

На правах рукописи

Сулейманов Алмаз Авхатович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ ОБЛАЧНОЙ УСЛУГИ
«ВИРТУАЛЬНЫЙ РАБОЧИЙ СТОЛ»**

Специальность 05.12.13 –

Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ).

Научный руководитель:

Нетес Виктор Александрович

доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Лихтциндер Борис Яковлевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Мультисервисные сети и информационная безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ)

Сопин Эдуард Сергеевич

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная информатика и теория вероятностей» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН)

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт связи» (ФГУП ЦНИИС)

Защита состоится «15» февраля 2018 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета Д.219.001.04 при Московском техническом университете связи и информатики по адресу: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д.8а, МТУСИ, ауд. А-448 (малый зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МТУСИ <http://www.srd-mtuci.ru/index.php/ru/council>.

Автореферат разослан « »

2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.219.001.04
кандидат технических наук, доцент

Терешонок Максим Валерьевич

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день облачные инфокоммуникационные услуги, предоставляемые пользователям по требованию с удаленных серверов через сеть передачи данных, получают активное развитие. Примером таковых является услуга «виртуальный рабочий стол», основная идея которой заключается в предоставлении пользователю полноценного рабочего места «из облака» на любое устройство, имеющее соответствующий программный агент. Рабочее место разворачивается внутри виртуальной машины на сервере посредством специального программного обеспечения. Доступ к нему предоставляется по сети передачи данных и осуществляется при помощи протокола доставки виртуального рабочего стола.

Изначально эта услуга проектировалась с учетом размещения сервера услуги и клиентского устройства в одной локальной сети. Однако, в условиях нынешнего роста популярности облачной парадигмы размещение данных пользователя не только на локальных серверах, но и на серверах в удаленных центрах обработки данных (ЦОД) породило ряд технических вопросов, связанных с обеспечением требуемого качества для конечных пользователей, которые находятся уже не в локальной сети с сервером, а в глобальных сетях. Эта задача является ключевой для провайдера услуг и ее сложность возрастает с переходом от локальной к глобальной сети. Для решения этой задачи необходимы математические модели, позволяющие прогнозировать состояние качества услуги.

Данная тема недостаточно изучена. В отечественных и зарубежных источниках, не описаны методы оценки и обеспечения качества облачной инфокоммуникационной услуги «виртуальный рабочий стол», которые были бы применяться как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации сети. Поэтому данная тема является весьма актуальной.

Степень разработанности. Заметный вклад в исследование вопросов качества инфокоммуникационных услуг внесли отечественные и зарубежные ученые Пшеничников А.П., Ефимушкин В.А., Нетес В.А., Лихтциндер Б.Я., Shneiderman В., Emmerich W. и другие.

Вопросам качества облачных услуг посвящены работы Tolia M., Dusi M., Lin K.J, Nieh J. и других. В работах Tolia M. и Dusi M. рассматривается влияние сетевых задержек на работу услуги для одной из устаревших платформ, в работах Lin K.J и Nieh J. исследованы отдельные аспекты предоставления услуги при различных сетевых условиях (задержки и полоса канала). Полученные результаты оказались недостаточны в современных условиях развития инфраструктуры услуги «виртуальный рабочий стол», поэтому диссертационное исследование продолжилось в направлении всестороннего анализа услуги, рассмотрения современных облачных платформ, развития новых подходов, учитывающих параметры услуги, определяющих приемлемость ее качества.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование метода оценки качества инфокоммуникационной облачной услуги «виртуальный рабочий стол». Для достижения поставленной цели решены следующие основные задачи:

- проведен анализ предоставления услуги «виртуальный рабочий стол», выделены две ее фазы;
- определены сценарии работы услуги для различных категорий пользователей;
- проанализированы параметры узлов облачной инфраструктуры, сети и пользовательских устройств, определяющие качество услуги «виртуальный рабочий стол»;
- получены экспериментальные оценки характеристик инфраструктуры услуги, влияющих на ее качество;
- разработаны аналитические модели для каждой фазы работы услуги «виртуальный рабочий стол» и различных сценариев ее предоставления;
- решена задача определения множества допустимых значений характеристик сервера, при которых выполняются ограничения на параметры качества, а также задача определения рациональных вариантов их сочетания;
- получены оценки среднего времени отклика для каждой фазы предоставления услуги.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. На основании анализа логики услуги «виртуальный рабочий стол» для разработки математических моделей выделены две фазы ее предоставления для возможности отдельного их исследования. В первой фазе рассмотрено подключение пользователей; во второй фазе предусмотрена их работа с индивидуальными рабочими столами.

2. Для первой фазы разработана аналитическая модель, позволяющая оценить среднее время отклика; получены его зависимости от основных характеристик системы (среднего времени обслуживания одного запроса, числа одновременно обслуживаемых пользователей). Решена задача определения множества допустимых значений характеристик сервера, при которых выполняются ограничения по среднему времени отклика и вероятности отказа в подключении, а также задача определения рациональных вариантов сочетания этих параметров.

3. Для второй фазы разработаны аналитические модели, которые для трех сценариев предоставления услуги позволяют оценить среднее время отклика, а также получить аналитические соотношения между средним временем отклика и интенсивностями обслуживания. Предложена обобщенная модель базового сценария предоставления услуги, которая позволяет оценить среднее время отклика для различных типов потоков и законов распределения времени обслуживания.

4. В результате проведенных натурных экспериментальных исследований получены оценки характеристик инфраструктуры услуги, влияющих на ее качество: среднего времени между запросами к серверу в обеих фазах, среднего времени обработки на пользовательском устройстве, среднего времени обслуживания запросов сервером, среднего времени отклика, а также зависимости транспортной задержки от скорости передачи данных.

Теоретическая и практическая значимость диссертации. Разработанный метод оценки качества инфокоммуникационной облачной услуги «виртуальный рабочий стол» может быть использован операторами связи и поставщиками услуг на этапе проектирования и эксплуатации инфраструктуры услуги для ее мониторинга с целью обеспечения требуемого качества. Полученные при помощи предложенных аналитических моделей оценки и рекомендации позволяют управлять уровнем качества услуги путем регулирования параметров ее инфраструктуры, а также учитывать влияние на качество, оказываемое сетью передачи данных.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы были применены методы теории вероятностей, математической статистики, теории массового обслуживания.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Для анализа качества услуги целесообразно для возможности исследования математической модели выделить две фазы, во второй фазе – три сценария предоставления услуги. Основные показатели качества для первой фазы: среднее время отклика, вероятность отказа в подключении; для второй – среднее время отклика.

2. Аналитическая модель первой фазы услуги «виртуальный рабочий стол» на основе СМО M/G/1/K*PS позволяет произвести оценку основных параметров качества и выбрать характеристики инфраструктуры, обеспечивающие требуемый его уровень.

3. Аналитические модели трех сценариев второй фазы облачной услуги «виртуальный рабочий стол», построенные на основе сети Джексона и ВСМР-сетей, позволяют в зависимости от сценария предоставления услуги, оценить основные параметры качества и выбрать параметры инфраструктуры, обеспечивающие требуемый его уровень. Обобщенная модель базового сценария второй фазы работы услуги, учитывающая первые два момента случайных величин, описывающих времена между заявками и длительности обслуживания, позволяет оценить среднее время отклика для произвольных законов распределения этих величин.

Достоверность и апробация результатов работы. Полученные результаты обоснованы корректным применением математических методов с использованием теории массового

обслуживания, теории вероятностей, математической статистики. Основное содержание диссертационной работы докладывалось и обсуждалось на российских и международных научных конференциях: «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения INTERMATIC» (Москва, 2013, 2014, 2016 гг.), «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (Москва, 2014, 2015, 2016, 2017 гг.), «Перспективные технологии в средствах передачи информации – ПТСПИ» (Владимир-Суздаль, 2015 г.), «Технологии информационного общества» (Москва, 2015, 2016, 2017 гг.). По материалам диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 4 – в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, приложения и содержит 130 страниц машинописного текста, 48 рисунков, 32 таблицы. Список литературы содержит 121 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы выбор темы диссертации и ее актуальность, перечислены цели и задачи, сформулированы научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

Первый раздел посвящен комплексному описанию облачных услуг, и в частности, показано место услуги «виртуальный рабочий стол» в облачной иерархии. Систематизированы модели развертывания и способы предоставления облачных услуг. Описаны облачные платформы, архитектура услуги «виртуальный рабочий стол»; рассмотрены вопросы предоставления качества облачных услуг.

