

На правах рукописи

Акишин Владимир Андреевич

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ АБОНЕНТСКИМ ОПЫТОМ  
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ**

2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» на кафедре инфокоммуникационных систем.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент  
**Гольдштейн Александр Борисович**

Официальные  
оппоненты: **Колбанев Михаил Олегович,**  
доктор технических наук, профессор,  
Санкт-Петербургский государственный  
экономический университет, кафедра  
информационных систем и технологий,  
профессор кафедры

**Кучерявый Евгений Андреевич,**  
доктор технических наук, доцент,  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», Московский институт  
электроники и математики им. А.Н. Тихонова,  
Департамент электронной инженерии, профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов имени  
Патриса Лумумбы», г. Москва

Защита состоится 21 июня 2023 года в 16.00 на заседании диссертационного совета 55.2.004.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», по адресу: Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1, ауд. 554/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГУТ по адресу Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1 и на сайте [www.sut.ru](http://www.sut.ru).

Автореферат разослан 21 апреля 2023 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 55.2.004.01,  
д-р техн. наук, доцент

М.А. Маколкина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Термин «инфокоммуникации» активно используется со второй половины 90-х годов прошлого века и отождествляет собой конвергенцию информационных и телекоммуникационных технологий, которая может быть записана в виде эмпирической формулы, введенной профессором Л. Е. Варакиным:

$$C\&C = Communications + Computers \quad (1)$$

При этом на сегодняшний день современный рынок инфокоммуникаций определяют три глобальных тренда:

1. Становление единой гетерогенной мультисервисной инфокоммуникационной сети NGN (Next Generation Network), как результат конвергенции различных сетей электросвязи предыдущих поколений, а также переход к сетям post-NGN.

2. Обеспечение повсеместной мобильности и доступности предоставления инфокоммуникационных услуг.

3. «Клиентоцентричность»: персонализация сетевых сервисов, а также трансформация операционных процессов таким образом, чтобы они создавали положительный «опыт» абонента, увеличивая его ценность для компании (LTV).

Очевидно, что описанные выше тренды увеличивают сложность проектирования систем и сетей связи, а также повышают энтропию в среде эксплуатации (B/OSS). Кроме того, следует констатировать, что современные инфокоммуникации включают в себя не только конвергенцию информационных и телекоммуникационных технологий по формуле (1), но и нераздельно связанным с понятиями «клиент» и «клиентоцентричная модель». Т.е., справедлива формула:

$$C\&C\&C = \frac{Communications + Computers}{Customers}, \quad (2)$$

Где числитель совпадает с формулой (1), а знаменатель соответствует клиентоцентричности современных инфокоммуникаций: C – Customer (также уместны термины «клиент» (Client) и «абонент» (Subscriber), которые в диссертации рассматриваются как синонимы).

Процесс формирования клиентоцентричной модели управления ставит операторов связи перед задачей перестройки существующих процессов таким образом, чтобы конечный сервис, предоставляемый оператором, был ориентирован на клиента и его опыт. Иными словами, *все ключевые аспекты управления, в т.ч. проектирование сети и эксплуатационных систем (B/OSS), процессы управления качеством (QoS) и уровнем обслуживания (SLA), формирование сервисного слоя и т.д. должны формироваться через призму*

понимания субъектом управления того, как данные аспекты влияют на конечную удовлетворенность и «опыт клиента». Однако, если углубиться в проблематику управления понятием «опыт клиента», становится очевидной центральная проблема – на сегодняшний день данное понятие является слабо формализованным и, как следствие, не может быть адекватным и измеримым объектом управления, а, тем более, не может являться критерием трансформации эксплуатационной среды оператора связи для соответствия упомянутым выше трендам современных инфокоммуникаций. Таким образом, возникает актуальность формирования моделей и методов оценки опыта клиентов для управления системами и сетью современного оператора связи.

**Степень разработанности темы.** В настоящее время существует ряд исследований тренда абонентского (клиентского) опыта в области телекоммуникаций. Международная организация TM Forum опубликовала ряд исследований, в которых формулируется видение данной концепции в современных телекоммуникациях и, в частности, модель оценки клиентского опыта применительно к структуре управления сетью и системами оператора связи. Близкими к теме работы являются публикации российских и зарубежных ученых: Б.С. Гольдштейна, А.Е. Кучерявого, А.Б. Гольдштейна, Е.А. Кучерявого К.Е. Самуйлова, М.О. Колбанева, А.А. Атцика, E. Gelenbe, H. Takagi, Nikos Vlassis.

Также исследованием концепции управления клиентским опытом традиционно занимаются крупные B/OSS вендоры (Netcracker, Nexign, НТЦ Аргус), а также поставщики CRM решений (Amdocs, SAP).

Следует отметить, что на отечественном рынке инфокоммуникаций данная концепция разработана слабо – отсутствует единое видение и стандарты, определяющие как должен оцениваться клиентский опыт, а также каким образом должна быть выстроена структура эксплуатационных процессов оператора связи для максимизации клиентского опыта.

**Объектом исследования** являются системы управления телекоммуникационной сетью.

**Предметом исследования** является комплекс моделей и методов управления абонентским опытом в телекоммуникационных сетях.

**Цель и задачи исследования.** *Цель исследования* заключается в улучшении показателей проектирования и эксплуатации телекоммуникационных сетей и систем.

Достижение цели исследования обеспечивается решением *следующей научной задачи* – разработка модели, методики и метода для управления

абонентским опытом с целью улучшения показателей проектирования и эксплуатации телекоммуникационных сетей и систем.

Данная *научная задача* подразделяется на следующие *три*:

1. Разработать функциональную и математическую модели оценки абонентского опыта в структуре B/OSS среды оператора связи.

2. Создать методику поддержки принятия управленческих решений на основе оценки причинно-следственной связи между абонентским опытом и показателями эффективности операционных процессов.

3. Разработать метод расчета персонализированных рекомендаций с использованием интегрального значения абонентского опыта.

