

Утверждаю  
И.о. генерального директора  
ФГУП ЦНИИС

О.А. Бычкова  
2021 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт связи» ФГУП ЦНИИС на диссертацию Бабкина Владимира Анатольевича "Исследование и разработка методов мониторинга производительности пакетной транспортной сети на основе анализа показателей качества», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Обеспечение качества связи – одна из основных задач специалистов телекоммуникационной отрасли. Качество связи предопределяется качеством сетевых соединений. Сегодня при оценке качества соединений в сетях с пакетной коммутацией используются методы оценки, разработанные для сетей с коммутацией каналов. Использование показателей качества, которые получены на интервалах малой длительности, не позволяет оценить качество передачи данных за все время предоставления услуг связи.

Разработка способов оценки качества сетевых соединений при передаче мультисервисного трафика при помощи протоколов IP и Ethernet, которые позволяют сформировать значения оценки качества с учетом величины и длительности изменений значений показателей сетевой производительности NP за интервалы времени произвольной длительности является актуальной задачей.

### 2. Структура и основные результаты диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложения. Основная часть (без приложений) изложена на 168 страницах машинописного текста, содержит 95 рисунков и 16 таблиц. Список литературы состоит из 175 наименований. Приложения изложены на 2 страницах машинописного текста.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, обозначена цель исследований, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

Вход. № 40/21  
« 24 » 04 2021 г.  
подпись

**В первом разделе** рассматриваются существующие подходы к определению качества функционирования сети связи, виды оценок качества и их распределение по уровням модели МВОС. Проводится сравнительный анализ работы сетей с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов. Для сетей с коммутацией пакетов рассматриваются традиционные показатели качества работы сети и целесообразность их применения для передачи пакетного трафика посредством оборудования, работающего на канальном (коммутаторы) и сетевом (маршрутизаторы) уровнях МВОС, при использовании различных транспортных технологий передачи пакетного трафика (MPLS, VxLAN, GTP-туннели). Выполнен анализ публикаций по методам оценки качества работы сетей с коммутацией пакетов. Особое внимание уделено недостаткам, присущим этим методам.

Установлено, что в нормативной документации для значений показателей NP при использовании для передачи данных протоколов IP и Ethernet используется метод пороговой деградации качества работы сетевого соединения, который не подтверждается практическими результатами оценки качества передачи пакетного трафика при предоставлении большинства услуг связи, основанных как на передаче трафика одного класса (моносервисные услуги связи), так и на передаче мультиклассового трафика (мультисервисные услуги связи). Также установлено, что всегда наблюдались области значений показателей NP, в которых происходило постепенное ухудшение качества передачи пакетного трафика, приводящие к ухудшению качества предоставления услуг связи. Пороговые значения показателей NP нормированы на основе предположения стационарности и ординарности процесса передачи пакетного трафика с отсутствием последствия, что позволяет использовать минимальные, максимальные и средние значения показателей на интервале времени оценки качества. Автор сфокусировал свое внимание на том, что в реальной сети связи процесс изменения значений показателей качества не является стационарным, отсутствует ординарность потока пакетов данных ввиду конкуренции пакетов с разным уровнем приоритета, присутствует влияние последствий в виду использования разных пакетных буферов по значениям приоритета пакетов данных и функций профилирования (шейпинга), присутствует просеивание потока пакетов данных с использованием функций сброса пакетов (полисинга).

В результате анализа автором сформирована задача на разработку показателей качества сетевых соединений для сетей с коммутацией пакетов, свободных от указанных недостатков.

**Во втором разделе** решается задача по формированию показателей качества сетевых соединений в пакетных сетях. С учетом того, что различные услуги связи, у которых может совпадать класс трафика, имеют разную

чувствительность к изменению значений одного и того же показателя NP, разрабатываемые показатели качества должны формироваться по значениям каждого показателя NP в отдельности. Формирование оценки качества по каждому показателю в отдельности обусловлено также тем фактом, что с точки зрения обеспечения качества услуг связи в виде показателей QoS показатели NP могут быть конвертированы в другие показатели качества и необходимо обеспечить соответствие показателей NP и QoS.

