

На правах рукописи

Феноменов Михаил Александрович

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
РЕСУРСОВ ОПЕРАТОРА СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К СЕТЯМ
5G/6G**

2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2025

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: **Колбанёв Михаил Олегович**,
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный экономический
университет»,
кафедра информационных систем и технологий,
профессор кафедры

Степанов Михаил Сергеевич,
кандидат технических наук доцент,
Ордена Трудового Красного Знамени федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Московский
технический университет связи и информатики»,
кафедра сетей связи и систем коммутации,
доцент кафедры

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

Защита состоится 25 декабря 2025 года в 14:00 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.

Автореферат разослан 24 октября 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 55.2.004.01,
канд. техн. наук, доцент

А.Г. Владыко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Лавинообразный рост всевозможных сервисов, облачных, туманных и т.п., в условиях перехода к сетям 5G\6G с технологиями SDN/NFV, а также своеобразные требования архитектур IoT и PoT, привели к резкому усложнению систем эксплуатационного управления OSS/BSS (Operation Support System/Business Support System) и всего IT-ландшафта инфокоммуникационных Операторов.

Одной из важных задач в границах, проводимых ведущей международной организацией TMForum работ, является распределение эксплуатационных ресурсов, которая является неотъемлемой частью OSS. В рамках данной задачи должно быть обеспечено управление различными эксплуатационными ресурсами: совокупностью систем управления, инженерным персоналом, ЗИП, инструментами, плюс сейчас сюда же можно отнести и так называемые «беспилотные системы» (квадрокоптеры и т.п.). Появление новых технологий, современных сервисов телемедицины, интернета вещей, облачных сервисов и так далее потребовало от систем распределения эксплуатационных ресурсов оперирования несоизмеримо большими наборами выполняемых функций, учета разнообразного применения ресурсов, сокращения издержек на их содержание и при этом соблюдения ключевых показателей эффективности (KPI).

В связи с вышеизложенным появилась потребность научного анализа методов и моделей распределения эксплуатационных ресурсов оператора связи, а также потребность решения методологических и практических вопросов построения эффективной сетевой архитектуры ИТ-систем для поддержания эксплуатационных процессов на сети. Одной из составных частей этого анализа является настоящая диссертация, что и делает данную работу безусловно актуальной.

Степень разработанности темы. Подходы и теории управления эксплуатацией сетей связи начинались еще с эксплуатации ТфОП, что получило свое отражение во множестве работ, среди которых хотелось бы выделить полученные в самом конце XX и в первой декаде XXI веков результаты наших ученых – сотрудников ЛОНИИС Л.Б. Маримонта, В.Л. Морева, Я.Г. Кобленца, работы Я.С. Дымарского, А.А. Костина, А.Я. Шалаева, выполненные также в Санкт-Петербурге, но уже в СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, работы московского профессора В. А. Нетеса, исследования, проводимые в МТУСИ, ИППИ РАН, РУДН, ЦНИИС.

Имеется целый ряд более поздних и близких к тематике диссертации работ, среди которых следует выделить публикации научного консультанта этой диссертации проф. А.Е. Кучерявого, вышедшую уже в двух изданиях монографию проф. К.Е. Самуйлова и его коллег «Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении телекоммуникационными компаниями», также опубликованные недавно, статьи и защищенную в 2020 году докторскую диссертацию А.Б. Гольдштейна «Модели и методы управления инфокоммуникационными сетями».

Кроме того, в последнее время опубликованы сразу три англоязычные монографии, целиком посвященные процессам распределения эксплуатационных ресурсов.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются гетерогенные сети в условиях перехода к сетям 5G/6G. Предметом исследования являются модели и методы распределения эксплуатационных ресурсов сетей связи.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является разработка моделей и методов распределения эксплуатационных ресурсов сети связи, анализ вероятностно-временных характеристик и стратегий построения эффективной информационной системы в составе IT-ландшафта Оператора связи.

Указанная цель достигается путем решения в диссертационной работе следующих задач:

1. Проанализировать имеющиеся стандарты и рекомендации по построению систем эксплуатационного управления сетями связи.
2. Формализовать подходы к архитектуре системы распределения эксплуатационных ресурсов в IT-ландшафте сети связи поколения пост-NGN.
3. Разработать математическую модель и получить аналитические оценки вероятностно-временных характеристик (VBX) обработки запросов к эксплуатационным ресурсам.
4. Проанализировать имеющиеся работы по математическим моделям оптимизации порядка выполнения задач, составления расписаний, поиска кратчайшего пути на графе, статистическому анализу, математическим методам планирования и т.п.
5. Выполнить анализ VBX и рассчитать гарантированное допустимое время выполнения запросов, а также построить обучаемую нейронную сеть анализа отчетов в реальном времени.
6. Разработать рекомендации по синтезу эффективных стратегий организации распределения эксплуатационных ресурсов и провести их экспериментальную проверку.

В диссертации решается **научная задача**, исследования и разработки моделей, методов и стратегий для повышения эффективности распределения эксплуатационных ресурсов оператора связи.