**Научная новизна результатов исследования.** Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1. Разрабатываемые функциональная и математическая модели оценки абонентского опыта учитывают специфику систем и сетей отечественного оператора связи. В отличие от модели, описанной ранее организацией TM Forum, а также используемых на сети российских операторов, предложенная функциональная модель использует явно детерминированную структуру операционных данных, в том числе систему показателей проектирования и эксплуатации сетей и систем связи. В свою очередь, математическая модель использует оригинальный математический аппарат на основе нечетких когнитивных карт иерархической структуры, а также специфические методы фазификации.

2. Предложенная в исследовании методика впервые устанавливает объективное численное значение интегрального абонентского опыта (и его динамики) в зависимости от специфичных показателей проектирования и эксплуатации телекоммуникационных систем и сетей.

3. В отличие от существующих в отрасли методов формирования рекомендаций, предложенный метод разработан с учетом специфики эксплуатации систем и сети отечественных операторов связи. В частности, метод оперирует показателями эксплуатации сети связи, а также специфичными показателями функционирования и качества (KPI/KQI) систем операционного управления, которые не учитывались ранее в известных исследованиях рекомендательных моделей и методов.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

*Теоретическая значимость* работы заключается в следующих аспектах:

1. Введено понятие абонентского (клиентского) опыта в модель управления инфокоммуникациями. Установлена функциональная и

математическая зависимость между интегральным значением абонентского опыта и объективными показателями систем и сетей связи.

2. Предложен механизм статического анализа иерархической когнитивной карты для оценки изменения целевого фактора (абонентского опыта) при подаче возмущения на управляющие факторы (показатели проектирования и эксплуатации систем и сетей связи). Установлена процедура динамического анализа когнитивной модели для вычисления интегрального значения абонентского опыта в момент времени в зависимости от исторических данных и совокупности операционных показателей.

3. Разработан механизм установления подобия абонентских профилей с использованием аппарата статистической корреляции и процедура расчета вероятности интереса абонента к новому продукту с помощью непараметрической регрессии Надарайя–Ватсона.

В свою очередь, *практическая* значимость работы заключается в том, что:

1. Предложенная в диссертации модель оценки абонентского опыта позволяет выстраивать систему управления эксплуатационными показателями сетей и систем телекоммуникаций, таким образом, чтобы максимизировать значение интегрального абонентского опыта и, как следствие, лояльность и пожизненную ценность абонента.

2. Использование предложенной в диссертации методики позволяет снизить стоимость эксплуатационного управления за счет транспарентности причинно-следственной связи между значением интегрального абонентского опыта и показателями операционной эффективности сети и эксплуатационных систем.

3. Внедрение предложенного метода в операционную среду оператора связи позволяет повысить эффективность процессов удержания склонных к оттоку клиентов, увеличить средний показатель пожизненной ценности абонента, а также снизить затраты на процесс подключения абонента.

**Методология и методы исследования.** Для решения обозначенных выше задач используются методы нечеткой когнитивной логики, в частности когнитивные карты иерархической структуры, лингвистические переменные, а также методы статистического анализа.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Функциональная и математическая модели оценки абонентского опыта в структуре В/OSS среды оператора связи.

2. Методика поддержки принятия управленческих решений на основе оценки причинно-следственной связи между абонентским опытом и метриками

эффективности операционных процессов. Использование предлагаемой методики на сети оператора связи позволяет уменьшить уровень оттока абонентов до 4%, а также снизить затраты на проектирование систем эксплуатации сетей связи до 12%.

3. Метод расчета персонализированных рекомендаций для абонента оператора связи с использованием интегрального значения абонентского опыта. Метод позволяет снизить затраты на процесс подключения инфокоммуникационных услуг до 5%.

### **Степень достоверности и апробация результатов.**

*Достоверность результатов* работы подтверждается корректностью поставленной задачи, применения математического аппарата, формулировок выводов, адекватностью применяемых моделей оценки клиентского опыта и результатами статического и динамического моделирования.

*Апробация результатов исследования.* Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 24-й международной конференции «Distributed Computer and Communication Networks DCCN-21» (Москва, 2021), 17-й международной конференции «Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking NEW2AN» (Санкт-Петербург, 2017), на Международных научно-технических и научно-методических конференциях «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, 2017, 2018, 2019), а также на заседаниях кафедры Инфокоммуникационных систем СПбГУТ.

Результаты диссертации были использованы в разработке программных комплексов «Профит RA», программного-аппаратного комплекса «SIGURD-MIND», в учебном процессе СПбГУТ на кафедре инфокоммуникационных систем (ИКС), что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

**Публикации.** Всего соискателем по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, а также 2 статьи в изданиях, индексируемых SCOPUS и 4 в других журналах и материалах конференций.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.2.15: *разработка, и совершенствование методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций* (п. 1.); *разработка эффективных путей развития и совершенствования структуры, архитектуры сетей и систем телекоммуникаций*, включая входящие в них элементы (п. 4.); *исследование проблем построения, планирования и проектирования сетей пятого и*

последующих поколений как основы создания эффективной цифровой экономики и *разработка систем и устройств телекоммуникаций для этих сетей* (п. 7.); *разработка научно-технических основ создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования* (п. 18.)

**Личный вклад.** Все результаты, содержащиеся в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Самостоятельность подтверждается наличием единоличных публикаций. В работах, выполненных в соавторстве, личный вклад автора заключается в анализе существующих исследований, разработке функциональных и математических моделей, методик, методов, а также в проведении расчетов.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа содержит 175 страниц машинописного текста, 36 рисунков и 17 таблиц. Список литературы включает 113 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная новизна, рассмотрены теоретическая и практическая ценность исследования, приведены сведения об опубликованных работах и выступлениях на конференциях, представлены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** диссертации проанализированы тенденции развития операторских компаний при переходе к сетям post-NGN или FGN (Future Generation Networks), изменения их IT-ландшафта, радикальное расширение функционала систем B/OSS. Показано, что одновременно с техническим «первооружением» сетей связи существует тенденция на изменение специфики эксплуатационного управления в сторону «клиентоцентричности», которая становится одним из базовых принципов развития операторской компании в условиях современного высококонкурентного телекоммуникационного рынка. Данная тенденция доказывает актуальность основной цели и научной задачи диссертации, а именно улучшение показателей проектирования и эксплуатации телекоммуникационных сетей и систем посредством разработки и интеграции в эксплуатационную среду моделей, методики и метода управления абонентским опытом.