Для формирования значений оценки качества сетевого соединения на интервале времени проведения оценки предложены однопороговый и многопороговый методы интегральной оценки. При этом в качестве параметра  $P$  выступают значения показателей NP. Область деградации значений  $P$  определяется пороговым значением  $P_{thres}$  и значением  $P_{max}$ , начиная с которого сетевое соединение непригодно для передачи трафика для данной услуги связи. За интервал времени оценки качества работы сетевого соединения  $T_m$  максимальная величина деградации качества описывается значением площади  $S_{thres}$ . Величина ухудшения качества работы сетевого соединения  $S_{par}$  за время  $T_m$  описывается суммой величин превышения значениями параметра  $P$  порогового значения  $P_{thres}$  на интервалах времени  $dt$  формирования значений показателей NP. Для случая, когда для различных услуг связи существуют разные пороговые значения оцениваемого параметра  $P$ , используется многопороговый метод оценки качества сетевого соединения.

Автор предлагает на основании полученных оценок осуществлять выбор адекватного сетевого соединения для передачи трафика конкретной услуги связи.

**В третьем разделе** проведен анализ взаимосвязи показателей качества сетей с коммутацией пакетов, определенных в нормативной документации, и оценка значений данных показателей. На основании проведенного анализа автор предложил логическая модель взаимосвязи показателей сетевой производительности, учитывающая синергетичность показателей качества и технологические возможности сети связи оператора.

Использование логической модели позволяет ввести граничные условия по каждому из показателей NP при использовании для оценки качества комплексного мультипликативного показателя. Таким образом сетевое соединение может быть непригодно для передачи трафика услуги связи при несоответствии норме любого из показателей NP в отдельности.

На основании логической модели построена обобщенная модель взаимосвязи между показателями функционирования сетей с коммутацией пакетов, которая, в отличие от моделей, описывающих только взаимное влияние показателей качества, учитывает влияние архитектурно-технологических особенностей

построения сети связи и влияние со стороны информационных систем и сетевых платформ на качество предоставления сетевых сервисов.

В качестве интегральных показателей качества работы сетевых соединений для сетей с коммутацией пакетов предложены и исследованы следующие показатели:

- Коэффициент пропускной способности (КПС), позволяющий проводить оценку производительности сетевого соединения по запасу пропускной способности используемых физических или логических портов. В качестве параметра при расчете используется уровень загрузки порта сетевого соединения.

- Коэффициент качества приоритетных очередей (ККПО), позволяющий проводить оценку уровня потерь пакетов приоритетного трафика. В качестве параметра при расчете используется уровень сброса пакетов в очередях (буферах) портов сетевого соединения или значение уровня потерь при отсутствии данных по значениям уровня сброса.

- Коэффициент качества неприоритетных очередей (ККНО), позволяющий проводить оценку уровня потерь пакетов неприоритетного трафика. В качестве параметра при расчете используется уровень сброса пакетов в очередях (буферах) портов сетевого соединения или значение уровня потерь при отсутствии данных по значениям уровня сброса.

- Коэффициент качества сетевого соединения (ККСС), позволяющий проводить оценку степени пригодности сетевого соединения для предоставления услуг различного типа в зависимости от уровня ошибок. В качестве параметра при расчете используется уровень ошибок при передаче пакетов на портах сетевого соединения.

**В четвертом разделе** на конкретных примерах показаны результаты практического использования предложенных интегральных показателей для оценки качества сетевых соединений в сети с коммутацией пакетов и определения степени пригодности сетевых соединений для передачи пакетного трафика различных услуг связи на основе их требований к качеству сетевых соединений. Графики изменения значений интегральных показателей качества позволяют выявить проблемы с производительностью сетевых соединений при передаче пакетного трафика и выявить причины возникновения таких проблем.

### 3. Научная новизна основных результатов диссертационной работы

Текст диссертационной работы и публикации автора в научно-технических журналах позволяют сформулировать новые научные результаты проведенного исследования в виде пяти положений:

1. Предложена модель взаимосвязи между показателями функционирования сетей с коммутацией пакетов, которая учитывает влияние архитектурно-

технологических особенностей построения сети связи и влияние со стороны информационных систем и сетевых платформ на качество предоставления сетевых сервисов.