Научная новизна. Научная новизна работы состоит в следующем:

- полученная новая трехфазная математическая модель, позволяющая осуществлять распределение эксплуатационных ресурсов с помощью вероятностно-временных характеристик;
- в рамках решения оптимизационной задачи, позволяющей рассчитать максимально эффективную стратегию WFM по заданным критериям, предложено применение метода множителей Лагранжа, что увеличило производительность использования эксплуатационных ресурсов на 21%;
- применение разработанного метода линейного программирования позволяет выбирать стратегии распределения эксплуатационных ресурсов на основе заданных

ограничений и с учётом ряда ключевых факторов и метрик эффективности, что повысило эффективность использования ресурсов на 17%.

Теоретическая и практическая значимость исследования. *Теоретическая значимость* диссертационной работы состоит в новых математических моделях ВВХ и оптимизации стратегий распределения, а также в научном анализе граничных условий, определяющих организацию выполнения задач в сети операторов связи. Определенную теоретическую значимость имеет также методика расчета, позволяющая оптимизировать порядок использования и определять необходимый состав эксплуатационных ресурсов для каждой задачи с учётом прогнозируемого объёма задач.

Практическая значимость работы состоит в инженерных методах тестирования информационной системы у операторов связи перспективных телекоммуникационных сетей 5G/6G, которые подтвердили ключевые тезисы, выносимые на защиту. Также практически подтверждена целесообразность применения предложенных методов и моделей в сетях пост-NGN, о чем составлены соответствующие акты внедрения.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в ООО «Сигурд-АйТи» для выбора оптимальной стратегии распределения персонала Call-центров с учетом норм трудового законодательства, выходных дней и отпусков и позволяет составлять расписания, графики смен, недельные и месячные планы работ. Также результаты работы были использованы в СПб ГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, при проведении лабораторных и практических занятий со студентами и чтения лекций по курсам «Системы управления инфокоммуникациями» и «Технологические принципы организации инфокоммуникационных услуг». У оператора связи ООО «Комфортел» в результате внедрения в производственную деятельность предложенных моделей и методов смогли оптимизировать затраты на эксплуатационную поддержку сетевой и ИТ инфраструктуры.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных в диссертации задач использовались методы теории телетрафика и теории массового обслуживания, теории вероятностей, теории оптимизации, а также математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Аналитическая трехфазная модель распределения эксплуатационных ресурсов телекоммуникационного оператора мультисервисных сетей, включающая фазы планирования задач, выполнения задач, анализа и сохранение в OSS/BSS результатов задач, отличающаяся тем, что позволяет вести расчеты на основе вероятностно-временные характеристик выполнения задач для разных эксплуатационных, пуско-наладочных и профилактических задач на сети.

2. Метод оптимизации выбора стратегии WFM, учитывающий граничное время выполнения задач, вероятность нарушения сроков выполнения задач, интенсивность поступления запросов, интенсивность обслуживания и с учетом стоимости единицы времени для эксплуатационных ресурсов разных предназначений и возможностей,

позволяющий ускорить до 21% время выполнения задач без увеличения эксплуатационных ресурсов.

3. Метод линейного программирования, отличающийся тем, что детализирует выбор подхода распределения эксплуатационных ресурсов с учетом граничных условий, заданных технической политикой оператора связи, для составления планов работ, что позволило сократить объем затрачиваемых эксплуатационных ресурсов до 17% не снижая SLA.

Степень достоверности и апробация результатов. *Достоверность* основных результатов диссертации подтверждается корректным применением математического аппарата, обсуждением результатов диссертационной работы на международных конференциях и семинарах, публикацией основных результатов диссертации в ведущих рецензируемых ВАК журналах.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: 27-ой международной конференции «International conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications DCCN» (Москва, 23-27 сентября 2024); конференциях «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» АПИНО 2023, 2024, 2025 (Санкт-Петербург); Трудах учебных заведений связи. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021; на семинарах кафедры инфокоммуникационных систем СПбГУТ.

Публикации по теме диссертации. Всего по теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 11 в рецензируемых научных изданиях (перечень ВАК), 4 в других изданиях и материалах конференции.

Соответствие специальности. Содержание диссертационной работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций: 2, 16, 18 и 19.

п.2 – Исследование новых технических, технологических и программных решений, позволяющих повысить эффективность развития цифровых сетей, систем и устройств телекоммуникаций.

п.16 – Исследование, совершенствование и разработка новых принципов организации баз данных и знаний, а также методов их проектирования в сетях, системах и устройствах телекоммуникаций.

п.18 – Разработка научно-технических основ создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования.

п.19 – Разработка методов эффективного использования сетей, систем и устройств телекоммуникаций в различных отраслях народного хозяйства в условиях цифровой экономики.