Далее исследуется понятие абонент с т.з. развития систем и сетей связи [1, 14]. Выделяется 3 эволюционных этапа: этап 1 – понятие абонент (Subscriber) в телефонных сетях общего пользования; этап 2 – от понятия «абонент» к понятию «клиент» в сетях связи NGN; этап 3 – современное состояние, клиент в сетях связи post-NGN или FGN.

Завершает первую главу исследование концепции управления клиентским опытом в современных инфокоммуникациях, в частности исследуются подходы и терминология, предложенные организацией TM Forum. В результате данного анализа вводятся 3 центральных понятия исследования:

1. Абонентский (клиентский) опыт – численная мера опыта и впечатлений клиента, получаемых им в процессе взаимодействия с оператором на протяжении всего жизненного цикла.

2. Жизненный цикл клиента – понятие, определяющее структуру отношений клиента с оператором с момента, когда клиент узнал об операторе, и до момента прекращения отношений между клиентом и оператором (например, этапы подключения сервиса, использования сервиса, биллинга, поддержки и т.д.)

3. Метрика абонентского опыта – система показателей, характеризующая функционирование сети связи, процессы эксплуатации систем и сетей связи,

процессы обслуживания абонентов (термин предложен организацией ТМ Forum).

**Во второй главе** работы исследуются подходы к оценке клиентского опыта в структуре эксплуатационного управления оператора связи [13]. По результатам исследования разрабатываются функциональная [6, 8] и математическая [9, 10] модели оценки клиентского опыта, позволяющие формализовать понятие клиентского опыта и установить его зависимость от показателей эксплуатации систем и сетей оператора связи.

*Функциональная модель* представлена структурой из 3 уровней (рисунок 1).

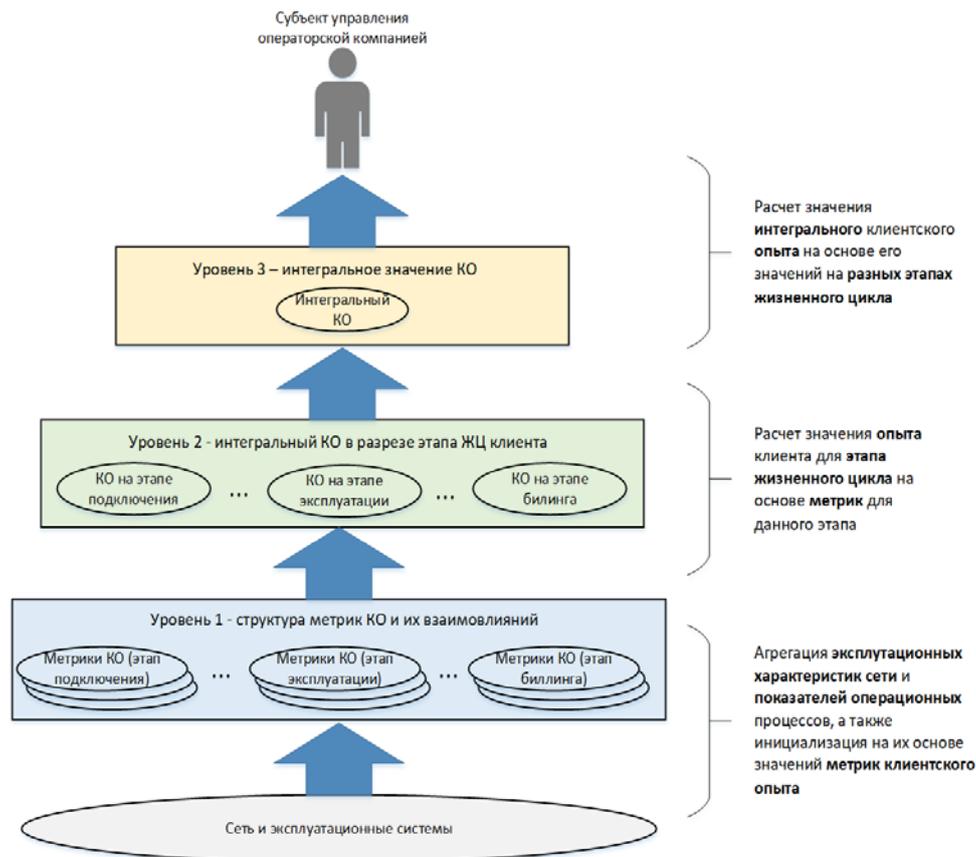


Рисунок 1 – Функциональная модель оценки клиентского опыта

*Математической интерпретацией* данной функциональной модели является аппарат нечетких когнитивных карт, где каждый уровень иерархии соответствует одному из уровней функциональной структуры (Рисунок 2).

Иерархическая когнитивная карта декомпозируется на две независимо вычисляемые (рисунок 2): когнитивная карта  $G_1$  моделирует оценку клиентского опыта для этапа жизненного цикла на основе метрик клиентского опыта; когнитивная карта  $G_2$  моделирует оценку интегрального клиентского опыта на основе его значений на разных этапах жизненного цикла.