2. Предложен и научно обоснован метод статистической интегральной оценки качества работы сетевых соединений в сети связи с коммутацией пакетов, который учитывает влияние на качество предоставления мультисервисных услуг связи величины и продолжительности (количества) кратковременных отклонений значений показателей сетевой производительности от областей допустимых значений на интервале времени проведения измерений.

3. Предложен метод формирования диапазона пороговых значений показателей качества для проведения оценки качества работы сетевых соединений в сетях с коммутацией пакетов, который учитывает различные требования со стороны набора услуг к качеству обслуживания сетевым соединением трафика данных, формируемого в мультисервисной сети на различных уровнях модели взаимодействия открытых систем с использованием различных транспортных технологий передачи пакетного трафика.

4. Предложены интегральные показатели качества работы сетевых соединений в сети с коммутацией пакетов, которые позволяют оценить степень деградации качества передачи данных при передаче по сетевому соединению неоднородного трафика путем учета величины и длительность превышения значениями показателей сетевой производительности установленных пороговых значений на интервале времени проведения оценки.

5. Предложен метод ретроспективной оценки пригодности сетевых соединений для передачи мультисервисного трафика существующих и перспективных услуг связи с учетом их технологических требований, который дополняет существующие методы текущей оценки качества и позволяет управлять маршрутизацией пакетного трафика путем выбора для передачи трафика сетевого соединения с учетом исторической оценки качества при равенстве значений текущей оценки. Такой подход к управлению маршрутизацией пакетного трафика в мультисервисных сетях связи повышает производительность сетей связи.

#### 4. Практическая ценность результатов диссертационной работы

Текст диссертационной работы, публикации автора в научно-технических журналах и сведения о внедрении дают основание сформулировать практическую ценность в следующем виде.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что формируемые оценки качества сетевых соединений позволяют обеспечить управление передачей трафика мультисервисных услуг с использованием сетевых

соединений, максимально соответствующих требованиям к качеству передачи трафика предоставляемых услуг связи, и проводить мониторинг их изменения, осуществлять планирование развития сети связи оператора с учетом текущего технического состояния и изменения нагрузки на сетевые соединения со стороны пользователей услугами связи.

#### 5. Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы и сформулированных выводов подтверждаются адекватностью выбранных моделей, корректностью их исследований, проверкой аналитических соотношений за счет проведения имитационного моделирования и измерений, проведенных на действующих фрагментах СПП.

В работе при решении поставленных задач использовались методы теорий вероятностей, массового обслуживания, математической статистики. При оценке качества передачи пакетного трафика выполнено компьютерное моделирование и получено экспериментальное подтверждение результатов моделирования.

#### 6. Личный вклад диссертационной работы

Результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором. Все измерения были проведены под руководством и при непосредственном участии диссертанта.

Все основные научные положения, результаты, выводы и рекомендации сформулированы, получены, обработаны и проверены автором лично в ходе проведения оценок параметров и показателей качества работы сети крупного оператора связи РФ.

#### 7. Соответствие диссертационной работы специальности 05.12.13

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций в части пунктов 3, 11 и 12.

#### 8. Апробация результатов диссертационной работы

Степень апробации результатов, полученных в диссертационной работе, на международных и российских конференциях, в монографии и в отраслевых журналах вполне достаточна и соответствует требованиям, изложенным в «Положении о присуждении ученых степеней».

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью применения математического аппарата и согласованностью теоретических и практических результатов исследования, проводимых в сети

оператора связи на протяжении нескольких лет. В виду практической ценности полученных результатов они внедрены на пакетной сети связи данного оператора.