Личный вклад автора. Все результаты теоретических и экспериментальных исследований получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит значимая или основная роль при постановке и решении задач, а также при обобщении выведенных результатов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников и двух приложений. Полный объем диссертации составляет 160 страниц. Работа содержит

28 рисунков, 5 таблиц и список из 144 литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана значимость и актуальность темы исследования и определены её ключевые особенности, сформулированы цели и задачи работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту, определена научная новизна результатов, указаны теоретическая и практическая ценность результатов, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе произведен анализ эволюции систем эксплуатации сетей связи и исследований, проводимых в ITU-T и TMF. Рассмотрены подсистемы NGOSS системы с точки зрения того, из каких классов решений они состоят: Mediation Device (уровень сопряжения), Inventory Management (технический учет), Performance Management (управление производительностью), Fault Management & Trouble Ticketing (регистрация и управление неисправностями), Order Management (управление заказами), Fraud Management (борьба с мошенничеством), SLA management (управление уровнем обслуживания), Network & Service Provisioning Management (управление планированием и развитием услуг), WorkForce Management (управление персоналом). Также рассмотрена архитектура ODA, которая является эволюцией архитектур NGOSS/Frameworkx.

Рассмотрена эволюция научных моделей и методов систем распределения ресурсов, ведущих свою историю еще со строительства пирамид Хеопса. В последнее годы появилось немало научных трудов, которые рассматривали различные аспекты распределения эксплуатационных ресурсов. Прежде всего это развитие аутсорсинга в самых разных сферах, а также «уберизация» (от слова Uber) управления различными ресурсами. Значительное влияние на данные процессы оказал COVID-19, когда потребовался расчет дистанционно выполняемых задач и необходимых ресурсов для них.

Выделены специфические особенности WFM в телекоммуникациях и, в первую очередь, принципиальное отличие WFM оператора связи от основной массы систем управления ресурсами в строительстве, промышленности, транспорте, торговле и др. Целевая функция WFM в телекоммуникациях, критерий его эффективности не в создании материальных ресурсов (производство), не в передвижении материальных продуктов (транспорт, логистика), не в распределении и перераспределении их (складирование, хранение, торговля), а обеспечении требуемого качества обслуживания QoS. Отмечено, что растущая «мультисервисность» сетей NGN и пост-NGN, расширение перечня всевозможных OTT-сервисов, Интернет вещей и др. радикально расширили нормативные и договорные обязательства по эксплуатации таких сетей, усилили требования к управлению рисками при их функционировании, а, следовательно, потребовали более продвинутых современных моделей и методов распределения эксплуатационных ресурсов.

В связи с этим возникла потребность научного анализа моделей и методов распределения эксплуатационных ресурсов телекоммуникационной компании,

решения методологических и технических вопросов построения эффективной архитектуры ИТ-системы.

Во второй главе выполнен переход от качественных рассуждений к более строгому и формализованному анализу.

Традиционно основными вероятностно-временными характеристиками эксплуатационного управления сетей связи считались следующие две: интенсивность потока заявок на эксплуатацию сети λ и интенсивность обслуживания этих заявок μ .

Время обслуживания одной заявки $T_{об}$ – случайная величина, которая может изменяться в большом диапазоне. Как и любая другая случайная величина, $T_{об}$ полностью характеризуется законом распределения. По умолчанию, чаще всего рассматривают экспоненциальный закон распределение времени обслуживания. В этом случае вероятность события, что время обслуживания продлится не более чем t , равна

$$P_{об}(t) = 1 - e^{-\mu t}.$$

Расчет объема эксплуатационных ресурсов и организация работ подразделений, задействованных в эксплуатации, (определение величины μ) осуществлялось для определенных интервалов времени эксплуатации сети связи, в пределах которого можно принять параметр потока λ постоянным. На рис.1 показана непрерывная функция потока $\lambda(t) \geq 0$, среднее значение которой можно считать постоянным на достаточно больших отрезках временной оси $[t_n, t_{n+1}]$.