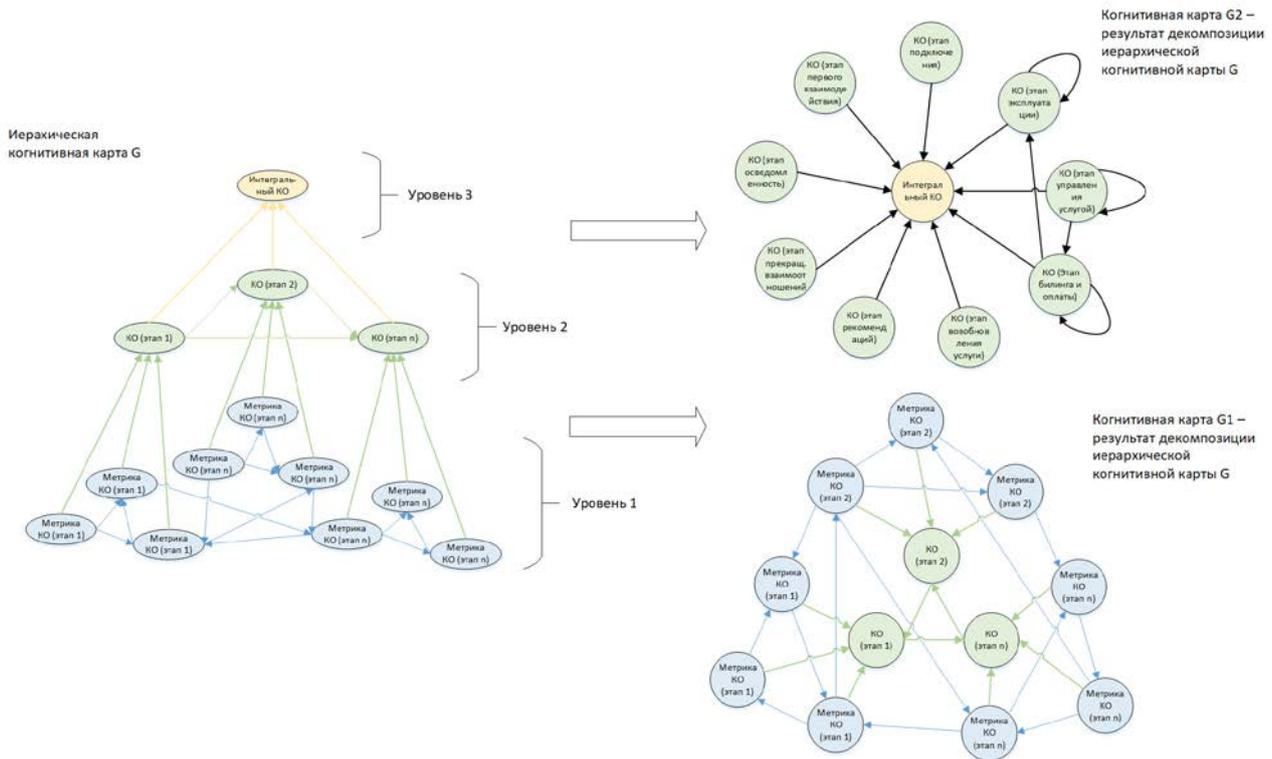


Рисунок 2 – Иерархическая когнитивной карты и ее декомпозиция

Математическим представлением когнитивных карт  $G_1$  и  $G_2$  будет являться векторный функциональный граф:

$$G = \langle V, E, A, W \rangle, \quad (3)$$

где  $V$  – вершины графа, моделирующие управляющие и целевые факторы модели;  $E$  – множество дуг графа между вершинами  $v_i, v_j$ , моделирующих направленность и вес взаимосвязи между факторами;  $A$  – множество значений вершин графа;  $W$  – множество значений степени влияния дуги  $e_{ij}$ .

Факторы когнитивной модели представляются в виде лингвистической переменной, которая определяется кортежем вида:

$$\langle a, T(a), U, G, M \rangle, \quad (4)$$

где  $a$  – название лингвистической переменной;  $T(a)$  – терм-множество переменной  $a$ ,  $U$  – область определения нечетких переменных относящихся к лингвистической переменной;  $G$  – синтаксическое правило, порождающее название переменной  $a$  из множества  $T(a)$ ;  $M$  – семантическое правило, которое для каждого нового значения определяет осмысленное содержание посредством формирования соответствующего нечеткого множества (путем использования функции  $G$ ).

Взаимовлияние между факторами ( $w_{ij}$ ) характеризуется направленностью и весом влияния и записывается в виде лингвистической переменной:

$$e = \langle w, S(w), Z, H, R \rangle, \quad (5)$$

где  $w$  – название лингвистической переменной,  $S(w)$  – терм-множество переменной  $u$ ,  $Z$  – область определения нечетких переменных относящихся к лингвистической переменной,  $H$  – синтаксическое правило, порождающее название переменной  $w$  из множества  $Z(w)$ .  $R$  – семантическое правило, которое для каждого нового значения определяет осмысленное содержание посредством формирования соответствующего нечеткого множества (путем использования функции  $H$ ).

Далее устанавливается формула вычисления клиентского опыта для этапа жизненного цикла на основе метрик клиентского опыта (т.е. исследуется когнитивная карта  $G_1$ ). Вычисление значение целевого фактора  $v_i$  (т.е. опыта клиента для этапа жизненного цикла) в момент времени  $t$  при условии, что на связанный с  $v_i$  фактор  $v_j$  подается возмущение (т.е. изменяется значение метрики клиентского опыта), рассчитывается по формуле:

$$a_{v_i}^t = f \left( \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n a_j^{t-1} w_{ji} + a_i^{t-1} \right), \quad (6)$$

где  $a_i^t$  – значение фактора  $v_i$  в момент времени  $t$ ;  $a_j^{t-1}$  – значение концепта  $v_j$  в момент времени  $t - 1$ ;  $w_{ji}$  – вес дуги  $e_{ji}$ , как параметр, определяющий степень влияния концепта  $v_j$  на  $v_i$ . Функция  $f$  – пороговая функция, определяющая выходное значение  $a_{v_i}^t$  в диапазоне  $[-1;1]$ , который будет соответствовать нечеткому множеству для лингвистической переменной.

