3.11. Блок *Вариация* в модели Мамдани

- Зададим наименования термов переменной *K-потери*. Для этого щелкнем мышкой по графику первой функции принадлежности. График активной функции принадлежности выделяется красной жирной линией. Затем введем наименование термина *Низкий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику второй функции принадлежности, введем наименование термина *Средний* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику третьей функции принадлежности, введем наименование термина *Высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику четвертой функции принадлежности, введем наименование термина *Очень высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. В результате получим графическое окно, изображенное на рис 3.12.
- Зададим функции принадлежности переменной *K-потери*. Для этого активизируем переменную *K-потери* щелчком мышкой по блоку *K-потери*. Зададим диапазон изменения переменной *K-потери*. Для этого напечатаем [0 0,4] в поле **Range** и нажмем <Enter>(рис.3.12).

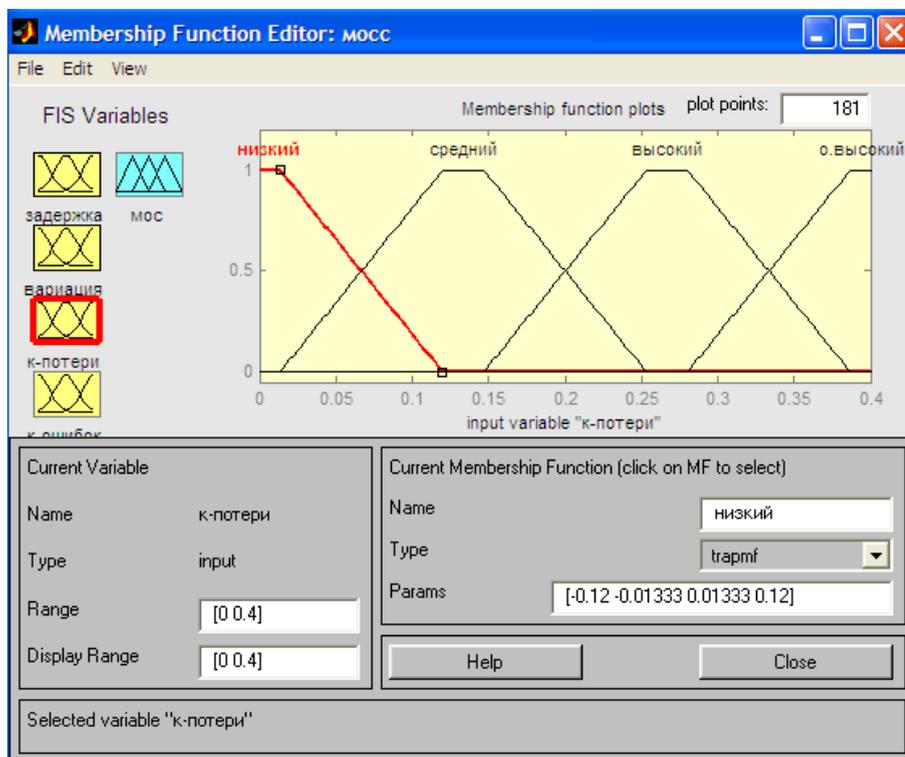


Рис.3.12. Блок *K-потери* в модели Мамдани

- Зададим наименования термов переменной *К-ошибка*. Для этого щелкнем мышкой по графику первой функции принадлежности. График активной функции принадлежности выделяется красной жирной линией. Затем введем наименование термина *Низкой* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику второй функции принадлежности, введем наименование термина *Средной* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику третьей функции принадлежности, введем наименование термина *Высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику четвертой функции принадлежности, введем наименование термина *Очень высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. В результате получим графическое окно, изображенное на рис 3.13.
- Зададим функции принадлежности переменной *К-ошибка*. Для этого активизируем переменную *К-ошибка* щелчком мышкой по блоку *К-ошибка*. Зададим диапазон изменения переменной *К-ошибка*. Для этого напечатаем [0 0,00005] в поле **Range** и нажмем <Enter>(рис.3.13).