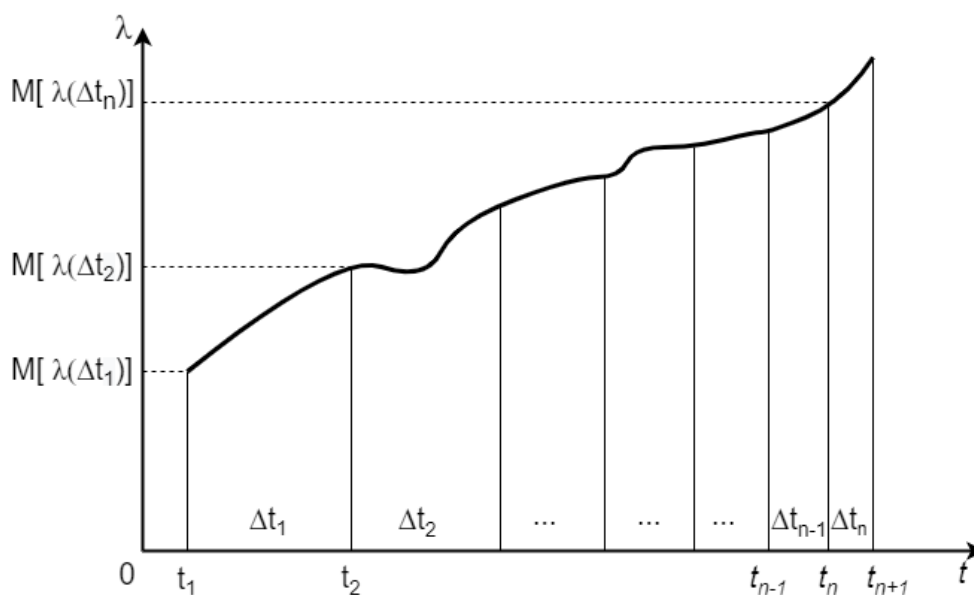


Рис. 1. Разбиение функции потока требований на интервалы

Проблема заключается в величине этих отрезков, т.е. длительности интервалов $[t_n, t_{n+1}]$, на которых значения $\lambda(t)$ можно считать фиксированными. В давние времена, в эпоху телефонной сети общего пользования (ТфОП), когда срок жизни АТС рассчитывался на 20+лет, этот период составлял 10 - 15 лет исходя из плана развития сети связи. С появлением мобильной связи и dial-up доступа в Интернет этот интервал сократился до 2 – 3 лет, а в настоящее время при переходе к сетям 5G/6G он вообще измеряется не годами, а месяцами.

С математической точки зрения достоверность принимаемых решений определяется разностью между площадями криволинейных трапеций и площадью ступенчатой фигуры на рис. 1, что в свою очередь зависит от количества интервалов разбиения n , скорее всего, неравных отрезков. Очевидно, что отрезки разбиения выбираются такими, чтобы в пределах каждого отрезка можно было приближено считать параметр потока постоянным с учетом вида графика функции потока $\lambda(t)$ на рис.1.

В этих условиях теоретический основы предлагаемой модели базируются на следующих допущениях.

Производственный цикл состоит из трех фаз, представленных на рис. 2.

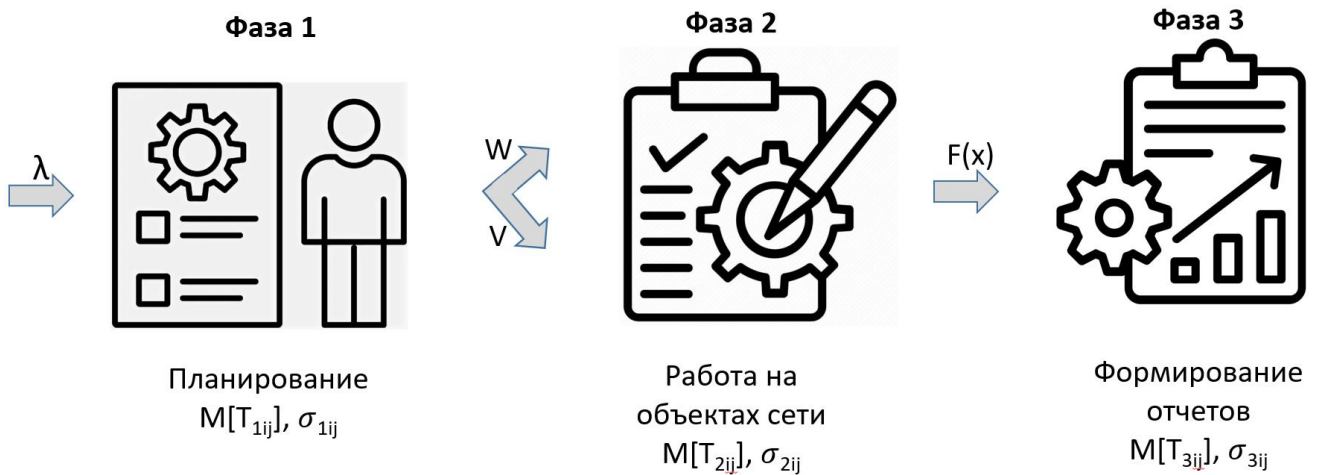


Рис. 2. Трехфазная модель WFM

Фазу 1 составляет планирование и подготовка в WFM-системе i -го варианта выполнения инженерным персоналом компании j -й задачи с математическим ожиданием времени выполнения $M[t_{1ij}]$ и среднеквадратическим отклонением этого времени σ_{1ij} .

Работы на объекте заказчика, включающие монтаж и настройку оборудования и/или эксплуатационно-техническое обслуживание, ремонт и т.п., выполняются на фазе 2 с вероятностно-временными характеристиками $M[t_{2ij}]$ и σ_{2ij} , соответственно.

Фаза 3 представляет собой формирование и анализ отчета о выполненных работах, внесение соответствующих данных в различные информационные системы, оценку работы инженерного персонала, использования различного инструментального оборудования, а также перевод оборудования объекта на гарантийное/постгарантийное обслуживание и т.п. Вероятностно-временные характеристики этой фазы обозначим через $M[t_{3ij}]$ и σ_{3ij} , соответственно.

Для нормального распределения вероятность того, что длительность цикла не превышает заданной величины τ выражается известным соотношением

$$P\{T_{ij} \leq \tau\} = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi\left(\frac{\tau - M[T_{ij}]}{\sigma_{ij}\sqrt{2}}\right) \right] \quad (1)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа

$$\phi(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x \exp(-t^2) dt \quad (2)$$

Но такой расчет для каждого варианта i весьма трудоемкий и исключает его выполнение в реальном масштабе времени, когда, например, задачами WFM занимается искусственный интеллект.