В качестве пороговой функции  $f$  используется гиперболический тангенс.

$$f(x) = \tanh(x). \quad (7)$$

Следующим шагом производится аналогичное вычисление для когнитивной карты  $G_2$ , с помощью которого моделируется расчет интегрального клиентского опыта (целевого фактора) на основе значений опыта на этапах жизненного цикла (т.е. управляющих факторов):

$$a_i^t = f \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n a_j^{t-1} w_{ji} + w_{ii} a_i^{t-1} \right). \quad (8)$$

Ключевое отличие данной формулы от предыдущей – наличие переменной  $w_{ii}$ , моделирующей вес дуги  $e_{ii}$  как параметра, учитывающего предысторию, т.е. вклад значения концепта в момент  $t - 1$  (т.е. параметр моделирующий «накопление» опыта).

В заключении второй главы также рассматриваются формулы оценки косвенного и причинного эффектов влияния фактора  $v_i$  на фактор  $v_j$ .

**Во третьей главе** рассматриваются вопросы разработки методики, включающей в себя когнитивное моделирование клиентского опыта на сети отечественного оператора связи с использованием модели, разработанной во второй главе, а также статический и динамический анализ когнитивной карты [5].

*На первом этапе методики* производится построение когнитивных карт с использованием данных отечественного оператора связи федерального уровня. В рамках построения когнитивных карт решаются две ключевых задачи.

Первая задача – фазификация метрик клиентского опыта т.е. приведения к нечеткости численных значений метрик клиентского опыта (в т.ч. характеристик сети, показателей операционных процессов), полученных из эксплуатационных систем оператора связи к терминам лингвистической переменной. Для приведения метрик клиентского опыта к нечеткости вводится понятие термножества  $T$ , т.е. множества названий лингвистических значений переменной:  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ . Далее вводится понятие универсального множества  $U$ , которое является областью определения нечетких переменных, относящихся к лингвистической переменной:  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ . В свою очередь, нечеткое множество  $\tilde{t}_j$ , представляющее лингвистический терм  $t_j$  на универсальном множестве  $U$  описывается в виде:

$$\tilde{t}_j = \left( \frac{\mu_{t_j(u_1)}}{u_1}, \frac{\mu_{t_j(u_2)}}{u_2}, \dots, \frac{\mu_{t_j(u_n)}}{u_n} \right), \quad (9)$$

где функция принадлежности  $\mu_{t_j(u_i)}$ ,  $j = \overline{1, m}$  и  $i = \overline{1, n}$  решает задачу установления степени принадлежности элементов множества  $U$  к элементам множества  $T$ .

Соответствие  $t_j$  значению универсального множества  $U$  устанавливалось путем опроса 23 специалистов предметной области, в рамках которого каждый специалист указывал свое мнение о наличии у элементов  $u_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  свойств нечеткого множества  $\tilde{t}_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Оценки специалистов являются бинарными, где 1 указывает наличие у элемента  $u_i$  свойств нечеткого множества  $\tilde{t}_j$ . Степени принадлежности нечеткому множеству  $\tilde{t}_j$  рассчитываются по формуле:

$$\mu_{t_j(u_i)} = \frac{1}{K} \sum_{k=1, K} b_{j,i}^k, \quad (10)$$

где  $K$  – количество экспертов;  $b_{j,i}^k$  – мнение  $k$ -го эксперта о наличии у элемента  $u_i$  свойств нечеткого множества  $\tilde{t}_j$ . При этом  $j = \overline{1, m}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $k = \overline{1, K}$ .



На втором этапе методики проводится статический анализ разработанной когнитивной модели. Основой статического анализа является исследование косвенного и причинного эффекта влияния фактора  $v_i$  на фактор  $v_j$ . Если рассмотреть некоторый «путь» из фактора  $v_i$  к фактору  $v_j$  ( $v_i \rightarrow v_{i+1} \rightarrow v_{i+2} \rightarrow \dots \rightarrow v_{j-1} \rightarrow v_j$ ), то его можно определить упорядоченными индексами факторов:  $(i, i + 1, i + 2, \dots, j - 1, j)$ . Тогда, косвенный эффект влияния фактора  $v_i$  на фактор  $v_j$  будет определяться через путь  $(i, i + 1, i + 2, \dots, j - 1, j)$  и может быть записан как:

$$B_n(v_i, v_j) = \min w_{d,d+1}, \quad (12)$$

где  $B_{n1}$  – влияние фактора  $v_i$  на фактор  $v_j$  через некоторый путь  $n$  из множества путей  $N$ ;  $d$  и  $d + 1$  – смежные слева направо индексы факторов, через который строится путь из фактора  $v_i$  к фактору  $v_j$ . Операция  $\min$ , согласно ей определению в нечеткой когнитивной алгебре, эквивалента операции умножения.

Общий эффект влияния фактора  $v_i$  на фактор  $v_j$  определяется множеством путей  $N$ , существующих между данными факторами и записывается в виде:

$$C(v_i, v_j) = \max B_n(v_i, v_j), \quad (13)$$

где  $C(v_i, v_j)$  – общее влияние фактора  $v_i$  на фактор  $v_j$  через множество путей  $N$ ;  $B_n(v_i, v_j)$  – влияние фактора  $v_i$  на фактор  $v_j$  через путь  $n_1$  из множества путей  $N$ . Операция  $\max$ , согласно ей определению в нечеткой когнитивной алгебре, будет эквивалента операции сложения.

Результатом статического анализа является апробация разработанной модели в качестве инструмента поддержки принятия управленческих решений, в частности, для оценки взаимовлияния различных факторов и показателей эксплуатационной среды на значение клиентского опыта. Разработанная модель позволяет субъекту управления иметь возможность выявлять неочевидные показатели эксплуатационных процессов и характеристики сети, которые влияют на клиентский опыт, даже если данные показатели не связаны напрямую с взаимодействием с клиентом.