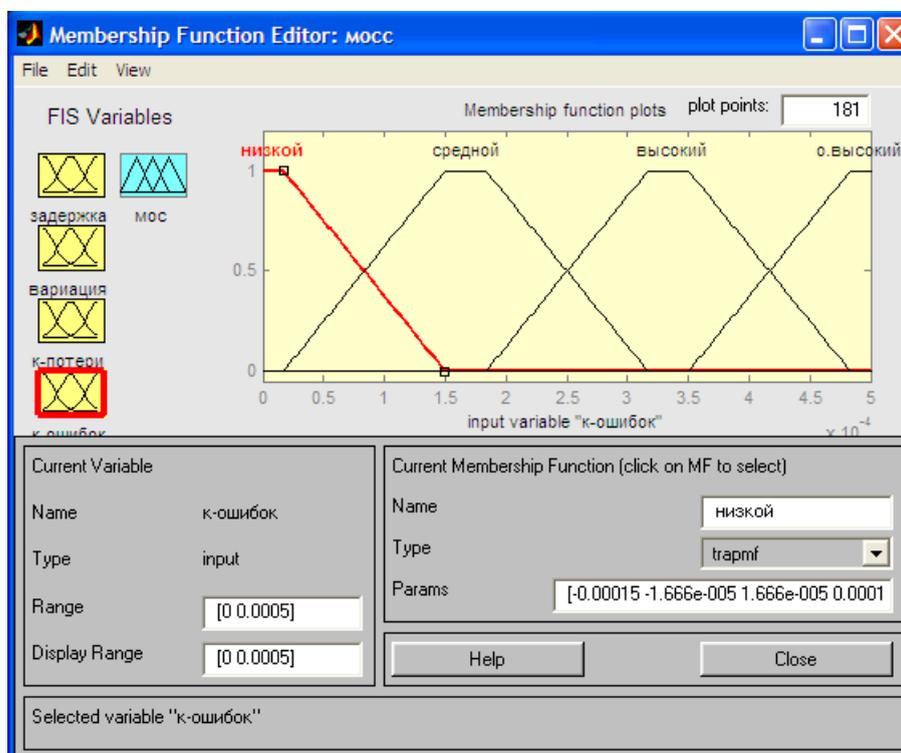


Рис.3.13.Блок *К-ошибка* в модели Мамдани

- Зададим функции принадлежности переменной *МОС*. Далее щелчком мыши по блоку *МОС* активизируем переменную *МОС*. Зададим диапазон изменения переменной *МОС*. Для этого напечатаем [3,1 4,4] в поле **Range** и нажмем <Enter>.
- Зададим наименования термов переменной *МОС*. Для этого щелкнем мышкой по графику первой функций принадлежности. График активной функции принадлежности выделяется красной жирной линией. Затем введем наименование термина *Низкое* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику второй функции принадлежности, введем наименование термина *Среднее* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику третьей функции принадлежности, введем наименование термина *Высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. Щелкнем мышкой по графику четвертой функции принадлежности, введем наименование термина *Очень высокий* в поле **Name** и нажмем <Enter>. В результате получим графическое окно, изображенное на рис 3.14.