Поэтому предлагается сохранить анализ i -вариантов опираясь на математическое ожидание $M[T_{ji}]$, но вместо граничного времени его выполнения τ выбрать другую, меньшую величину, которую обозначим τ_g - гарантированного времени рабочего цикла.

Формула для τ_g находится из следующих соображений

$$P_g = P\{T_{ij} \leq \tau\} = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi\left(\frac{\tau - M[T_{ij}]}{\sigma_{ij}\sqrt{2}}\right) \right] \quad (3)$$

относительно τ_g получаем

$$\tau_g = M[T_{ji}] + \alpha \sigma_{ij} \quad (4)$$

Однако, как отмечалось выше в данной диссертационной работе, разнообразные высокотехнологичные задачи современной телекоммуникационной компании (апгрейд версий, ремонт и профилактика, равномерность частотного распределения, контроль параметров качества обслуживания, ввод новых сервисов и т.п.) могут иметь различные распределения времен исполнения даже с одним тем же математическим ожиданием $M[t_{ij}]$.

Поэтому в нашей задаче предпочтительнее предположение о нормальном распределении, т.к. оно дает больший запас прочности. Хотя в первую очередь все зависит от характера выполняемой работы. Длительность работ некоторых видов лучше аппроксимируется равномерным распределением. Тогда α_p определяется выражением (5)

$$\alpha_p = 2\sqrt{3(P_g - 0,5)} \quad (5)$$

Для равномерного распределения вероятность $P_p\{T_{ji} \leq \tau\} = 0,5$ при том же $\tau = M[T_{ji}]$, что делает его в этом смысле аналогичным нормальному распределению.

Перейдем к решению оптимизационной задачи. Как и в предыдущей задаче процесс поступления заявок на выполнение работ на сети оператора связи подчиняется распределению Пуассона. Пусть процесс обслуживания этих заявок также подчиняется экспоненциальному распределению. По-прежнему наша задача – поиск оптимального распределения часов использования эксплуатационных ресурсов и минимизация затрат на поддержку заданного SLA уровня обслуживания и развития сети связи. Для нахождения минимальных затрат здесь используем метод множителей Лагранжа. $H_i(s_i)$ - среднее время, затраченное i -м сотрудником на обслуживание заявок за рабочее время s_i

$$H_i(s_i) = \frac{1}{\mu_i - \frac{\lambda P_i}{s_i}} \quad (6)$$

W - ожидаемое число рабочих смен (часов, дней) s_i для обслуживания заявки

$$W = \sum_{i=1}^K P_i H_i(s_i) \quad (7)$$

V - среднее время обслуживания заявки Оператором связи

$$V = \sum_{i=1}^K \frac{P_i}{\mu_i} \quad (8)$$

Тогда относительную загрузку эксплуатационных ресурсов Оператора связи (определяющую в значительной мере эффективность системы WFM) можно оценить с помощью коэффициента загрузки ρ :

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^K \frac{P_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^K \frac{P_i s_i}{s_i \mu_i - \lambda P_i}} \quad (9)$$

Очевидно, что

$$0 < \rho < 1. \quad (10)$$

Если бы поток заявок был бы более упорядоченным, и если бы все эксплуатационные ресурсы на сети связи имели бы сравнимые параметры и стоили одинаково, то оптимизационная задача сводилась бы к нахождению максимально приближенного к 1 значения ρ .

Но, во-первых, при самом тщательном планировании работ по развитию сети, профилактическим и ремонтным работам, апгрейдам оборудования, заменам версии программного обеспечения и прочее, поток заявок все же носит случайный характер и полагается в настоящей работе соответствующим распределению Пуассона. Последнее делает невозможным близкое к 1 значение ρ , поэтому целесообразно иметь целевую величину ρ в диапазоне 0,65 - 0,95.

А во-вторых, в реальной жизни равенства в функциях, производительности и стоимости не бывает, и каждый эксплуатационный ресурс имеет свое значение стоимости единицы рабочего времени Ψ_i . Поэтому далее будем оперировать не с часами, а с суммарными расходами на персонал Ψ ($\min(\Psi)$ по всем S)

$$\min(S)\Psi = \sum_{i=1}^K \Psi_i s_i \quad (11)$$

Задача также решается методом множителей Лагранжа. Введем целевую функцию

$$L = \sum_{i=1}^K \Psi_i s_i - \Lambda \left(\rho - \frac{w}{v} \right) \quad (12)$$

Так как s^* зависит от множителя Лагранжа Λ^* , то значение Λ^* находится следующим образом:

$$\Lambda^* = \lambda \left(\sum_{i=1}^K \frac{P_i \sqrt{\Psi_i}}{\mu_i \sqrt{V} (1-\rho)} \right)^2 \quad (13)$$

Инженерные расчеты разработанной в диссертации модели WFM производились для некоторых IT-компаний, обладающих достаточно большим объемом эксплуатационных ресурсов и разнообразием их возможностей и сфер применения. Сводные результаты расчетов приведены в таблице.