На третьем этапе методики проводится динамический анализ разработанной модели. Для получения прогноза изменения клиентского опыта на разных этапах жизненного цикла клиента используется математический аппарат импульсных процессов, прогнозирующий значения концептов в дискретные моменты времени. Для нечетких когнитивных карт предлагается следующая модификация модели импульсного процесса

$$a_i(t + 1) = S(a_i(t) + q_i(t + 1) + o_i(t + 1) + \sum_{j=1}^K T(w_{ij}p_j(t))), \quad (14)$$

где  $a_i(t + 1)$  – значение концепта  $v_i$  в момент времени  $t + 1$ ;  $a_i(t)$  – значение концепта  $v_i$  в момент времени  $t$ ;  $q_i(t + 1)$  – внешнее воздействие (т.е. подача внешнего возмущения) на концепт  $v_i$  в момент времени  $t + 1$ ;  $o_i(t + 1)$  – внешнее воздействие (т.е. подача внешнего возмущения) на концепт  $v_i$  в момент времени  $t + 1$ ;  $o_i(t + 1)$  – управляющее воздействие (т.е. воздействие связанных факторов) на концепт  $v_i$  в момент времени  $t + 1$ ;  $w_{ij}$  – вес влияния концепта  $v_j$  на  $v_i$ ;  $p_j(t)$  – изменение значения  $v_j$  в момент времени  $t$ ;  $T$  – операция Т-нормы (операция пересечения нечетких множества (конъюнкция в нечеткой логике));  $S$  – операция S-нормы (операция объединения нечетких множеств).

Наиболее ценным результатом динамического анализа модели является апробация возможности в момент времени рассчитывать значение интегрального клиентского опыта для конкретного клиента и построить персонализированное взаимодействие с клиентом в процессах обслуживания.

**В четвертой главе** исследуются три области применения разработанной модели и методики в процессах эксплуатации сети и систем оператора связи.

*Во-первых*, исследуется корреляция абонентского опыта с показателями оттока клиентов. По результатам проведенных расчетов значение корреляции Пирсона составило 0.791296, а рангового коэффициента корреляции Спирмена – 0.821345, т.е. выявлена фактически линейная зависимость между показателями абонентского опыта и оттоком клиентов, что говорит об актуальности использования разработанной модели в процессах управления оттоком клиентов.



Рисунок 4 – Корреляционное поле на основе значений факторов оттока клиента и интегрального клиентского опыта

Во-вторых, исследуется использование интегрального показателя абонентского опыта в процессах подключения ОТТ (Over the Top) сервисов: разрабатывается метод расчета персонализированных рекомендаций ОТТ сервисов абонентам оператора связи [3, 4]. На рисунке 4 представлена компонентная модель системы рекомендаций, определяющая контекст метода расчета рекомендаций.

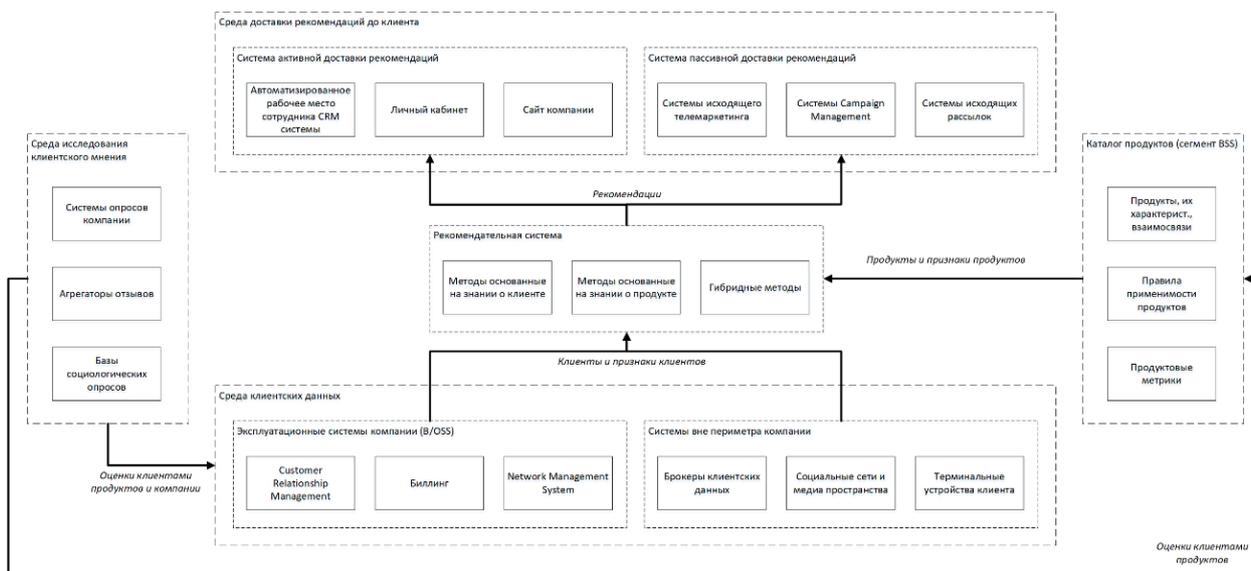


Рисунок 5 – Система рекомендаций телекоммуникационного провайдера

Метод формирования рекомендаций строится на гипотезе, что клиенты, схожие по совокупности характеристик, имеют одинаковые потребительские цели: если клиент  $x_n$  объявляет, что ему интересен продукт  $z_m$  (т.е. ставит высокую оценку), то клиентам схожим с клиентом  $x_n$  по совокупности характеристик у будет интересен продукт  $z_m$ ; наличие у клиента  $x_n$  продукта  $z_m$  говорит о том, что клиентам схожим с клиентом  $x_n$  по совокупности характеристик у имеют интерес к продукту  $z_m$ . Метод состоит из 6 шагов.

*Шаг 1 – первичная обработка исходных данных, преобразование исходных данных в векторное представление и нормализация векторов.*

Разрабатываемой метод работает с исходными данными в виде трех матриц: «клиент-характеристика клиента» (матрица  $A$ ), «клиент-продукт клиента» (матрица  $B$ ), «клиент-оценка клиентом продукта» (матрица  $C$ ). Каждая строка в каждой из матриц представляет собой вектор, над которыми будут производиться все дальнейшие операции. Для дальнейшей работы вектора нормализуются.