У каждого производителя облачного программного обеспечения (ПО) имеется собственная реализация облачной платформы и средств доставки виртуальных рабочих столов, однако, в общем виде, в составе каждой из них можно выделить следующие основные блоки: менеджер подключений, система доставки удаленных рабочих столов, хранилище виртуальных машин, пул ресурсов (файловый репозиторий). Схема инфраструктуры услуги «виртуальный рабочий стол» показана на рисунке 1.

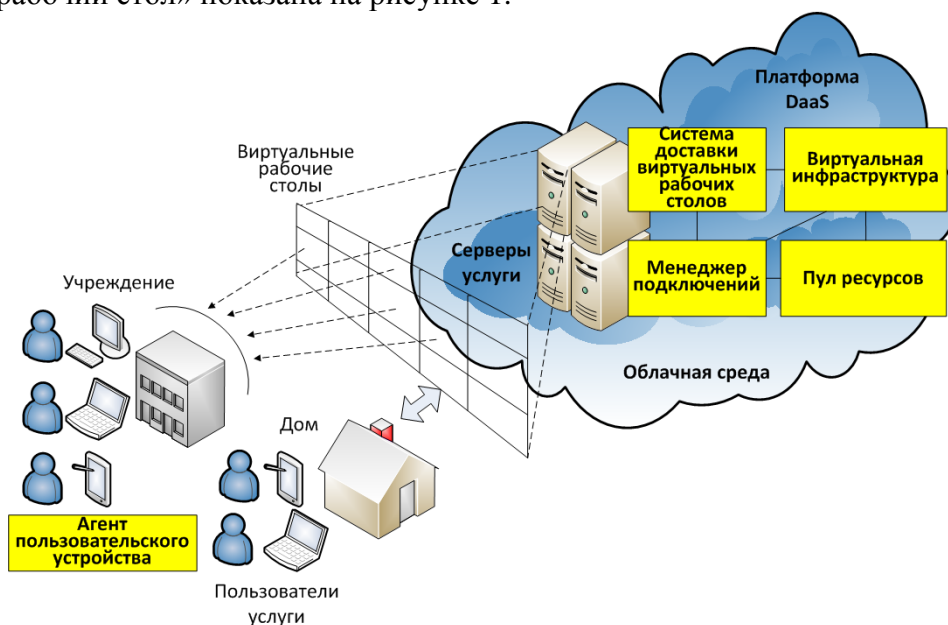


Рисунок 1. Инфраструктура услуги «виртуальный рабочий стол»

Программный агент пользовательского устройства, устанавливаемый в операционную систему пользовательского устройства (терминала), связывается по сети с программным агентом виртуальной машины пользователя посредством протокола доставки виртуального рабочего стола (протокола виртуализации). Такие протоколы являются собственностью

компаний-производителей облачного программного обеспечения (например, Citrix, Microsoft, Red Hat, VMware и др.).

Изложены варианты и схемы развертывания рассматриваемой услуги; проанализированы элементы ее инфраструктуры, особенности их работы и сетевое взаимодействие; логические и физические блоки услуги описаны в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т; рассмотрены подходы к определению качества подобных услуг, ключевые параметры которого определены согласно рекомендациям МСЭ-Т G.1010, G.1000, E.800.

На основании анализа работы услуги выявлены и изложены в соответствии с подходом, приведенном в Рекомендации Е. 430 МСЭ-Т, параметры, характеризующие ее качество; проведена классификация пользователей услуги.

Для оценки параметров, определяющих качество обслуживания, необходимо построить аналитические модели услуги «виртуальный рабочий стол», описывающие различные типичные сценарии ее работы, а также обосновать возможность применения полученных моделей для решения задач обеспечения требуемого качества на этапе проектирования и эксплуатации сетевой и облачной инфраструктуры. Проведен анализ выполненных по данной проблематике исследований, который показал недостаточность полученных ранее результатов для их решения. Сформулированы задачи диссертационного исследования.

Второй раздел посвящен анализу и исследованию параметров, совместное влияние которых определяет качество услуги. Показано, что ключевым является среднее время отклика. Кроме того, в число параметров, влияющих на качество услуги, входят: транспортная задержка, канальная скорость передачи данных, количество обслуживаемых пользователей, время ответа сервера и др.

Определены требования, которым должны соответствовать параметры услуги «виртуальный рабочий стол» в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т Y.3500, Y.3503.

Для анализа работы услуги предложено деление процесса работы услуги на две фазы. В первой фазе происходит установление терминальной сессии: пользователи подключаются к менеджеру подключений, проходит процесс авторизации и аутентификации. Во второй фазе пользователи работают со своими рабочими столами в рамках терминальной сессии. Агент виртуальной машины отправляет агенту пользовательского устройства потоки снимков рабочего стола, принимает команды событий мыши (движения мыши, нажатия клавиш мыши) и клавиатуры (нажатие клавиш). Фазы работы услуги и диаграмма сетевого взаимодействия пользовательского устройства и сервера показаны на рисунке 2. Наклонными линиями показан обмен информацией между клиентом и сервером, вертикальными стрелками показаны отрезки времени между ними.

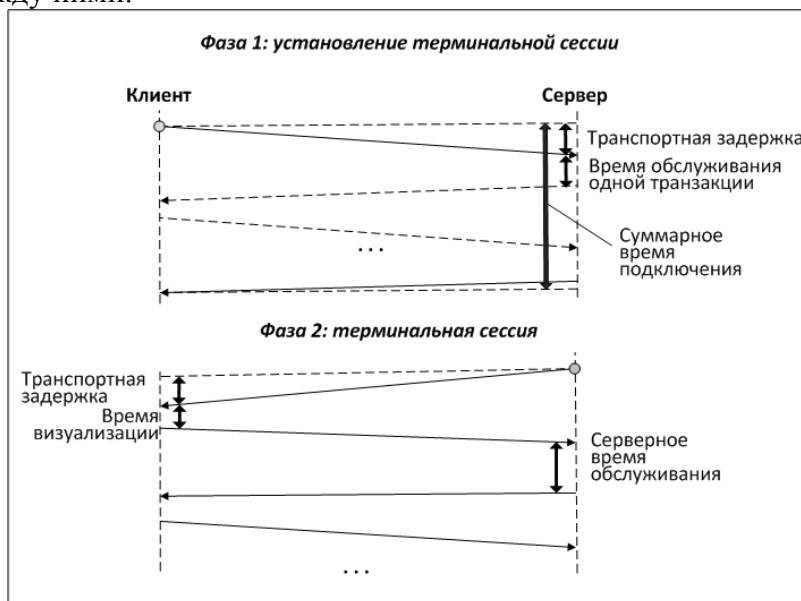


Рисунок 2. Фазы предоставления услуги

Важнейшим параметром, определяющим качество работы компьютерной системы, является время ответа системы на действия пользователя. Классические системы подразумевает непосредственное взаимодействие с пользователем (через клавиатуру, системную шину), однако в случае облачной услуги «виртуальный рабочий стол» имеет место доставка рабочего стола по сети, а значит основным параметром, определяющим пользовательское удовлетворение, будет являться суммарное время отклика T , складывающееся из серверного времени обслуживания $T_{обсл}$, транспортной задержки в сети передачи данных $T_{тр}$ и времени визуализации $T_{виз}$:

$$T = T_{обсл} + 2T_{тр} + T_{виз}. \quad (1)$$

Следует, однако, учитывать, что процесс установления сессии услуги «виртуальный рабочий стол» подразумевает несколько транзакций обмена служебной информацией между пользовательским устройством и сервером услуги, как показано на рисунке 2. Под транзакциями здесь понимается процесс обмена пакетами между сервером и клиентом прежде, чем будет установлена терминальная сессия. Пусть $T_{откл}$ – среднее время отклика для одного запроса, $m_{ср}$ – среднее число запросов в процессе скрытого от пользователя обмена пакетами, необходимыми для организации сессии. Тогда среднее время до установления сессии равно $T_{откл}m_{ср}$.