λ , з\кв	5					
Λ^*	23650	42044	60544	76632	168177	378400
μ_1 , з\кв	1,4					
μ_2 , з\кв	1,1					
μ_3 , з\кв	1,6					
μ_4 , з\кв	0,9					
ρ_o	0.6	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9
V , кв	0.817					
s_1^* тыс.руб\кв	1,87	2,51	3,02	4,17	5,07	7,63
s_2^* тыс.руб\кв	1,30	1,77	2,15	2,49	3,65	5,54
s_3^* тыс.руб\кв	2,90	3,81	4,54	5,20	7,47	11,15
s_4^* тыс.руб\кв	5,06	6,96	8,47	9,83	14,54	22,08
W^* , кв	1,307	1,138	1,062	1,014	0,947	0,899
Ψ_1 , тыс.руб\кв	800					
Ψ_2 , тыс.руб\кв	600					
Ψ_3 , тыс.руб\кв	1200					
Ψ_4 , тыс.руб.\кв	500					
Ψ , тыс.руб.\кв	8266	11122	13389	15935	22470	33824

Таблица 1. Сводные результаты расчетов

Для фазы 3 процесса WFM наиболее подходящим представляется программная подсистема, входящая в состав WFM и базирующаяся на искусственной нейронной сети анализа отчетов S_{ao} .

В процессе работы сети анализа отчетов S_{ao} производится целенаправленное изменение параметров нейронов (весов входов w_i и порогов T_j), преследующее цель реализовать в процессе обучения выходную функцию интегральной оценки отчета о выполнении работы на объекте заказчика – функции $F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_k)$. Здесь x_i ($i = 1, 2, \dots, k$) представляют собой набор оценок выполнения того или иного KPI на основе представленного отчета.

Таким образом, представленные в этой главе модели и подходы позволяют средствам WFM телекоммуникационного оператора эффективно выполнять свои функции, разрабатывать и управлять рабочими графиками инженерных сотрудников компании, выездами на объекты заказчиков, распределением нагрузки на эксплуатационные ресурсы с заданной производительностью, вносить в модель любые сопутствующие события (техническое обслуживание, ремонт, отпуска, больничные и т.п.). Планировать и контролировать загруженность эксплуатационных ресурсов в режиме реального времени, формировать и хранить отчёты по различным показателям.

В третьей главе были рассмотрены модели планирования и составления расписания для сотрудников оператора связи.

Так как к персоналу, одному из эксплуатационных ресурсов любого оператора связи, предъявляются особые правила и требования, которые должны быть учтены при планировании и составлении расписаний, то в данной главе сосредоточимся на соответствующих моделях планирования и составления расписания.

Для расчетов за основу были взяты данные по персоналу одного из крупных операторов связи, рис.3.

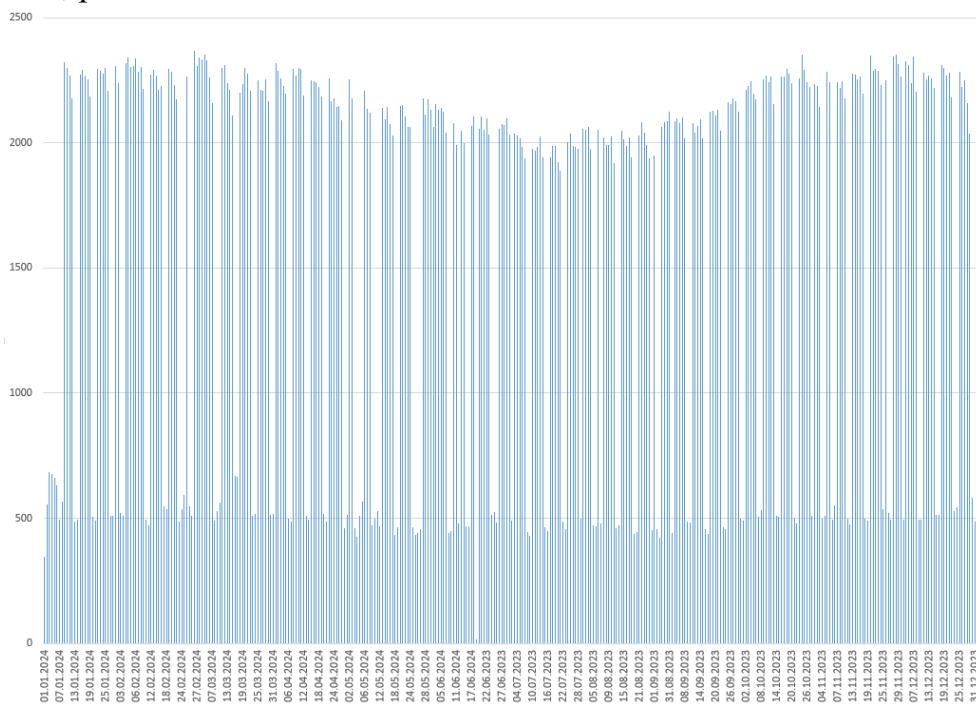


Рис. 3. Количество сотрудников по дням

Каждый день недели у Оператора должно присутствовать определенное (но не обязательно одинаковое) число сотрудников. Для этого разделим задачу на несколько составляющих. Вначале определим формулу для планирования выходных дней. Затем, с учетом требований выходных дней и количества сотрудников, составим рабочие смены. И зададим состав смен на указанный промежуток времени. Применим полученные расчёты на практической задаче по планированию сотрудников полевой эксплуатации оператора связи.