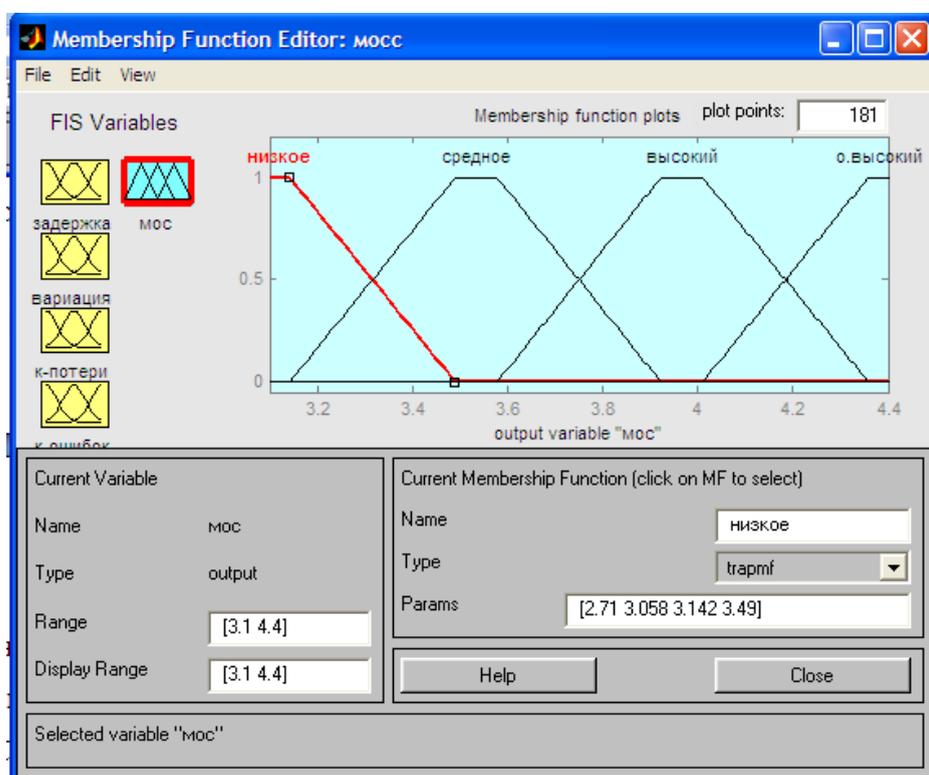


Рис.3.14. Блок *МОС* в модели Мамдани

- Перейдем в редактор базы знаний Rule Editor. Для этого в меню **Edit** выберем команду **Rules...**
- Для ввода правила выбираем в меню соответствующую комбинация термов и нажимаем кнопку **Add rule**. На рис. 3.15 изображено окно редактора базы знаний после ввода всех семи правил. В конце правил в скобках указаны весовые коэффициенты.