*Шаг 2 – для каждого клиента  $x_n$  определяется мера схожести с остальными клиентами множества  $X$ .*

Пример расчета меры близости для клиентов  $x_1$  и  $x_2$ :

$$\text{similarity}(x_1, x_2) = \frac{\sum_{y_i \in Y} (a_{x_1 y_i} - \bar{a}_{x_1})(a_{x_2 y_i} - \bar{a}_{x_2})}{\sqrt{\sum_{y_i \in Y} (a_{x_1 y_i} - \bar{a}_{x_1})^2 * \sum_{y_i \in Y} (a_{x_2 y_i} - \bar{a}_{x_2})^2}}, \quad (15)$$

где,  $Y$  – множество характеристик как клиента  $x_1$  так и клиента  $x_2$ , а  $\bar{a}_{x_1}$  и  $\bar{a}_{x_2}$  – средние значения всех компонентов векторов  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ . Подобным образом определяем меру близости для всех векторов.

*Шаг 3 – определение множества клиентов  $K$ , включающее в себя клиентов наиболее схожих с клиентом  $x_n$ , с целью повышения точности предсказания «интереса» клиента и для сокращения количества вычислений.*

Устанавливается значение константы  $k$  в качестве порогового значения меры близости. Таким образом, клиенты, меры близости которых превышает значение  $k$  войдут в множество клиентов  $K$ :

$$K_{x_1} = \{x_n \in X | \text{similarity}(x_1, x_n) \geq k\} \quad (16)$$

*Шаг 4 – предскажем потенциальную оценку продуктов клиентом  $x_n$  на основе оценок схожих клиентов множества  $K$  и выделение множества продуктов  $W$  с наивысшими оценками.*

Предсказание оценки, которую клиент  $x_n$  мог бы поставить продукту  $z_m$  можно вычислить на основе матрицы  $B$ , содержащей в себе оценки продуктов клиентами, и множества  $K$ , содержащего в себе совокупность клиентов схожих с клиентом  $x_n$ :

$$p_{x_1 z_m} = \bar{b}_{x_1} + \frac{\sum_{x \in K} (b_{x, z_m} - \bar{b}_x) * \text{similarity}(x_1, x)}{\sum_{x \in K} |\text{similarity}(x_1, x)|}, \quad (17)$$

где,  $p_{x_1 z_m}$  - предсказываемая оценка клиента для клиента  $x_1$  продукта  $z_m$ ,  $\bar{b}_{x_1}$  – средняя оценка клиентом  $x_1$  продуктов компании,  $b_{x, z_m}$  – оценка клиентом  $x$  продукта  $z_m$ ,  $\bar{b}_x$  – средняя оценка клиентом  $x$  продукта  $z_m$ ,  $\text{similarity}(x_1, x)$  – мера близости клиента  $x_1$  с клиентом  $x$ . Т.е., предсказание оценки складывается из суммы средней оценки клиентом  $x_1$  продуктов компании и среднего отклонения оценок других клиентов из множества  $K$  для продукта  $z_m$  от их средней оценки ( $\bar{b}_x$ ) – чем ближе некоторый клиент  $x$ , принадлежащий множеству  $K$ , к клиенту  $x_1$ , тем сильнее вклад данного клиента в предсказание оценки.

Далее для рассматриваемого клиента  $x_1$  следует отфильтровать значения предсказанной оценки продукта  $p_{x_1 z_m}$ , с целью сформировать множество продуктов  $W_{x_1}$ , которое включает в себя продукты с наибольшей предсказываемой оценкой. По аналогии с предыдущим шагом используется константа  $w$ :

$$W_{x_1} = \{z_m \in P \mid p_{x_1 z_m} \geq w\}. \quad (18)$$

*Шаг 5 – расчет степени интереса клиента  $x_n$  к продуктам на основе наличия продуктов у схожих клиентов множества  $K$  и выделение множества продуктов  $V$  с наибольшей степенью интереса.*

Предсказание степени интереса клиента  $x_n$  к продукту  $z_m$  вычисляется на основе матрицы  $C$ , функциональный смысл которой состоит в определении наличия у клиента  $x$  продукта  $z$ . Предсказываемая степень интереса определяется как сумма степеней интереса, взвешенная степенью похожести клиентов:

$$s_{x_1 z_m} = \frac{\sum_{x \in K} c_{x, z_m} * similarity(x_1, x)}{\sum_{x \in K} |similarity(x_1, x)|}, \quad (19)$$

где,  $s_{x_1 z_m}$  - предсказываемая степень интереса клиента  $x_1$  к продукту  $z_m$ ,  $c_{x, z_m}$  - степень интереса клиента  $x$  к продукту  $z_m$ ,  $similarity(x_1, x)$  – мера близости клиента  $x_1$  с клиентом  $x$ . Т.е., предсказание степени интереса будет зависеть от степени близости клиентов: чем ближе некоторый клиент  $x$ , принадлежащий множеству  $K$ , к клиенту  $x_1$ , тем сильнее вклад данного клиента в предсказание степени интереса клиента  $x_1$ .

Аналогично предыдущим шагам формируем множество продуктов  $V_{x_1}$ , включающее в себя продукты с наибольшей степенью интереса для клиента  $x_1$ :

$$V_{x_1} = \{z_m \in S \mid s_{x_1 z_m} \geq v\}, \quad (20)$$

*Шаг 6 – на основе множеств  $W$  и  $V$  сформируем окончательное множество  $U$ , включающее в себя совокупность продуктов, наиболее релевантных для формирования персонализированных рекомендаций клиенту  $x_n$ .*

Конечное множество  $U$  моделирующее список ОТТ сервисов, рекомендуемых клиенту  $x_1$  будет определяться как объединение множества  $W_{x_1}$  и  $V_{x_1}$ :

$$U_{x_1} = W_{x_1} \cup V_{x_1}. \quad (21)$$

Таким образом, предложенный метод позволяет сформировать множество продуктов, наиболее релевантных потребностям конкретного клиента, и, как следствие, снизить затраты на процесс подключения ОТТ сервисов (в т.ч. затраты на формирование и доставку предложений ОТТ сервисов).