При этом для соблюдения КЗоТ и сокращения издержек по переработкам, зададим, что каждому сотруднику должно быть предоставлено k_1 из каждого k_2 выходных дня. При этом каждый сотрудник должен работать ровно 5 из 7 дней (в любой день с понедельника по воскресенье). И допускается работа сотрудника не более 6 дней подряд (если рассматривать две недели подряд).

Теперь опишем метод, который позволит составить расписание на одну неделю, но с условием, что после того, как расписание для недели i подготовлено, определяется расписание для недели $i + 1$. Так как необходимо учитывать влияние расписания i недели на составление расписания $i+1$ недели.

Теперь представим задачу составления расписания в виде следующих математических уравнений, где R это минимально необходимое количество сотрудников для выполнения требуемого объема задач.

$$R \geq \frac{d_2 \max(n_1, n_7)}{d_2 - d_1} \quad (14)$$

Второе уравнение определим исходя из существующего ограничения общей потребности в сотрудниках. Общее количество рабочих дней в неделю должно быть достаточным для выполнения общего количества еженедельных задач. А так как каждый сотрудник должен работать не более пяти дней в неделю, то получаем следующее неравенство:

$$R \geq \frac{1}{5} \sum_{j=1}^7 n_j \quad (15)$$

Третье же уравнение получим как ограничение на максимальную ежедневную потребность численности сотрудников

$$R \geq \max(n_1, \dots, n_7) \quad (16)$$

Исходя из все трех полученных уравнений, минимальная численность сотрудников должна быть не менее наибольшей из всех трех нижних границ данных уравнений.

Шаг 1. Запланировать выходные дни, для чего назначим первый выходной первым $R - n$ сотрудникам. Затем назначим второй выходной день вторым $R - n$ сотрудникам. Таким образом все лишние сотрудники у нас будут отправлены на выходные.

Шаг 2. Определить тип графика работы для каждого сотрудника на неделе 1.

Поскольку каждые выходные работают ровно n человек, то

$|K3| + |K4| = n$ (из-за выходных 1);

$|K2| + |K4| = n$ (из-за выходных 2).

Шаг 3. (Назначение пары выходных сотрудникам на неделе 1)

Каждый сотрудник $K4$ получает оба выходных дня, каждый сотрудник $K3$ получает от своей пары более ранний выходной (субботу), а его товарищ из $K2$ получает от той же пары более поздний выходной (воскресенье).

Шаг 4. Назначение пары выходных сотрудникам на неделе i

Для чего возьмем таблицу со следующими ежедневными заданиями.

Деньj	1	2	3	4	5	6	7
Дни недели	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС
Требования	3	3	3	3	2	1	0

Максимальное количество заданий на число сотрудников на выходные составляет $n=2$, и каждому человеку требуется 1 из 3 выходных, т.е. $d_1=1$ и $d_2=3$.

Применение следующего шага алгоритма дает следующий график.

	П	С	В	П	И	С	Ч	П	С	В	П	В	С	Ч	П	С	В	П	В	С	Ч	П	С
1	X	X	X						X	X							X					X	X
2			X					X	X	X						X	X						
3		X	X							X					X	X	X						X

График предусматривает шестидневную рабочую нагрузку для одного сотрудника каждую неделю.

Далее рассмотрена более общая задача планирования персонала и будем придерживаться несколько другого подхода. Рассматриваем цикл, который является фиксированным заранее. В определенных условиях цикл может составлять один день, в то время как в других это может быть неделя или несколько недель. В отличие от предыдущего раздела, каждая схема распределения работ в течение цикла имеет свою собственную стоимость, и цель состоит в том, чтобы минимизировать общую стоимость.

При условии

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

$$x_j \geq 0, \text{ для } j = 1, \dots, n,$$

(17)

с помощью $x_1, \dots, x_n$ целое число.

Известно, что такая задача целочисленного программирования в целом является NP-сложной, но частный случай, когда каждый столбец содержит непрерывный набор 1, прост. Показано, что решение в нашем случае задачи линейного программирования всегда является целочисленным.

Стандартной задачей планирования персонала является цикличность укомплектования персоналом. Это приводит к задаче целочисленного программирования со специальной структурой. Рассмотрим алгоритм, позволяющий минимизировать затраты при циклическом укомплектовании персоналом). Сформулированы две линейные программы LP^1 и LP^2 из ослабления исходной задачи путем добавления соответственно ограничений

$$x_1 + \dots + x_n = [x'_1 + \dots + x'_n]$$

и

(18)

$$x_1 + \dots + x_n = [x'_1 + \dots + x'_n].$$

LP² всегда будет оптимальное решение, которое является целочисленным.

Если LP¹ не имеет выполнимого решения, то решение LP² является оптимальным.

Если LP¹ имеет допустимое решение, то оно имеет оптимальное решение, которое является целочисленным, и решение исходной задачи является лучшим из решений LP¹ и LP².