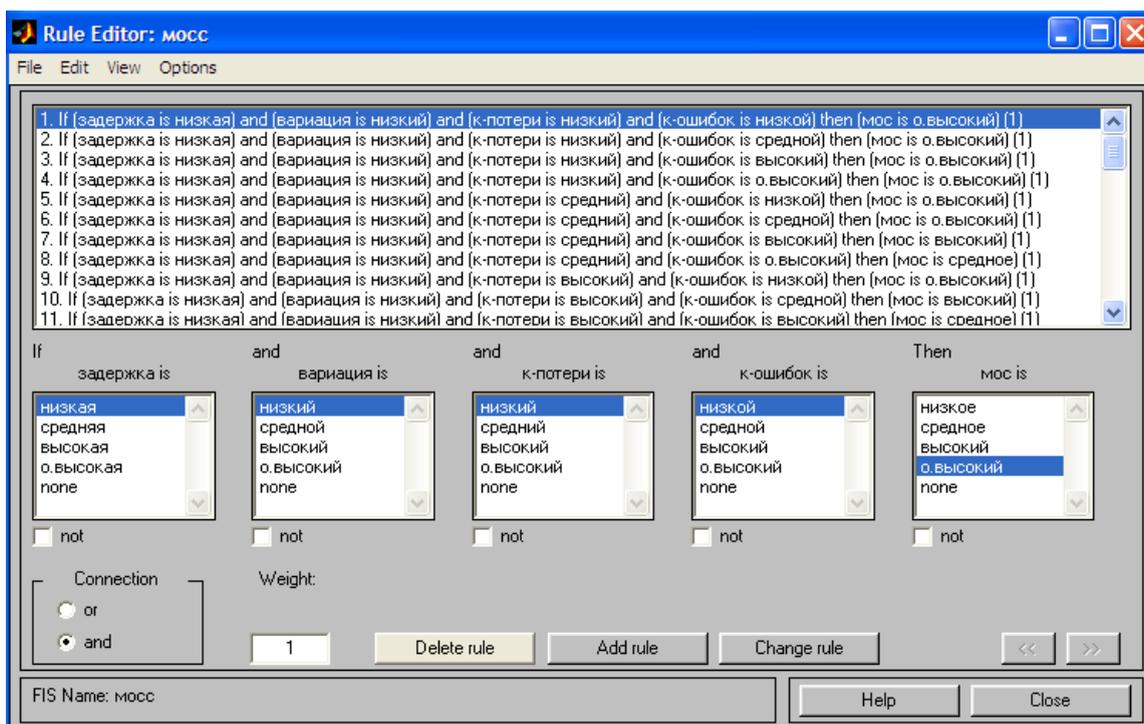


Рис.3.15 Нечеткая база знаний Мамдани

- Сохраним созданную систему. Для этого в меню **File** выберем в подменю **Export** команду **To Disk**.

На рис.3.15 приведено окно визуализации нечеткого вывода. Окно активизируется командой **Rules** меню **View**. В поле **Input** указываются значения входных переменных, для которых выполняется нечеткий логический вывод.

На рис.3.16, 3.17 приведена поверхность «входы - выход», соответствующая синтезированной нечеткой системе. Окно выводится по команде **Surface** меню **View**.