*В завершении (третья область исследования) показано улучшение ключевого показателя, заявленного в цели диссертационной работы, а именно снижение стоимости проектирования эксплуатационных систем оператора связи (В/OSS). Данное улучшение экспериментально подтверждено в объеме 11,9% в рамках проекта внедрения В/OSS на сети федерального оператора связи.*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основываясь на выводах, полученных в главе 4, следует констатировать положительную динамику показателей проектирования и эксплуатации систем и сетей связи при интеграции научно-методического аппарата (модели, методики и метода) управления клиентским опытом в эксплуатационную среду оператора связи, что, в общем случае, является целью и научной задачей исследования. Решение научной задачи достигнуто следующими решенными подзадачами:

1. Введено, обосновано и формализовано понятие абонентского опыта, как инструмент повышения эффективности эксплуатационного управления.

2. Сформулирована функциональная модель оценки абонентского опыта в структуре эксплуатационной среды оператора связи (B/OSS).

3. Найдена математическая зависимость между значением абонентского опыта и объективными показателями эффективности операционного управления.

4. Создана методика поддержки принятия управленческих решений на основе оценки причинно-следственной связи между абонентским опытом и эксплуатационными показателями систем и сетей связи.

5. Предложен алгоритм процедуры фазификации, т.е. приведения к нечеткости метрик клиентского опыта.

6. Сформулирован механизм статического анализа иерархической когнитивной карты для оценки зависимости целевого фактора (абонентского опыта) от управляющих (показателей эксплуатационных процессов).

7. Установлена процедура динамического анализа когнитивной модели для вычисления интегрального значения абонентского опыта в момент времени в зависимости от исторических данных и совокупности операционных показателей.

8. Разработан метод расчета персонализированных рекомендаций с использованием интегрального значения абонентского опыта.

9. Сформулированы механизм установления подобия абонентских профилей с использованием аппарата статистической корреляции и разработана процедура расчета вероятности интереса абонента к новому продукту.

Решение обозначенных выше задач позволило получить следующие количественные результаты на сети макрорегионального филиала одного из российских операторов связи:

1. Снижение оттока клиентов на 3,11% за счет внедрения в процессы обслуживания абонентов модели оценки абонентского опыта, а также метода динамического анализа клиентского опыта.

2. Снижение операционных затрат на проектирование средств автоматизации эксплуатационных процессов на 11,9% за счет использования метода статического анализа взаимосвязей показателей эксплуатации сети и клиентского опыта.

3. Снижение стоимости процессов подключения инфокоммуникационных услуг (в частности ОТТ сервисов) в среднем на 4,7% за счет синергии модели оценки клиентского опыта и метода расчета персонализированных рекомендаций, внедренных в BSS среду отечественного оператора связи.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованный ВАК, по искомой научной специальности (2.2.15.):**

1. Акишин В.А. Белоцерковская И.С. Клиентский опыт в телекоммуникационных сетях // Вестник связи. 2018. № 03. С. 20-23.

2. Акишин В.А., Гольдштейн А.Б. Возможные подходы к построению модели сущностей для эксплуатации IoT в OSS/BSS // Технологии и средства связи. 2017. № 1. С. 20-22.

3. Акишин В.А. Гольдштейн Б.С. Рекомендательные системы для бизнеса провайдера телекоммуникационных услуг // Вестник связи. 2020. № 08. С. 3-11.

4. Акишин В.А. Метод расчета персонализированных рекомендаций клиенту оператора связи // Вестник связи. 2022. № 12. С. 4-8.

5. Акишин В.А. Методика поддержки принятия решений на основе оценки клиентского опыта и показателей эффективности оператора связи // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 4. С.75-81.

6. Акишин В.А. Пользовательский опыт в когнитивной модели управления сетью оператора связи // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. 2017. № 10. С. 10-16.

7. Акишин В.А., Кисляков С.В., Феноменов М.А. Функциональная архитектура СЕМ-комплекса для внедрения в IT-ландшафт крупного оператора связи // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. 2016. № 10. С. 12-17.

**Публикации в изданиях, включенных в международные базы цитирования:**

8. Akishin V.A., Goldstein A.B., Goldstein B.S. Cognitive models for access network management // In: Galinina, O., Andreev, S., Balandin, S., Koucheryavy, Y. (eds) Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems.

ruSMART NsCC NEW2AN 2017 2017 2017. Lecture Notes in Computer Science(), vol 10531. Springer, Cham. pp 375–381

9. Akishin V.A., Kislyakov S.V., Sotnikov A.D. Customer experience model for communication service provider digital twin // In: Vishnevskiy, V.M., Samouylov, K.E., Kozyrev, D.V. (eds) Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1552. Springer, Cham. pp 148–160.

**Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованный ВАК не по искомой научной специальности:**

10. Акишин В.А. Когнитивная модель оценки клиентского опыта в структуре инфокоммуникационного ландшафта оператора связи // Проблемы информатики. 2021, № 3, с.34-55.

**Публикации в других изданиях и сборниках научных конференций:**

11. Акишин В.А., Кисляков С.В., Тереньтев Д.А. Имплементация элементов *iot* в механизмы измерения пользовательского опыта клиента оператора связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2019). Сборник научных статей VIII Международной научно-технической и научно-методической конференции. 2019. С. 37-41.

12. Акишин В.А. Клиентский опыт в когнитивной модели управления сетью оператора связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2017). Сборник научных статей VI Международной научно-технической и научно-методической конференции. 2017. С. 20-24.

13. Акишин В.А., Кормановская А.А. Методы оценки клиентского опыта на различных этапах жизненного цикла клиента // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018). VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сборник научных статей. 2018. С. 42-47.

14. Акишин В.А. Эволюция управления взаимодействием с клиентами в телекоммуникационной специфике // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018). VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. Сборник научных статей. 2018. С. 38-42.