На основании анализа исследований, посвященных восприятию качества работы с услугой при различных задержках, а также на основании данных из рекомендаций МСЭ-Т (требованиям к сетям передачи данных по задержкам (Y.1541) и категориям QoS из конца в конец (G.1010)), определен диапазон транспортной задержки, составляющий 120..150 мс, который использован далее при оценке времени отклика.

Далее проведены натурные экспериментальные исследования с целью оценить параметры качества функционирования сети (Network Performance, NP), а также временные характеристики услуги в обоих фазах ее работы. В результате получена зависимость транспортной задержки от скорости передачи данных при различных типах действий, выполняемых пользователем. Скорость передачи данных является одним из параметров NP, на которых в свою очередь базируются параметры качества QoS. В качестве критерия была выбрана граница по транспортной задержке на уровне 150 мс, найдены значения минимально необходимой скорости передачи данных для трех наиболее типичных пользовательских действий.

Кроме того, экспериментально получены оценки среднего время отклика в фазе 1, среднего промежутка времени между соседними требованиями в фазе 1, среднего времени отклика в фазе 2, среднего времени обслуживания запросов сервером в фазе 2, среднего времени визуализации в фазе 2, которые использовались в последующих разделах при расчетах.

В **третьем разделе** разработана аналитическая модель фазы установления терминальной сессии, на ее основе решена задача поиска множества допустимых значений характеристик сервера услуги, при которых выполняются ограничения по времени отклика и вероятности отказа; и задача определения рациональных вариантов сочетания этих характеристик.

Облачная платформа, согласно специфике рассматриваемой услуги, в первой фазе должна обслуживать всех пользователей одновременно. Исходя из изложенного в первом разделе описания принципа работы компонентов услуги, механизм ее работы уместно описать системой массового обслуживания (СМО) с дисциплиной разделения процессора (англ. processor sharing, PS). В этой дисциплине все заявки обслуживаются одновременно, а скорость обслуживания заявок обратно пропорциональна их числу в системе; полностью обслуженная заявка покидает систему. Число заявок в системе ограничено величиной накопителя K , если новая заявка приходит, когда в системе находится K заявок, то она отбрасывается. Время

обслуживания в СМО одной заявки считалось имеющим произвольное распределение со средним значением b_1 . Подобную СМО обозначают M/G/1/K*PS.

В качестве заявок в первой фазе рассматривались пакеты, поступающие от клиента к серверу, содержащие запросы на подключение к терминальной сессии. Под обслуживанием понималась их обработка менеджером подключений.

Входящий в сервер услуги поток заявок был принят пуассоновским ввиду того, что услуга рассчитана на подключение большого числа пользователей, следовательно, имеет место суперпозиция множества независимых потоков. Пусть λ_0 – интенсивность потока заявок от одного пользователя, N – количество всех пользователей услуги, тогда интенсивность общего потока $\lambda = \lambda_0 N$.

Величины, которые требовалось определить:

p_K – вероятность блокировки из-за заполнения всех мест в системе;

$T_{обсл}$ – среднее время обслуживания на сервере;

T – среднее время отклика.

Стационарное распределение числа заявок в рассматриваемой СМО имеет вид:

$$p_n = \begin{cases} \frac{(1-\rho)\rho^n}{1-\rho^{K+1}}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{1}{K+1}, & \text{если } \rho = 1. \end{cases} \quad (2)$$

где $\rho = \lambda b_1$, $n = 0, \dots, K$. Из формулы (2) определяется вероятность блокировки:

$$p_K = \begin{cases} \frac{(1-\rho)\rho^K}{1-\rho^{K+1}}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{1}{K+1}, & \text{если } \rho = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Для среднего числа заявок в системе L :

$$L = \sum_{n=1}^K n \cdot p_n = \begin{cases} \frac{\rho \cdot [1 - (K+1)\rho^K + K \cdot \rho^{K+1}]}{(1-\rho^{K+1}) \cdot (1-\rho)}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{K}{2}, & \text{если } \rho = 1. \end{cases} \quad (4)$$

Используя формулу Литтла для систем с потерями, получено:

$$T_{обсл} = \frac{L}{\lambda \cdot (1-p_K)} = \begin{cases} \frac{(\lambda \cdot b_1)^{K+1} (K \cdot \lambda \cdot b_1 - K - 1) + \lambda \cdot b_1}{\lambda \cdot [1 - (\lambda \cdot b_1)^K \cdot (1 - \lambda \cdot b_1)]}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{K(1 - (\lambda \cdot b_1)^{K+1})}{2\lambda \cdot (1 - (\lambda \cdot b_1)^K)}, & \text{если } \rho = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Значение m_{cp} было принято равным 5, как наиболее типичное, исходя из спецификаций протоколов виртуализации. Как было показано выше, $T_{mp} \leq 150$ мс.

Таким образом, $T_{откл} \leq 2 \text{ с} / 5 = 0,4 \text{ с}$, откуда по формуле (1) получено $T_{обсл} = T_{откл} - 2 \cdot T_{тр} = 0,4 \text{ с} - 2 \cdot 0,150 \text{ с} = 0,1 \text{ с}$.

Приравняв в (5) $T_{обсл}$ к найденному выше значению 0,1 с, получившееся уравнение решено относительно b_1 методом Ньютона. Графики зависимости среднего времени обслуживания заявки от интенсивности потока заявок показаны на рисунке 3. Естественно, что увеличение интенсивности входящего потока вынуждает систему обслуживать каждую заявку быстрее для сохранения комфортного времени отклика для каждого пользователя, однако при больших значениях интенсивности входящего потока уменьшение времени обслуживания каждой заявки слабо выражено.

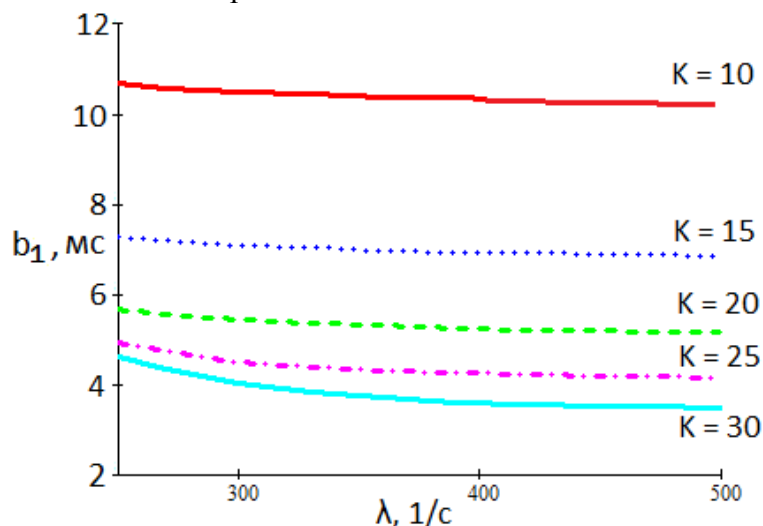


Рисунок 3. Зависимость среднего времени обслуживания заявки от интенсивности

Для оценки интенсивности потока запросов от одного пользователя экспериментальным путем оценивалось значение среднего промежутка времени между соседними требованиями от одного пользователя \bar{t} . Рассматривалась система, состоящая из сервера услуги, коммутаторов доступа и клиентских устройств. Для оценки \bar{t} стандартными отладочными средствами облачной платформы была собрана статистика подключений. В результате измерений было получено $\bar{t} = 0,2 \text{ с}$, откуда $\lambda_0 = 5 \text{ с}^{-1}$.