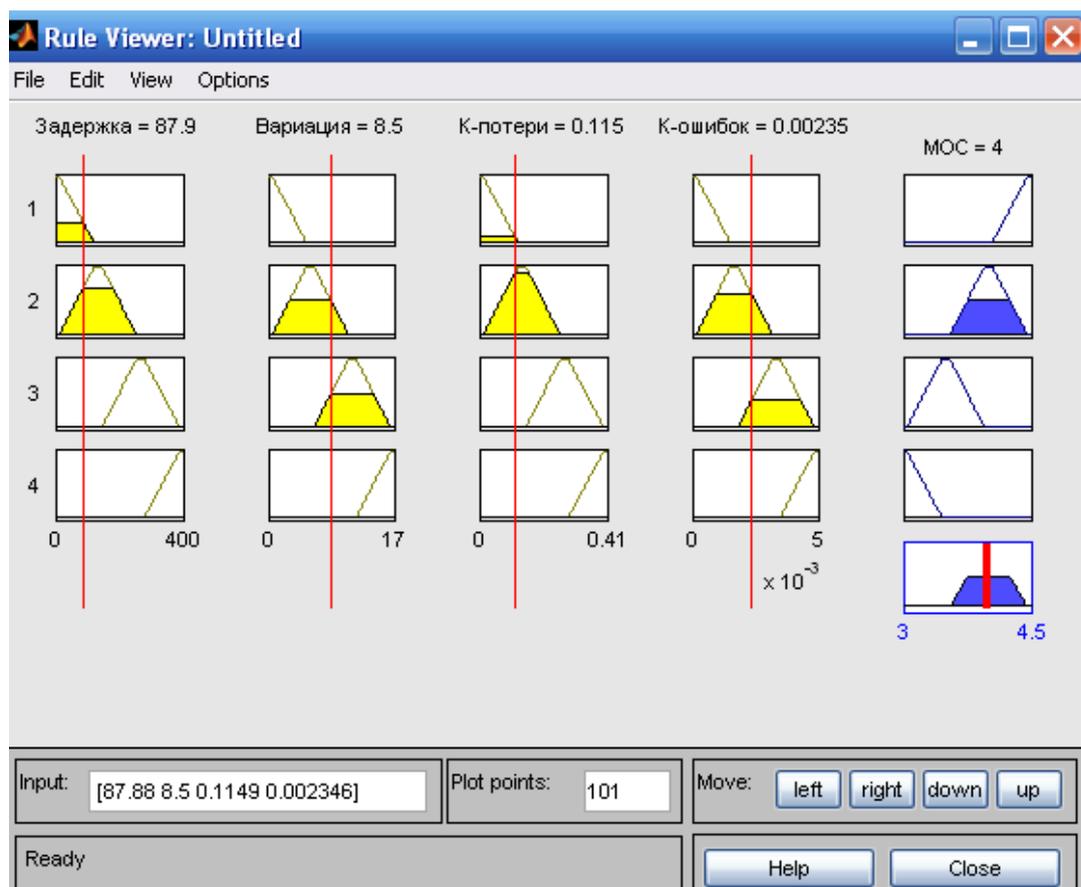


Рис.3.16.Визуализация нечеткого вывода Мамдани в Rule Viewer

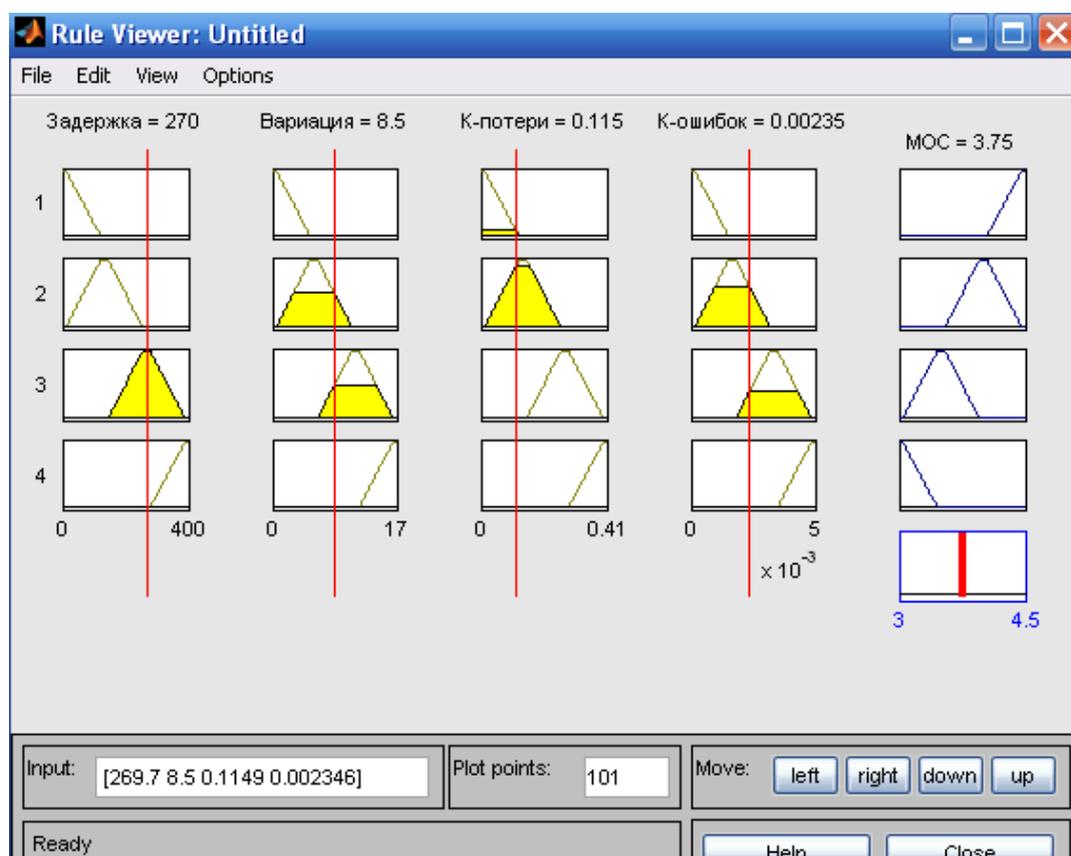


Рис.3.17.Визуализация нечеткого вывода Мамдани в Rule Viewer

