

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему:
«Разработка метода мониторинга качества сервисов в телекоммуникационной сети»,
представленной на соискание степени доктора философии PhD по специальности 6D071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ЖУНУСОВА АЯНА РАДИЯНОВИЧА

Современные телекоммуникационные системы и сети передачи данных генерируют большие объемы разнородного трафика. В таких сетях традиционные методы управления, мониторинга и анализа данных сталкиваются с проблемами точности и эффективной обработки больших данных в реальном времени. Чтобы принять обоснованное решение о выборе подходящего алгоритма обучения, соответствующего конкретным требованиям приложения, необходимо знать преимущества и недостатки алгоритмов с точки зрения их применения. Анализ трафика в сетях передачи данных имеет множество целей, таких как оценка производительности и безопасности сетевых операций и управления. Поэтому анализ сетевого трафика считается важным элементом для повышения производительности и безопасности сетей. Применение методов машинного обучения в области анализа трафика демонстрирует эффективные возможности в решении сетевых проблем. Междисциплинарное сочетание методов IP-сетей и интеллектуального анализа данных позволяет проводить качественный анализ существующих IP-сетей и выявлять узкие места, а также проводить мониторинг качества сервисов.

Актуальность темы исследований:

Современные телекоммуникационные сети переживают стремительное усложнение архитектур, рост объёмов трафика и диверсификацию предоставляемых сервисов, что предъявляет новые требования к надёжности и качеству обслуживания пользователей (QoS/QoE). Увеличение числа абонентов, массовое внедрение облачных технологий, появление критически важных цифровых услуг (e-health, e-gov, финансовые сервисы) обостряют задачу оперативного и точного мониторинга состояния сетевой инфраструктуры.

Классические методы контроля качества — опрос SNMP, сбор NetFlow- и sFlow-метрик, а также ручной анализ аварийных журналов — оказываются недостаточно чувствительными к быстро развивающимся или скрытым аномалиям, сопровождаются высокой задержкой обнаружения инцидентов и увеличивают нагрузку на оборудование оператора. Эти ограничения особенно заметны в условиях внедрения программно-определяемых сетей (SDN/NFV), а также при переходе к сетям пятого поколения (5G), где требования к SLA и времени реакции становятся критически жёсткими.

Особую актуальность приобретает разработка косвенных методов мониторинга, позволяющих диагностировать качество сервисов на основе уже доступной статистики сетевых протоколов, не требующих внедрения дорогостоящих датчиков или генерации тестового трафика. В условиях масштабирования сетей и роста числа точек отказа особо востребованы автоматизированные, предиктивные инструменты на основе методов машинного обучения, способные не только обнаруживать, но и заблаговременно прогнозировать инциденты.

В этом контексте актуальна задача поиска универсальных, формализованных и интерпретируемых метрик для мониторинга сервисов, которые можно внедрить в существующие OSS/NMS-платформы с минимальными затратами и быстрым эффектом для эксплуатации. Одним из таких подходов является анализ статистики PPPoE-сессий, характерных для широкополосных сетей доступа, с выделением новых индикаторов нестабильности и применением гибридных моделей прогноза.

Таким образом, исследование, посвящённое разработке и внедрению косвенного метода мониторинга качества сервисов на базе статистики PPPoE и современных инструментов анализа данных, отвечает актуальным требованиям отрасли, способствует повышению устойчивости, экономической эффективности и технологической конкурентоспособности операторских сетей.

Представленная диссертационная работа выполнялась на базе научно – исследовательских, методических и экспериментальных работ, с выполнением экспериментов и моделирования на сети одного из операторов связи.

Указанные выше условия формируют **цель** диссертационного исследования, которая сформулирована в следующем виде: разработка метода мониторинга качества сервисов в телекоммуникационных сетях на основе анализа косвенных статистических данных.

В процессе выполнения диссертационной работы для достижения поставленной цели выполнялись следующие **задачи** исследования:

- исследование методов мониторинга качества сервисов, выявление их преимуществ и ограничений;
- определение набора исходных косвенных признаков и их значимости;
- введение коэффициента нестабильности K ;
- доказательство корректности аналитического выражения для коэффициента нестабильности K с помощью математической статистики и имитационного моделирования;
- сравнение результатов регрессионных и ML-моделей прогнозирования для коэффициента нестабильности K ;
- оценка практической значимости и экономической эффективности разработанного метода на примере реальной сети оператора.

Объектом исследования являются процессы мониторинга качества сервисов в современных телекоммуникационных сетях.

Предметом исследования являются методы сбора, анализа и прогнозирования метрик качества сервисов на основе статистических характеристик PPPoE-сессий и алгоритмов машинного обучения.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. **Впервые предложен подход** к определению показателя качества сервисов на основе косвенных статистических признаков сетевых протоколов (на примере PPPoE), что позволяет диагностировать и прогнозировать деградацию обслуживания без прямых измерений параметров QoS и без внедрения дополнительного оборудования.

2. **Впервые предложен и аналитически обоснован безразмерный коэффициент нестабильности K** , отражающий долю аварийных разрывов соединений. Использование статистических показателей позволило обеспечить реализацию косвенного характера мониторинга без генерации тестового трафика и без воздействия на пользовательские сервисы.

3. **Разработан новый метод мониторинга качества сервисов на основе коэффициента нестабильности K** , включающий алгоритмы статистического анализа, что позволило доказать состоятельность и чувствительность предложенного показателя к деградациям качества услуг связи.