Зависимость среднего времени отклика от среднего времени обслуживания одной заявки b_1 при различных значениях K и $\lambda = 500 \text{ с}^{-1}$ показана на рисунке 4. Эта зависимость позволяет найти пороговое значение b_1 , которое бы обеспечивало комфортную работу множества пользователей с точки зрения времени отклика системы.

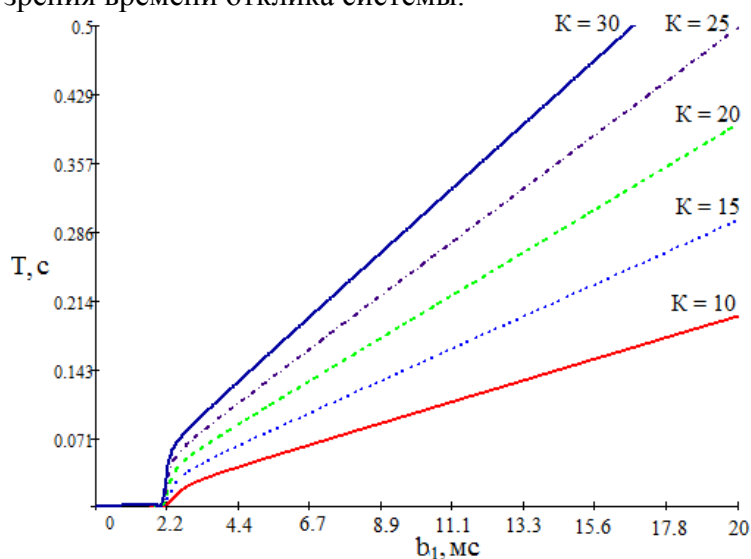


Рисунок 4. Соотношения между временными характеристиками системы при различном числе одновременно обслуживаемых пользователей

Обеспечение комфортного для пользователя времени отклика на этапе подключения к услуге может быть достигнуто путем варьирования таких параметров, как максимальное число одновременно обслуживаемых пользователей (K) и среднее время обслуживания одной заявки (b_1) за счет увеличения программно-аппаратного ресурса на сервере услуги.

После расчетов по формуле (1) получено, что время отклика на этапе установления терминальной сессии, должно быть на уровне 1,5 с для обеспечения приемлемого качества.

Далее в разделе 2 сформулированы и решены две задачи: поиск множества допустимых значений b_1 и K , при которых выполняются ограничения по времени отклика и вероятности отказа; определение вариантов сочетания этих параметров. В первой фазе работы услуги требования могут предъявляться к среднему времени отклика (T) и вероятности отказа (p_K) при некоторой заданной интенсивности входящего потока.

По условиям первой задачи нужно, чтобы: $p_K(K, b_1) \leq p_0$, $T(K, b_1) \leq T_0$, где p_0 и T_0 – требуемые значения. Требования могут выполняться при различных сочетаниях параметров b_1 и K , которые образуют множество допустимых значений:

$$D = \{(K, b_1): p_K(K, b_1) \leq p_0 \text{ и } T(K, b_1) \leq T_0\}.$$

Заметим, что если увеличивается b_1 , то увеличивается T и увеличивается p_K ; если увеличивается K , то увеличивается T и уменьшается p_K . Поэтому для построения множества D будем поступать следующим образом. При фиксированном b_1 определим граничные значения K , при которых выполняются заданные ограничения:

$$r_1(b_1) = \min \{K: p_K(K, b_1) \leq p_0 \text{ и } T(K, b_1) \leq T_0\},$$

$$r_2(b_1) = \max \{K: p_K(K, b_1) \leq p_0 \text{ и } T(K, b_1) \leq T_0\}.$$

Тогда $r_1(b_1)$ и $r_2(b_1)$ – есть границы множества D . Поскольку K принимает целочисленные значения, множество D есть множество отрезков, параллельных оси абсцисс, заключенных между $r_1(b_1)$ и $r_2(b_1)$. На рисунке 5 оси абсцисс соответствуют значения b_1 , оси ординат – значения K . Заданным условиям удовлетворяет только сочетание параметров K и b_1 , которое показано в виде найденного множества D . Из рисунка 5 видно, что существует максимальное b_1 , при котором возможно удовлетворить условиям выше. Отсюда вытекает ограничение на b_1 . (Например, при $T = 0,2$ с, $K = 70$, $p_K = 10^{-2}$, $b_1 \leq 2,8$ мс).

Задачей любого провайдера облачных услуг является удовлетворение заданным требованиям при минимальных затратах. Однозначно определить соотношения параметров сервера, отвечающих желанию удовлетворить требованиям при минимальных затратах, невозможно: нет такого максимального b_1 и минимального K – увеличение одного приводит к уменьшению другого. Однако, существует набор таких значений K и b_1 , находясь в рамках которого все еще можно удовлетворять заданным требованиям.

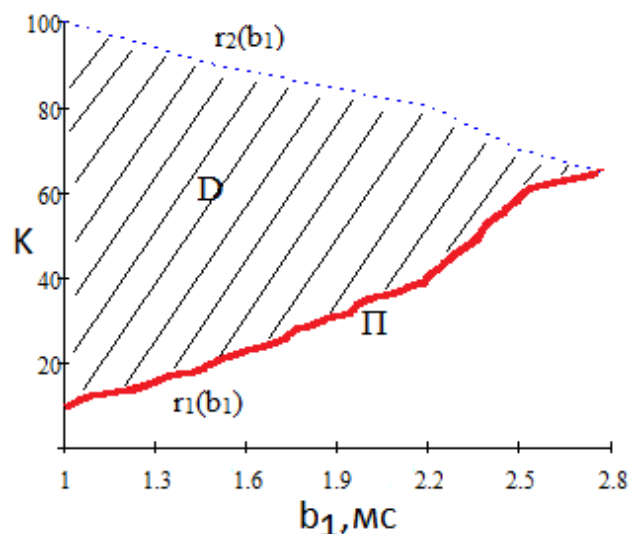


Рисунок 5. Множество допустимых значений искомых параметров и множество Парето

Множеством Парето принято считать такое множество состояний или параметров системы, в котором значение того или иного параметра не может быть улучшено без ухудшения других. В рассматриваемой ситуации множество Парето представляет собой нижнюю границу множества D , т.е. множество $P = \{(K, b_1) \in D : (K-1, b_1) \notin D\}$. Точки множества P обозначены на рисунке 5 сплошной линией.

При сравнении вариантов провайдеру достаточно ограничиться рассмотрением не всего множества допустимых значений параметров, а меньшего по числу элементов множества Парето. Полученные соотношения позволяют, исходя из заданных требований к качеству услуги, рассчитать время обслуживания и количество одновременно обслуживаемых пользователей услуги.

Таким образом, используя предложенный подход, можно выбрать параметры сервера, при которых удовлетворяются заданные требования по качеству. Регулирование этих параметров может быть осуществлено при помощи эмуляции более мощного процессора и памяти менеджера подключений, которые, в свою очередь, можно получить за счет использования более производительного аппаратного обеспечения.

В **четвертом разделе** диссертации разработаны четыре аналитических модели терминальной сессии услуги «виртуальный рабочий стол». Первые три модели, основанные на аппарате сетей Джексона и ВСМР-сетей, описывают три наиболее распространенных сценария работы услуги. Четвертая модель, основанная на приближенном методе с учетом первых двух моментов, позволяет оценить среднее время отклика для различных типов потоков и законов распределения времени обслуживания.

Первоначальным и основным назначением услуги «виртуальный рабочий стол» было предоставление пользователю рабочего стола, предназначенного только для работы с офисными приложениями. Следовательно, целевой аудиторией услуги были служащие, по специфике своей деятельности, работающие с подобными программами. Этот сценарий будем называть *базовым*. С дальнейшим развитием технологий и по мере роста спроса и доступности мультимедиа, стали возможны дополнительные сценарии применения. Среди них можно выделить следующие: *сценарий, при котором пользователю предоставлена возможность просмотра видео*, запускаемого внутри рабочего стола (на практике такой сценарий реализуется за счет так называемого аппаратного ускорения) и *сценарий, при котором предоставлена возможность запуска и видео, и аудио*. Эти сценарии определены на основании классификации пользователей, предложенной в первом разделе.