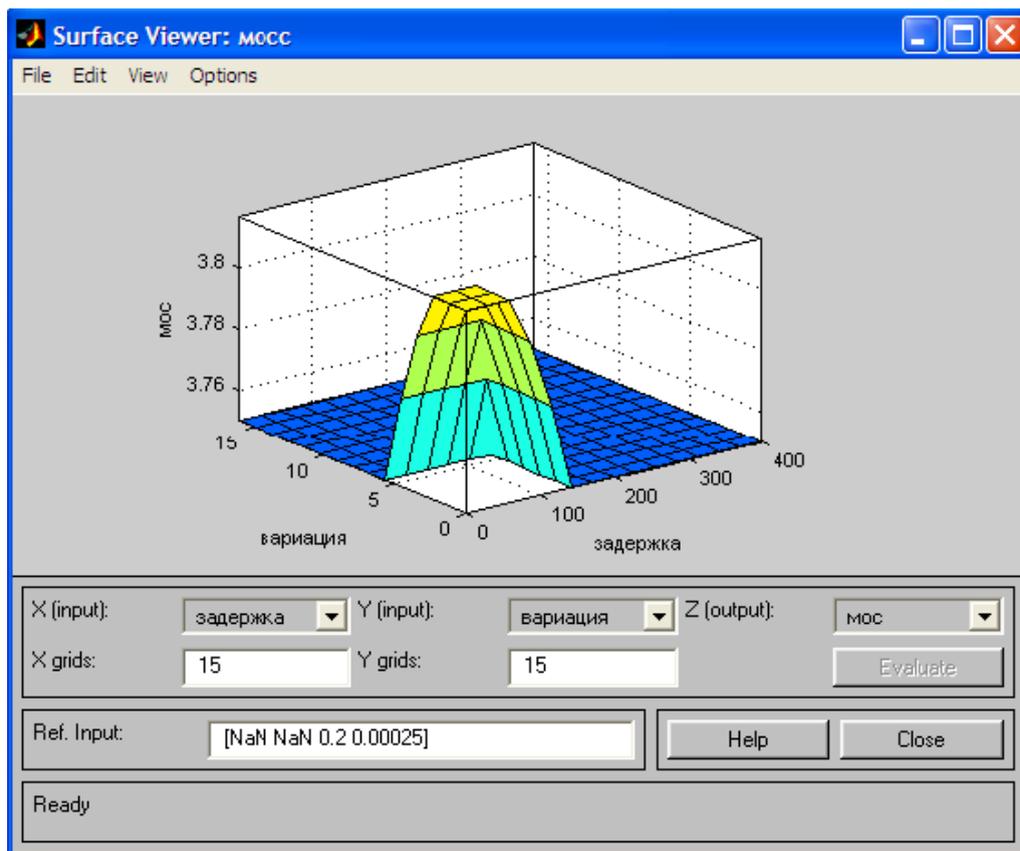


Рис.3.18. Поверхность «входы - выход» для базы знаний Мамдани.

Из рисунка 3.18. видно, что с увеличением вариации и задержки значение оценки MOS уменьшается, или наоборот.