По результатам проведённых исследований, на защиту выносятся следующие **положения**:

1. **Подход к определению** показателя качества сервисов на основе косвенных статистических признаков сетевых протоколов доступа без использования прямых измерений параметров QoS.

2. **Коэффициент нестабильности K** является интегральным показателем качества предоставления услуг связи и обеспечивает количественную оценку устойчивости на основе косвенных статистических данных.

3. **Предложенный метод мониторинга на основе коэффициента K** обладает статистической состоятельностью и чувствительностью.

Апробация полученных результатов подтверждается информационным письмом АО «Казахтелеком» и актом внедрения, полученным на результаты диссертационной работы от Республиканского Государственного Предприятия на Праве Хозяйственного Ведения «Казахстанский центр межбанковских расчетов». Отмечается, что применение системы мониторинга позволило сократить сроки реагирования при возникновении внештатных ситуаций, обеспечило возможность отслеживания и выявления проблемных участков сети, отладку и улучшение качества предоставляемых сервисов, проведение тестирований для оптимизации телекоммуникационной сети.

Основные положения и результаты исследований отражены в **научных публикациях**: 6 научных работ, включая статьи и доклады. В их числе: 1 статья в отечественном научном издании, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования (КОКСОН); 2 научных доклада, опубликованных в сборниках материалов международных

научно-технических конференций, включая доклады с очным выступлением; а также 4 публикации, индексируемые в базе данных Scopus, включая 3 статьи в научных журналах и 1 публикацию в сборнике материалов международной конференции. Публикации, индексируемые в базе данных Scopus, представлены статьёй типа Article в журнале Journal of Theoretical and Applied Information Technology с процентилем 17% по предметной области «Общая информатика» на момент публикации, статьёй в журнале Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science с процентилем 47% по предметной области «Вычислительные сети и передача данных», статьёй в журнале Engineering, Technology & Applied Science Research (квартиль Q2) с процентилем 53% по предметной области «Обработка сигналов», а также публикацией в материалах международной научной конференции IEEE (2020 г.), индексируемой в базе данных Scopus.

Личный вклад автора в решение исследуемого вопроса определяется:

1. В обосновании, формулировке и разработке метода мониторинга качества сервисов в телекоммуникационной сети.
2. Вычислением и введением коэффициента нестабильности как эффективного показателя качества сервисов.
3. Выдвижением гипотезы об эффективности предложенного показателя качества сервисов и доказательством выдвинутой гипотезы несколькими способами.
4. Постановкой и реализацией экспериментальных исследований на сети провайдера связи, а также постановкой и осуществлением моделирования при помощи специализированного программного комплекса «Matlab».

Диссертационная работа выполнена диссертантом в соответствии с действующими требованиями оформления, структуры и содержания. Работа состоит из 4 основных глав, нормативных ссылок, обозначений и определений, введения, заключения, списка использованных источников и приложений.

Первая глава посвящена систематизации современных методов мониторинга (SNMP, NetFlow, sFlow, модельно-ориентированная телеметрия, активный/пассивный QoS/QoE-контроль, применение ML для обнаружения аномалий). Выделены преимущества и ограничения классических и инновационных подходов, проанализированы требования к мониторингу в SDN/NFV и облачных сетях.

Во второй главе диссертационной работы обоснован выбор протокола PPPoE в качестве источника статистических данных для мониторинга качества сервисов. Рассмотрены косвенные признаки функционирования пользовательских соединений, формируемые в процессе установления и завершения PPPoE-сессий (PADI, PADO, PADR, PADS, PADT). Показано, что изменение числа аварийных завершений сессий (Δ PADT) является информативным индикатором нестабильности соединений и может использоваться для выявления признаков деградации сетевых сервисов.

Введён и аналитически обоснован безразмерный коэффициент нестабильности K , характеризующий относительную долю аварийных завершений RPPoE-сессий в заданном временном интервале. Показано, что предложенный показатель позволяет количественно оценивать устойчивость пользовательских соединений и сопоставлять состояние сети при различных уровнях нагрузки. Описаны архитектура сбора и предобработки статистических данных, а также разработанная имитационная модель в среде MATLAB, применённая для верификации предложенной формулы коэффициента нестабильности.

Третья глава посвящена построению и сравнению моделей прогноза K : от линейных регрессий до ансамблей деревьев (Random Forest, XGBoost) и символьной регрессии. Для каждой модели представлены метрики точности, приведены инженерные сценарии использования и даны рекомендации для промышленной эксплуатации. Подчёркнута роль объяснимости формул и преимуществ ML-подходов в предиктивной аналитике.

В четвёртой главе описан опыт внедрения метода на магистрально-доступном сегменте крупного оператора. Представлены результаты мониторинга за 8 недель, приведены кейсы выявления и устранения реальных аварий (например, на VLAN 303), проведён анализ динамики метрик, влияния на MTTR, экономической эффективности (CAPEX, OPEX) и влияния на клиентский сервис.

Заключение обобщает полученные результаты исследований и основные выводы по диссертационной работе.

В приложениях собраны следующие ключевые данные по результатам исследований:

1. Таблицы с исходными данными.
2. Листинг кодов для имитационной модели.
3. Листинг кодов для машинного обучения.
4. Листинг разработанного программного обеспечения.
5. Копии акта внедрения основных результатов исследований
6. Копия информационного письма.