Первая модель, построенная на основе аппарата сетей Джексона, позволяет рассмотреть базовый сценарий работы услуги. Схема работы услуги в рассматриваемом сценарии показана на рисунке 6.

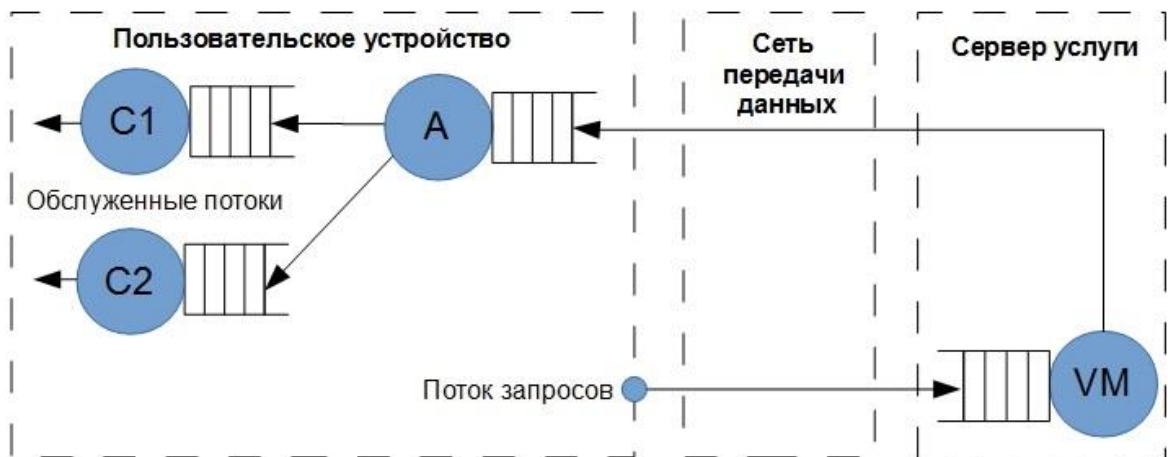


Рисунок 6. Схема работы услуги в базовом сценарии работы

С учетом того, что в настоящее время пользовательские устройства имеют многопроцессорную архитектуру, в модели рассмотрены следующие узлы инфраструктуры услуги: VM (агент виртуальной машины), А (агент пользовательского устройства), С1 (ядро процессора №1), С2 (ядро процессора №2). Предполагается, что они образуют открытую сеть Джексона, узлы, которой описываются СМО вида М/М/1 с дисциплиной обслуживания FCFS. Пуассоновский поток заявок интенсивностью λ'_0 поступает на вход сети в узел VM. Введены следующие обозначения: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – интенсивности входящих в узлы VM, А, С1, С2 потоков соответственно; $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ – интенсивности обслуживания узлов VM, А, С1, С2 соответственно; p_{ac1} – вероятность перехода заявки из узла А в узел С1; p_{ac2} – вероятность перехода заявки из узла А в узел С2. В базовом виде ядра процессора пользовательского устройства одинаковы, узел А распределяет по ним заявки равновероятно. Тогда $p_{ac1} = p_{ac2} = 0,5$.

Далее для дальнейших расчетов использовано значение λ'_0 , рассчитанное на основе величины среднего времени между соседними запросами \bar{T}_0 , которое было оценено экспериментально в разделе 2. Значение среднего времени пребывания заявки в узле T_1 , полученного в эксперименте, составило 0,6 с. Используя полученные оценки, рассчитана интенсивность обслуживания в узле VM, которая составила $\mu_1 = 10,5 \text{ с}^{-1}$.

Используя известную формулу, время отклика сети определено из выражения

$$T = \frac{1}{\lambda'_0} \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{\lambda_i}{\mu_i - \lambda_i}.$$

Из практики работы с услугой известно, что на реальной сети терминальные устройства многих пользователей являются дешевыми или устаревшими, что сказывается на производительности услуги в целом и, как следствие, на времени отклика. Поэтому представляется уместным и полезным при моделировании рассмотреть случаи как более производительных, так и менее производительных пользовательских устройств (случаи «а» и «б» далее). В таблице 1 показаны результаты расчетов, удовлетворяющие требованию по качеству. Случай «а» рассматривает диапазон соотношений интенсивностей обслуживания в узлах меньший, чем случай «б» ввиду того, что пользовательское устройство является маломощным.

Таблица 1. Соотношения интенсивностей обслуживания в узлах и среднее время отклика для модели базового сценария

	«а»		«б»		
μ_3/μ_1	0,5	1,5	1,5	2,5	2,5
μ_2/μ_1	0,5	1,5	1,5	2,5	3,5
T, с	0,9	0,3	0,7	0,2	0,2

Дальнейшее увеличение соотношений интенсивностей дает несущественный выигрыш по времени, следовательно, не имеет экономической целесообразности.

Увеличение быстродействия пользовательского устройства можно достигнуть двумя способами:

1. Увеличение оперативной памяти устройства, замена процессора на более производительный, использование более современного агента пользовательского устройства.

2. Программная оптимизация агента пользовательского устройства. На практике на этом сосредотачивают основное внимание производители облачного ПО.

Таким образом, можно сформулировать следующие требования к серверу у услуги и пользовательскому устройству. При необходимости обеспечения времени отклика на уровне менее опорного значения 1,1 с, оцененного экспериментально:

- для интенсивностей обслуживания в узлах инфраструктуры услуги должны выполняться следующие соотношения: $\mu_2/\mu_1 \leq 0,5$, $\mu_3 \leq \mu_1$, $\mu_3/\mu_1 \leq 0,5$.

- если исходить из оговоренного ограничения на общее среднее время отклика T и при этом T_{mp} находится в пределах 120...150 мс, то среднее время отклика без учета транспортной задержки должно быть не более 0,8 с.

Вторая модель, построенная на аппарате ВСМР-сетей, позволяющем учесть несколько типов заявок, описывает сценарий работы услуги, при котором пользователю предоставляется возможность просматривать видео на рабочем столе.

Один из основных способов выделения из общего потока от сервера подпотоков видео и аудио основан на анализе информации, которую агент виртуальной машины получает из операционной системы, установленной в виртуальной машине. Когда пользователь запускает видео или аудио, в операционной системе запускаются соответствующие программы и наборы кодеков. На основе этой информации агент выделяет подпотоки, которые кодируются и передаются отдельно от потока изображений рабочего стола. Такую модель работы принято называть «аппаратным ускорением». Некоторые фирмы-разработчики протоколов удаленного рабочего стола (например, Citrix, Red Hat) ввели новую функцию протоколов виртуализации: эвристические механизмы, распознающие факт того, что пользователь включил видео на своем рабочем столе, а затем выделяющие это видео в отдельный от потока изображений рабочего стола подпоток, который кодируется видео кодеками и декодируется на пользовательском устройстве соответствующим образом.

При этом представляется обоснованным конструирование архитектуры пользовательского устройства (в особенности, специально предназначенного именно для услуги «виртуальный рабочий стол» устройства – тонкого клиента) таким образом, что отдельное ядро процессора предназначено для обработки аудио и видео потоков. Благодаря этому становится возможным разделить передаваемые по сети данные согласно их типу и организовать раздельную их обработку на пользовательских устройствах, что положительно сказывается на восприятии работы с услугой. Именно такой подход, как правило, применяется на практике. Агент виртуальной машины, детектирует факт запуска видео, выделяет его в отдельный поток и затем отправляет на пользовательское устройство. Агент пользовательского устройства распределяет заявки по ядрам процессора устройства в соответствии с вероятностями появления заявки того или иного типа.

Поскольку использованный при построении модели выше аппарат сетей Джексона не подразумевает наличия заявок нескольких типов, модель построена на основе аппарата ВСМР-сетей. Для ее анализа использована СеМО, в которой имеется два типа заявок, обозначенные как s – видео, t – изображения. В качестве узлов сети выбраны узлы с дисциплиной FCFS. Исходные данные взяты из предыдущей модели.