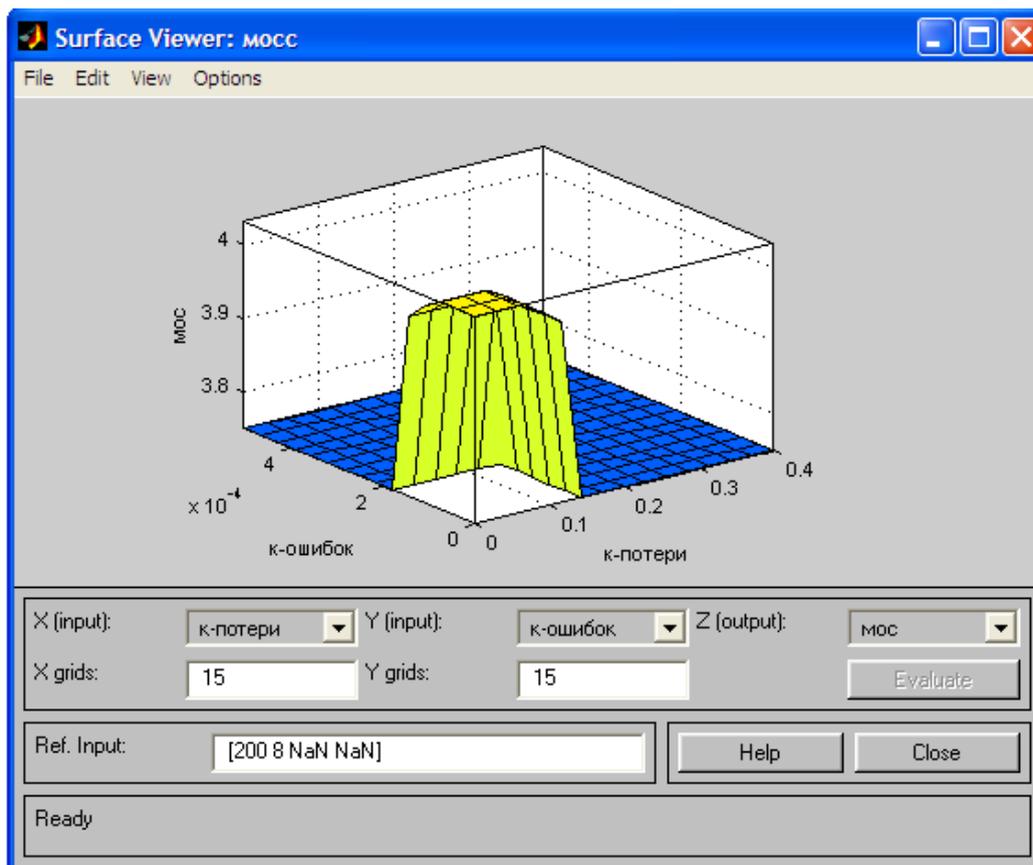


Рис.3.19. Поверхность «входы - выход» для базы знаний Мамдани

Из рисунка 3.19. видно, что с увеличением k - ошибок и k - потерь, значение оценки MOS уменьшается.

Выводы

В третьей главе были рассмотрено следующее :

- Классы обслуживания по рекомендации МСЭ Y.1541
- Переменные системы нечеткого вывода
- Таким образом, нечеткая модель системы оригинала или нечеткая система в первую очередь характеризуется неопределенностью типа неясности (нечеткости) границы системы, а также, возможно, отдельных ее состояний, входных и выходных воздействий. В этом случае исходная структуризация нечеткой системы может быть изображена графически в виде фигуры с расплывчатыми границами.
- нечеткое множество (fuzzy set) представляет собой совокупность элементов произвольной природы, относительно которых нельзя с полной определенностью утверждать принадлежит ли тот или иной элемент рассматриваемой совокупности данному множеству или нет.
- Оказалось, что существуют несколько вариантов формального определения нечеткого множества, которые, по сути отличаются между собой способом задания характеристической функции данных множеств. Среди этих вариантов наиболее естественным и интуитивно понятным является задание области значений подобной функции как интервал действительных чисел, заключенных между 0 и 1 (включая и сами эти значения).
- Нечеткий логический вывод применяется при моделировании объектов с непрерывным и с дискретным выходам. Объекты с непрерывным выходом соответствуют задачам аппроксимации гладких функций, возникающим в прогнозировании, многокритериальном анализе, управлении техническими объектами и т.п. Объекты с дискретным выходом соответствуют задачам классификации в медицинской и технической диагностике, в распознавании образов, в ситуационном управлении и при принятии решений в других областях.

- Разработана имитационная модель и определены характеристики модели Мамдани в среде MATLAB.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Большую роль на сегодняшний день играет построение сетей телекоммуникаций следующего поколения, т.к. с каждым днем возрастает спрос пользователей на услуги телекоммуникаций. При этом возникает проблема обеспечения установленного уровня качества обслуживания.

2. Предоставления услуг с высоким уровнем качества обслуживания не представляется возможным без анализа характеристик сетей следующего поколения.

3. Произведен анализ подходов к измерению качества функционирования сети, анализ показал, что в измерение качества функционирования сети следующего поколения существует два основных подхода: активное (active, intrusive) и пассивное (passive, non-intrusive). Активное измерение производится с помощью тестового потока в условиях обычного функционирования сети. Такой тип измерения позволяет детально выделить характеристики NP, например, время односторонней задержки, влияние размера блока данных и т. д., однако активное измерение вносит дополнительную нагрузку на сеть. Пассивное измерение производится с помощью сбора информации в узлах сети (маршрутизаторах уровня IP, коммутаторах ATM и Ethernet) с использованием базового протокола управления сетью (Simple Network Management Protocol, SNMP) и других технологий.