Полученные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: международная научно-техническая конференция «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» (Беларусь, Минск, 2018г.), международная научная конференция «Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems» (Санкт-Петербург, 2018), международная научная конференция «Технические и естественные науки» (Санкт-Петербург, ГНИИ «Нацразвитие», 2018 г.), международная научная конференция «2019 Системы генерации и обработки сигналов в области бортовых коммуникаций» (Москва, МТУСИ, 2019 г.), XIII международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии Информационного Общества» (Москва, МТУСИ, 2019 г.), международная научно-техническая конференция «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» (Ярославль, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, 2019 г.), XIV международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества 2020» (Москва, МТУСИ, 2020 г.), международная научно-техническая конференция «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» (Россия, Светлогорск, 2020г.).

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 6 в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

#### 9. Рекомендация по использованию результатов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать:

- в научных организациях при исследовании свойств пакетного трафика, обусловленного коммуникативными и информационными потребностями пользователей; при совершенствовании инновационных технологий NGN, SDN/NFV, SyncE, 5G/IMT-2020;
- в проектных организациях при планировании развития сети связи оператора с учетом текущего технического состояния и изменения нагрузки на сетевые соединения со стороны пользователей услугами связи;
- в компаниях-операторах связи для повышения эффективности телекоммуникационной инфраструктуры.

#### 10. Замечания по диссертационной работе

Ознакомление с текстом диссертационной работы и с публикациями автора позволило выявить следующие недостатки:

- 1) При формировании комплексного показателя качества сетевого соединения было бы целесообразно использовать созданный квалиметрией мультипликативный показатель качества.
- 2) Для измерения пропускной способности следовало рекомендовать разработанный во ФГУП ЦНИИС способ измерения скорости передачи информации (данных) при широкополосном доступе в Интернет (Патент на изобретение №2562772).
- 3) Предлог «ввиду» (стр. 46, 56, 69...) следует писать слитно.
- 4) На рис. 1.4 применен правильный термин «транспортная сеть», а на рис. 1.2 – «базовая сеть».

## 11. Заключение

В соответствии с действующим "Положением о присуждении ученых степеней" диссертационная работа Бабкина В.А. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития знаний в отрасли телекоммуникаций – при повышении пропускной способности, качества и устойчивости пакетных сетей. Автореферат диссертационной работы в достаточной мере отражает ее содержание. Диссертационная работа соответствует заявленной специальности 05.12.13 – "Системы, сети и устройства телекоммуникаций", и удовлетворяет требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Бабкин Владимир Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовили:

Цым Александр Юрьевич, начальник лаборатории ФГУП ЦНИИС, доктор технических наук (научная специальность 05.09.02 – Электроизоляционная и кабельная техника), старший научный сотрудник (научная специальность 05.12.14 – Сети, узлы связи и распределение информации, включенная впоследствии в 05.12.13. – Системы, сети и устройства телекоммуникаций); научные труды и изобретения последних лет соответствуют паспорту научной специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций в части пунктов 3, 11, 12 и 14; Заслуженный работник связи Российской Федерации.

Добродеев Александр Юрьевич, советник генерального директора ФГУП ЦНИИС, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (научная специальность 05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность).



Деарт Ирина Дмитриевна, старший научный сотрудник лаборатории ФГУП ЦНИИС, кандидат технических наук (научная специальность 05.12.14 – Сети, узлы связи и распределение информации, включенная впоследствии в 05.12.13. – Системы, сети и устройства телекоммуникаций).

Диссертация, автореферат и отзыв ведущей организации обсуждены на заседании НТС ФГУП ЦНИИС, протокол № 1 от 31 марта 2021 г.

НТС ФГУП ЦНИИС принял решение дать положительный отзыв ведущего предприятия на кандидатскую диссертацию В.А. Бабкина.

И.о. директора НЦ-21  
ФГУП ЦНИИС, д.т.н.



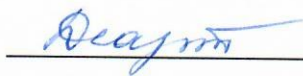
А.Ю. Цым  
"26" 04 2021 г.

Советник генерального  
директора ФГУП ЦНИИС,  
к.т.н.



А.Ю. Добродеев  
"26" 04 2021 г.

Главный научный сотрудник  
ФГУП ЦНИИС, к.т.н.



И.Д. Деарт  
"26" 04 2021 г.