Обозначим T_s – время отклика для заявок типа видео, T_t – время отклика для заявок типа изображения. Они рассматриваются отдельно в связи с раздельной обработкой на пользовательском устройстве. Для рассмотрения широкого диапазона параметров рассмотрены различные соотношения между заявками. Проведенные расчеты и их анализ позволяют выбрать необходимые значения параметров инфраструктуры услуги.

При одновременном увеличении интенсивности обслуживания агента виртуальной машины на серверной стороне и интенсивности обслуживания агента пользовательского устройства в три раза, для заявок типа видео время отклика уменьшается практически в 3,5 раза (от 0,37 до 0,1 с), для заявок типа изображения – в 4,4 раза (от 0,5 до 0,1 с). При дальнейшем увеличении интенсивностей обслуживания наблюдается уменьшение времени отклика, составляющее не более 0,02 с. Такое уменьшение оказывает незначительное влияние на качество, поэтому дальнейшее увеличение интенсивностей нецелесообразно.

На практике распространены ситуации, когда в силу определенных причин не представляется возможным увеличить быстродействие серверных компонентов услуги. В таких случаях возможно прибегнуть к увеличению быстродействия только ПО пользовательских устройств. Для моделирования подобных случаев получено следующее: при фиксированной интенсивности обслуживания агента виртуальной машины, найденного

экспериментально, и увеличении интенсивностей агента виртуальной машины в восемь раз и ядер процессоров в четыре раза, наблюдается уменьшение времени отклика практически в шесть раз (с 0,37 до 0,06 с).

Увеличение интенсивностей обслуживания узлов на пользовательском устройстве дает эффект уменьшения времени отклика, который наиболее выражен при их увеличении в два раза – время отклика уменьшается в 2,5 раза. Однако при дальнейшем увеличении интенсивностей обслуживания узлов этот эффект становится менее выраженным.

Быстродействие пользовательских устройств можно увеличить двумя способами: аппаратно (замена блоков на более производительные) и программно (корректировка кода агента).

Эти выводы могут быть использованы производителями пользовательских терминалов, операторами связи и провайдерами облачных услуг при планировании сети и сервера услуги, сотрудникам ИТ подразделений, готовящих переход офисных или удаленных сотрудников в облачную среду, пользователями, выбирающими устройство для своих нужд.

Третья модель, построенная на основе ВСМР-сети с тремя типами заявок, описывает ситуацию, когда пользователь запускает видео и/или аудио при работе с услугой. Для прослушивания аудио необходимо организовать так называемый «проброс гарнитуры», что означает необходимость организации отдельного аудио подпотока между сервером и терминальным устройством. При этом аудио подпоток будет обрабатываться на терминальном устройстве вместе с видео подпоток в ядре процессора № 1. Схема работы услуги в данном сценарии показана на рисунке 7.

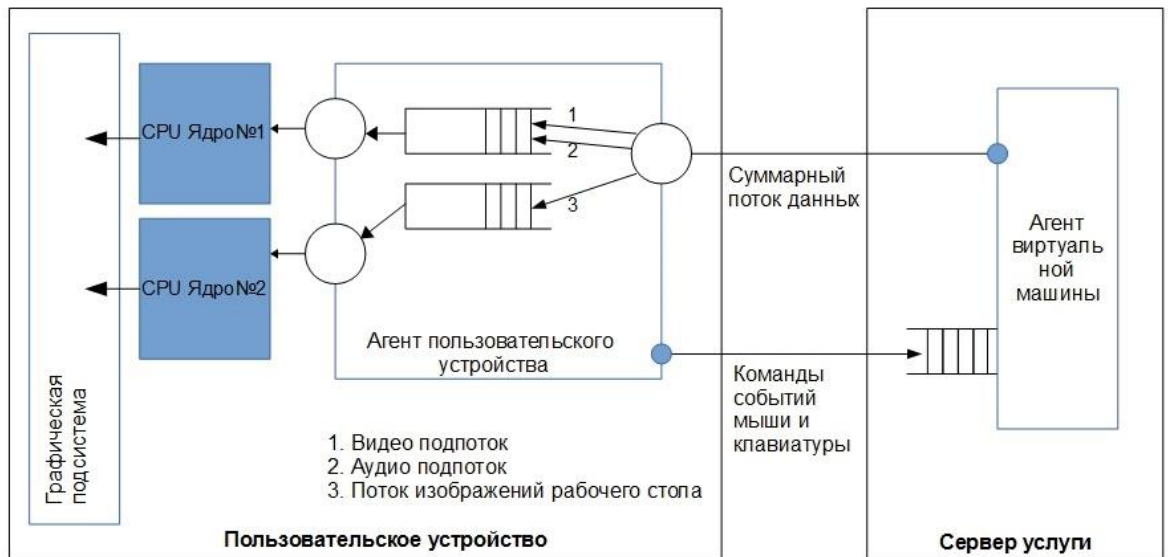


Рисунок 7. Схема работы услуги в третьем сценарии

ВСМР-сеть состоит из четырех узлов обслуживания, между которыми в соответствии с матрицей переходов циркулируют три типа заявок. Типам заявок соответствуют типы подпотоков: r – аудио, s – видео, t – изображения. Времена обслуживания заявок типов r , s , t в узле i являются СВ и распределены экспоненциально со средними $1/\mu_{ir}$, $1/\mu_{is}$, $1/\mu_{it}$. Заявки типов r , s , t прибывают в узел i извне с интенсивностями $\lambda_{0i,r}$, $\lambda_{0i,s}$, $\lambda_{0i,t}$. При этом $\lambda_0 = \lambda_{0i,r} + \lambda_{0i,s} + \lambda_{0i,t}$ – интенсивность общего потока. Интенсивности потоков заявок типа r определяется из выражения: $\lambda_{jr} = \lambda_{0,jr} + \sum_{i,r} \lambda_{ir} \cdot p_{i,jr}$. Аналогично для типов s и t . Для узлов типа 1 (FCFS)

среднее время обслуживания в узле заявки типа r определяется из выражения: $t_{ir} = 1/\mu_{ir}$. Используя формулы аппарата ВСМР для средних: времени ожидания заявки в узле, времени пребывания заявки в узле, количества заявок в узле с учетом наличия трех типов заявок проведены расчеты, в результате которых получены следующие выводы.

При одновременном увеличении интенсивности обслуживания агента виртуальной машины и интенсивности обслуживания агента пользовательского устройства на 50 %, время отклика уменьшается почти вдвое. При дальнейшем увеличении интенсивностей их обслуживания еще на 50% наблюдается более плавное уменьшение времени отклика вплоть до 0,06 с без учета транспортной задержки.

В ситуациях, когда поставщик услуги не имеет возможности увеличивать ресурсы на серверной стороне, оправданно прибегнуть к увеличению быстродействия только пользовательских терминалов. Так, при фиксированной интенсивности обслуживания агента виртуальной машины и увеличении интенсивностей обслуживания агента пользовательского устройства на 50 % можно добиться уменьшения времени отклика практически на 35 %.

Увеличение интенсивности обслуживания узлов на пользовательском устройстве дает эффект уменьшения времени отклика, который наиболее выражен при их увеличении в два раза – время отклика уменьшается в 2,6 раз. Однако при дальнейшем увеличении интенсивностей обслуживания узлов этот эффект становится менее выраженным. В таблице 2 представлены соотношения интенсивностей обслуживания в узлах, удовлетворяющих требованию по времени отклика.