4. Были рассмотрены методы оценки качества ITU-T, как:

- Рейтинг качества R (Quality Rating)

- Среднюю экспертную оценку MOS (Mean Opinion Score)

5. Система оценки качества услуг связи на основе нечеткой логики позволяет контролировать субъективную удовлетворенность клиентов уровнем различных услуг через объективные показатели качества этих услуг, в том числе и в условиях неопределенности.

6. Разработка нечеткой системы оценки практически не требует точных знаний о значениях показателей качества и не привлекает многочисленных экспертов. Также не требуется составления сложных функций описания работы системы в целом. Все возможные неточности при проектировании системы могут быть скорректированы благодаря возможности самообучения системы на основе накопленных статистических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. Доклад на заседании Кабинета Министров, посвященном основным итогам 2011 года и приоритетам социально-экономического развития на 2012 год.
2. Г.П.Башарин, Ю.В.Гайдамака, К.Е.Самуйлов, Н.В.Яркина ”Модели для анализа качества обслуживания в сетях следующего поколения“ Москва 2008 г.
3. Башарин Г. П. Лекции по математической теории телетрафика. – М.: Изд-во РУДН, 2007. – 268 с.: ил.
- Бабков В. Ю., Полынцев П. В., Устюжанин В. И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 160 с.
4. Деарт В. Ю. Мультисервисные сети связи. – М.: Инсвязьиздат, 2007. – 166 с.
5. Корнышев Ю. Н., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Теория телетрафика. Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1996. – 272 с.
6. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
7. Кучерявый А. Е., Цуприков А. Л. Сети связи следующего поколения. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2006. – 280 с.
8. Лагутин В. С., Степанов С. Н. Телетрафик мультисервисных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000. – 320 с.
9. Соколов Н. А. Телекоммуникационные сети. Монография. – М.: Альварес Паблишинг, 2004.
10. Телекоммуникационные системы и сети: Уч. пособие. В 3-х т. Том 3. – Мультисервисные сети / Величко В. В. и др. / под ред. проф. В. П. Шувалова– М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.
11. Шнепс-Шнеппе М. А. Системы распределения информации. Методы расчета: Справочное пособие. – М.: Связь, 1979. – 344 с.

12. О.Ю.ЕВСЕЕВА” Обеспечение гарантированного качества обслуживания в сетях NGN с использованием оценок конечных пользователей“ Москва 2008 г., Радиотехника. 2008. Вып. 155

13.Г.Г.Яновский ”Конвергенция в инфокоммуникациях “ Санкт-Петербург 2010 г.

14.Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Softswitch. –СПб.: БХВ, 2007.

15. Гольдштейн Б.С, Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. –СПб.: БХВ, 2010.

16. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. –М.: Радио и связь, 2001.

17. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоко-лы. 3-е издание. –СПб.: Питер, 2008.

18. Семенов Ю.А. Алгоритмы телекоммуникационных сетей. Монография в трех томах. –М.: Интернет-Университет Информационных Технологий.

19. Соколов Н.А. Беседы о телекоммуникациях. Монография в четырех главах. –М.: Альварес Паблишинг, 2004.

20. Юнг В. Перспективы развития инфокоммуникаций. Под редакцией проф. А.А. Гоголя и проф. Г.Г. Яновского. –СПб.: Петеркон, 2003.

21. Качество обслуживания в операторских сетях. Cisco Systems Inc. 2004

22.Александр Леоненков. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzy tech Санкт - Петербург, «БХВ Петербург» Санкт-Петербург 2005 г.

23.С.Д.Штовба.Проектирование нечетких систем средствами Matlab. изд., Горячая - Линия телеком . Москва 2007 г.

<http://www.МСЭ.org>

<http://www.rfc-editor.org>