Таблица 2. Соотношения интенсивностей обслуживания в узлах и среднее время отклика для модели сценария с видео и аудио

μ_{2s}/μ_{1s}	μ_{3r}/μ_{1r}	μ_{4t}/μ_{1t}	T'_r	T'_s	T'_t
0,5	1,5	0,5	0,371	0,371	0,505
0,66	1,33	0,66	0,219	0,219	0,27
0,75	1,25	0,75	0,158	0,158	0,185

Таким образом, при предоставлении пользователю не только изображений рабочего стола, но и аудио и видео данных, можно сформулировать следующие требования к серверу услуги и пользовательскому устройству. При необходимости обеспечения времени отклика на уровне менее 1,1 с:

- величины μ_2, μ_3, μ_4 должны быть не менее $\mu_1, 0,6\mu_1, 1,3\mu_1$ соответственно;
- планирование сетевого ресурса. Если исходить из оговоренного ограничения на время отклика T и при этом T_{mp} находится в пределах 120...150 мс, то T' должно быть для видео и аудио заявок, исходя из расчетов, не более 0,33 с, для изображений – не более 0,29 с для устройств с архитектурой, включающих выделенное ядро для обработки аудио и видео.

При этом следует учитывать, что время отклика будет определяться по наибольшему из времен для каждого типа заявок, полученных в модели, поскольку в конечном итоге все они объединяются в единую картинку на экране пользователя.

Далее в четвертом разделе предложена обобщенная модель, позволяющая снять некоторые ограничения, имеющиеся в представленных выше моделях, в которых потоки, циркулирующие в сети, считаются пуассоновскими, а распределение времени обслуживания в узлах экспоненциальными. На практике такие ограничения не всегда выполняются. Для исследования более широкого диапазона типов обслуживания в узлах и видов потоков предложена аналитическая модель процесса работы услуги на основе приближенного метода, учитывающего первые два момента на основе формул Крамера и Лангенбах-Бельца.

Суть данного метода заключается том, что в ряде случаев некоторую инфокоммуникационную структуру не представляется возможным изучить целиком ввиду отсутствия информации о характерах потоков, циркулирующих в ней, а также о типах распределения длительности обслуживания в ее узлах. Для их исследования каждый узел рассматривается как СМО вида G/G/1. Для таких общих систем не существует развитой теории, поэтому учитываются первые два момента (математическое ожидание и дисперсия)

случайных величин, описывающих расстояния между соседними заявками в потоках и длительность обслуживания в узлах.

В построенной модели для удобства вычислений вместо дисперсии в чистом виде рассмотрены коэффициенты вариации распределения расстояния между соседними заявками в потоке и распределения длительности обслуживания в узле.

Введены следующие обозначения: λ_i – интенсивности входящих в узел i потоков. $M_{\text{ср}i} = 1/\lambda_i$ – среднее расстояние между вызовами (математическое ожидание расстояния между заявками); $C_A(i)$ – коэффициент вариации распределения расстояний между соседними заявками соответствующего потока; $C_B(i)$ – коэффициент вариации распределения длительности обслуживания; μ_i – интенсивность обслуживания заявок в узле i ; $h_i = 1/\mu_i$ – средняя длительность обслуживания (математическое ожидание времени обслуживания). Среднее время ожидания в узле определяется по формуле (6):

$$w_i = h_i \cdot \frac{\rho_i}{2 \cdot (1 - \rho_i)} \cdot [(c_A(i))^2 + (c_B(i))^2] \cdot g[\rho_i, (c_A(i))^2, (c_B(i))^2], \quad (6)$$

$$\text{где } g[\rho_i, (c_A(i))^2, (c_B(i))^2] = \begin{cases} \exp\left[\frac{-2(1-\rho_i)}{3\rho_i} \cdot \frac{[1-(c_A(i))^2]^2}{(c_A(i))^2 + (c_B(i))^2}\right], & \text{если } c_A(i) < 1. \\ \exp\left[-(1-\rho_i) \cdot \frac{(c_{Ai})^2 - 1}{(c_A(i))^2 + 4(c_B(i))^2}\right], & \text{если } c_A(i) \geq 1. \end{cases}$$

Этот параметр рассчитан для каждого узла. Среднее время ожидания в узлах по пути следования заявок, например, для узлов 1, 2, 3 определено по формуле: $w_T = w_1 + w_2 + w_3$. Суммарное среднее время обслуживания на узлах 1, 2, 3: $h_T = h_1 + h_2 + h_3$. Среднее время отклика (без учета транспортной задержки): $T' = w_T + h_T$.

Для определения коэффициентов вариации распределения длительности обслуживания в узлах ($C_B(i)$) было проведено экспериментальное исследование. При помощи средств отладки, входящих в комплект облачной платформы, собрана статистика временных интервалов между поступлениями соседних требований, а также временных интервалов между моментом приема требования агентом виртуальной машины и выдачей изображения рабочего стола на подсистему доставки пользователю (то есть процесс обслуживания). Оценивались времена обслуживания и дисперсия, после чего коэффициенты вариации найдены как отношения

$$C_A(i) = \overline{S_i} / \overline{X_i}, \text{ где } \overline{S_i} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \overline{X_i})^2 / (n-1)} - \text{статистическая оценка среднеквадратического}$$

отклонения, $\overline{X_i}$ – среднее арифметическое расстояния между соседними пакетами в потоке.

Из ряда алгоритмов для нахождения коэффициентов вариации, относящихся к потокам, выбран алгоритм УДН, который при относительной простоте вычислений позволяет исследовать сеть в широком диапазоне нагрузки. При помощи этого алгоритма (см. формулу (7) ниже) вычислены коэффициенты вариации распределения расстояния между соседними заявками $C_A(i)$, при этом были использованы коэффициенты вариации распределения длительности обслуживания, оцененные выше.

$$\gamma_A(i) - \sum_{k=1}^M \gamma_A(k) (1 - \rho_k^2) p_{ki}^2 = \gamma_A(0, i) + \sum_{k=1}^M \gamma_B(k) \rho_k^2 p_{ki}^2, \quad i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{0, M}, \quad (7)$$

$$\text{где } \gamma_A(i) = \lambda_i (C_A^2(i) - 1), \gamma_A(k, i) = \lambda_{ki} (C_A^2(k, i) - 1), \gamma_B(i) = \mu_i (C_B^2(i) - 1).$$

Для исследования изменения потока при прохождении через сеть (оценка изменения распределения расстояний между соседними заявками в потоке) было проведено

экспериментальное исследование. При помощи программы Wireshark проводились измерения расстояний между соседними пакетами в потоках. Измерения $C_A(2)$ производились на выходе с сервера услуги перед входом в сеть передачи данных, измерения $C_A(2)'$ производились на входе в клиентское устройство. Получены коэффициенты вариации вышедшего с сервера услуги потока $C_A(2)$ и прошедшего через сеть передачи данных (Интернет) и вошедшего в узел 2 потока $C_A(2)'$. Полученные данные показали, что при прохождении через сеть передачи данных коэффициент вариации распределения расстояния между соседними заявками в потоке изменяется незначительно, следовательно, при расчетах можно учитывать поток между узлами 1 и 2 с коэффициентом вариации $C_A(2)$.

Затем для исследования зависимостей среднего времени отклика от коэффициентов вариации варьировались коэффициенты вариации входящего потока. Каждая зависимость построена для трех значений коэффициента вариации, относящегося к потоку, входящему в сеть $C_A(1)$. При этом рассмотрено три варианта интенсивности входящего в сеть потока, в том числе оцененная экспериментально. На рисунке 8 показаны полученные зависимости при $\lambda_1 = 1,5$ 1/с.

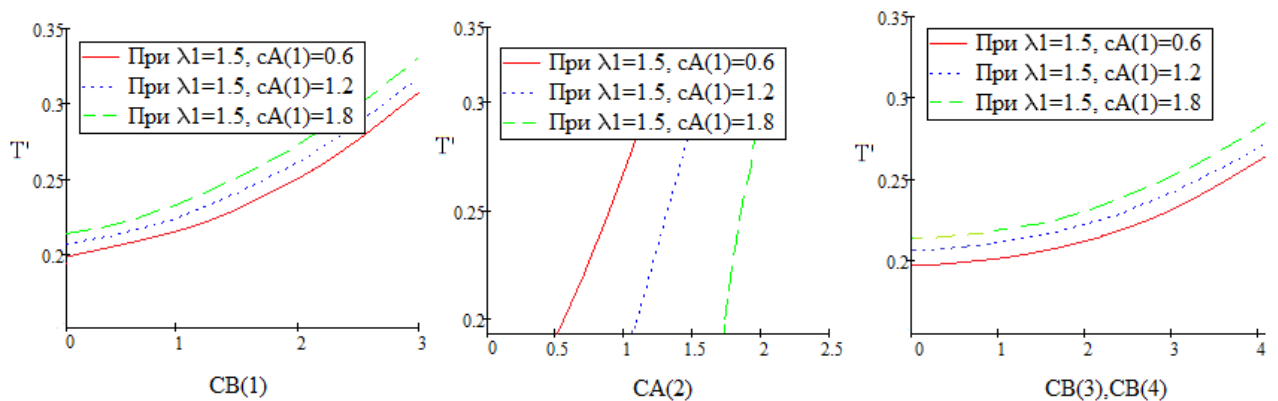


Рисунок 8. Зависимости времени отклика от КВ при различных коэффициентах вариации входящего в сеть потока

Характер семейства кривых, полученных при фиксированной величине коэффициента вариации, относящегося к потоку, входящему в сеть, и варьировании коэффициентов вариации, относящихся к обслуживанию в узлах сети, позволяет сделать вывод о том, что среднее время отклика существенно увеличивается с ростом коэффициентов вариации распределения расстояния между соседними заявками в потоках и распределения времени обслуживания в узлах сети. С увеличением интенсивности входящего в сеть потока незначительно (менее 0,1 с) растет величина среднего времени отклика.

Далее была оценена разница между моделью, приведенной на основе сети Джексона, которая предполагает моделирование обслуживания в узлах и характеров потоков экспоненциальными, и охватывающей более широкий диапазон ситуаций, но более трудоемкой в расчетах немарковской моделью. Сделан вывод о том, что в случаях, когда коэффициенты вариации распределения времени обслуживания в узлах и расстояния между соседними запросами в потоке отличны от единицы не более, чем на 10%, рекомендуется использовать более простой метод, основанный на модели сети Джексона.

В заключении сформулированы основные результаты проведенных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы состоят в следующем.

1. На основании анализа логики услуги «виртуальный рабочий стол» для разработки математических моделей выделены две фазы ее предоставления для возможности отдельного их исследования. В первой фазе рассмотрено подключение пользователей; во второй фазе предусмотрена их работа с индивидуальными рабочими столами.

2. Для первой фазы разработана аналитическая модель, позволяющая оценить среднее время отклика; получены его зависимости от основных характеристик системы (среднего времени обслуживания одного запроса, числа одновременно обслуживаемых пользователей). Решена задача определения множества допустимых значений характеристик сервера, при которых выполняются ограничения по среднему времени отклика и вероятности отказа в подключении, а также задача определения рациональных вариантов сочетания этих параметров.

3. Для второй фазы разработаны аналитические модели, которые для трех сценариев предоставления услуги позволяют оценить среднее время отклика, а также получить аналитические соотношения между средним временем отклика и интенсивностями обслуживания. Предложена обобщенная модель базового сценария предоставления услуги, которая позволяет оценить среднее время отклика для различных типов потоков и законов распределения времени обслуживания.

4. В результате проведенных натурных экспериментальных исследований получены оценки характеристик инфраструктуры услуги, влияющих на ее качество: среднего времени между запросами к серверу в обеих фазах, среднего времени обработки на пользовательском устройстве, среднего времени обслуживания запросов сервером, среднего времени отклика, а также зависимости транспортной задержки от скорости передачи данных.

5. В общем случае для оценки времени отклика рекомендуется использовать метод, учитывающий первые два момента случайных величин, описывающих расстояния между соседними заявками в потоках и длительность обслуживания в узлах. В случаях, когда коэффициенты вариации распределения времени обслуживания в узлах и расстояния между соседними запросами в потоке отличны от единицы не более, чем на 10%, рекомендуется использовать более простой метод, основанный на модели сети Джексона.

6. Результаты исследования использованы в работе ООО «ЭЛТЕКС-МСК» в виде методики оценки среднего времени отклика в различных сценариях работы услуги, а также в учебном процессе кафедры СС и СК МТУСИ, что подтверждается соответствующими актами.

Основные публикации по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Сулейманов, А. А. Немарковская модель терминальной сессии облачной услуги «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 2. – № 4. – С. 72–75.

2. Нетес, В. А. Услуга «виртуальный рабочий стол» и особенности ее реализации [Текст] / В.А. Нетес, А. А. Сулейманов // Вестник Связи. – 2016. – №9. – С. 12–16.

3. Сулейманов, А. А. Анализ времени подключения к облачной услуге «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов, В. А. Нетес // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Т. 10. – №7. – С. 41–46.

4. Сулейманов, А. А. Качество облачных услуг типа «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9. – №7. – С. 31–35.

Прочие публикации:

5. Сулейманов, А. А. Немарковская модель терминальной сессии облачной услуги «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Сборник трудов XI международной

отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного сообщества». – М.: МТУСИ. – 2017. – С. 105.

6. Сулейманов, А. А. Моделирование подсистемы терминальной сессии услуги типа «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Материалы научно - технической конференции «INTERMATIC-2016». – М.: МГТУ МИРЭА – ИРЭ РАН. – 2016. – Ч.5. – С. 195–198.

7. Сулейманов, А. А. Применение аппаратного ускорения для доставки мультимедиа в терминальную сессию услуги «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (МФИ-2016). – М.: МТУСИ. – 2016. – С. 35–36.

8. Сулейманов, А. А. Анализ времени подключения к облачной услуге «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов, В. А. Нетес // Сборник трудов X международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного сообщества». – М: ИД Медиа Паблшер. – 2016. – С. 69–70.

9. Сулейманов, А. А. Средства доставки виртуальных рабочих столов на терминальное оборудование [Текст] / А. А. Сулейманов // Сборник тезисов IX Московской научно-практической конференции «Студенческая наука». – М.: «Московский студенческий центр». – 2016. – Т. 3. – С. 702.

10. Сулейманов, А. А. Анализ процесса установления терминальной сессии услуги типа «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (МФИ-2015). – М: МТУСИ – 2015. – С. 44–45.

11. Сулейманов, А. А. Аналитическая модель процесса установления сессии облачной услуги типа «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Материалы 11-ой международной научно-технической конференции. – Владимир: ВлГУ. – 2015. – 376 с.

12. Сулейманов, А. А. Качество облачных услуг типа «виртуальный рабочий стол» [Текст] / А. А. Сулейманов // Тезисы научно-технических секций IX международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного сообщества». – М: ИД Медиа Паблшер. – 2015. – С. 35.

13. Сулейманов, А. А. Качество потокового видео в облачных услугах типа DaaS [Текст] / А. А. Сулейманов // Труды Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014». – Ростов-на-Дону: «Университет». – 2015. – Ч.1. – С. 282–284.

14. Сулейманов, А. А. Факторы, определяющие воспринимаемое качество при подключении тонкого клиента к облачным платформам [Текст] / А. А. Сулейманов // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (МФИ-2014). – М: МТУСИ. – 2014. – С. 53–54.

15. Сулейманов, А. А. Качество восприятия услуг на базе тонкого клиента при подключении к различным облачным платформам [Текст] / А. А. Сулейманов // Материалы научно - технической конференции «INTERMATIC-2014». – М.: МГТУ МИРЭА – ИРЭ РАН. – 2014. – Ч.5. – С. 229–232.

16. Сулейманов, А. А. Воспринимаемое качество при использовании тонкого клиента на базе облачных платформ [Текст] / А. А. Сулейманов // Труды Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014». – Ростов-на-Дону: «Университет». – 2014. – Ч.1. – С. 124–126.

17. Сулейманов, А. А. Существующие возможности различных технологий серверной виртуализации [Текст] / А. А. Сулейманов // Материалы научно - технической конференции «INTERMATIC-2013». – М.: МГТУ МИРЭА – ИРЭ РАН. – 2013. – Ч.5. – С. 21–23.