Для того, чтобы сформулировать эту задачу планирования бригад в виде целочисленной программы введены соответствующие обозначения. Показано, что если

$$\sum_{i=1}^m \rho_i^1 a_{ij} \leq c_j, \text{ где } j = 1, \dots, n, \quad (19)$$

то для любого набора возможных цен строк ρ -1 соответствующий разделу J¹, затем решение J¹ является оптимальным.

В четвертой главе рассмотрены инженерные аспекты развития системы WFM для провайдеров цифровых сервисов.

Как уже было отмечено выше, бизнес-процессы внутри WFM нацелены на реализацию поддержки операционной деятельности как связанной с выездами (распределение ресурсов, монтаж и установка оборудования и сервисов, выявление и устранение проблем на сети), так и выполнением задач на местах (внутренние подразделения ИТ, например), как показано на рис. 4.

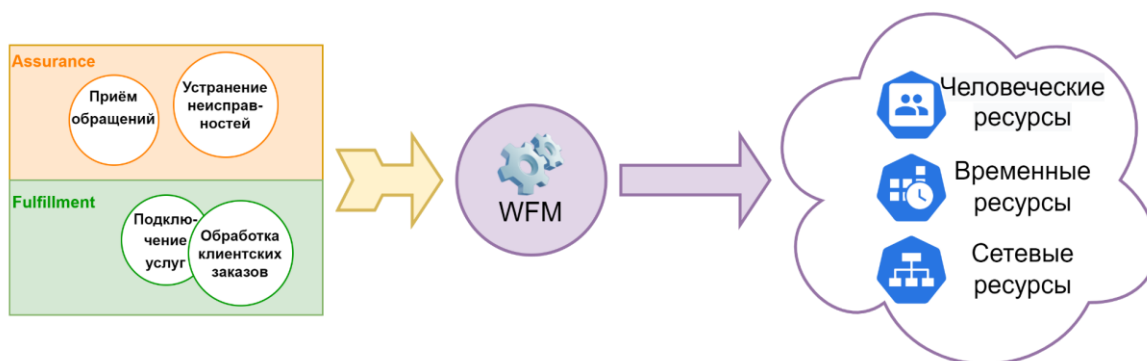


Рис. 4. Типовые бизнес-процессы, автоматизируемые системой WFM

Функциональность систем WFM согласно материалам глав 1 и 2 настоящей диссертации может быть традиционно представлена группировками бизнес-функций по Business Process Framework на карте eTOM (рис. 5):

- Workforce Management Reporting (Отчетность выполненных задачах) - позволяет получать детальные отчеты по различным аспектам управления задачами,

таким как использование ресурсов, продуктивность и оценка эффективности использования ресурсов.

- Workforce Schedule Management (Управление расписаниями) - помогает создавать гибкие графики работы, учитывая не только требования компании, но и пожелания сотрудников. Также включает возможности для оптимизации расписаний и управления отсутствиями сотрудников.

- Work Order Analysis (Анализ заказов на работы) - позволяет отслеживать и анализировать выполнение работ, а также эффективность рабочих процессов и затраты на выполнение задач.

- Work Order Assignments & Dispatch (Назначение и распределение заказов на работы) - обеспечивает автоматическую отправку заказов на работы требованиям к необходимым ресурсам, а также нужным сотрудникам, учитывая их навыки, опыт и доступность.

- Work Order Tracking Management (Управление отслеживанием заказов на работы) - помогает контролировать процесс выполнения заказов на работы, включая отслеживание статусов и своевременную информирование о ходе выполнения работ.

- Workforce Configuration and Setup (Настройка и конфигурирование системы) - обеспечивает настройку системы в соответствии с требованиями компании, включая настройку прав доступа, настройку параметров графиков работы и других настроек.

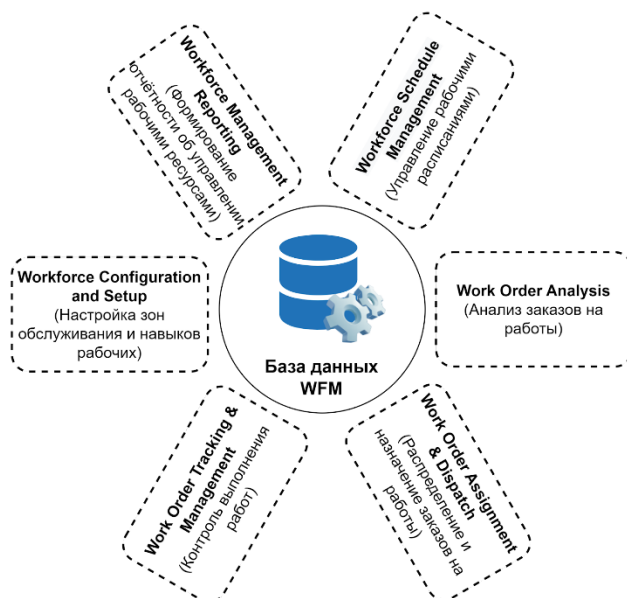


Рис. 5. Возможности системы Workforce Management.

После того, как была определена последовательность действий компонентов, необходимо определить, как они будут взаимодействовать между собой, и как будут происходить процессы между ними и блоками.

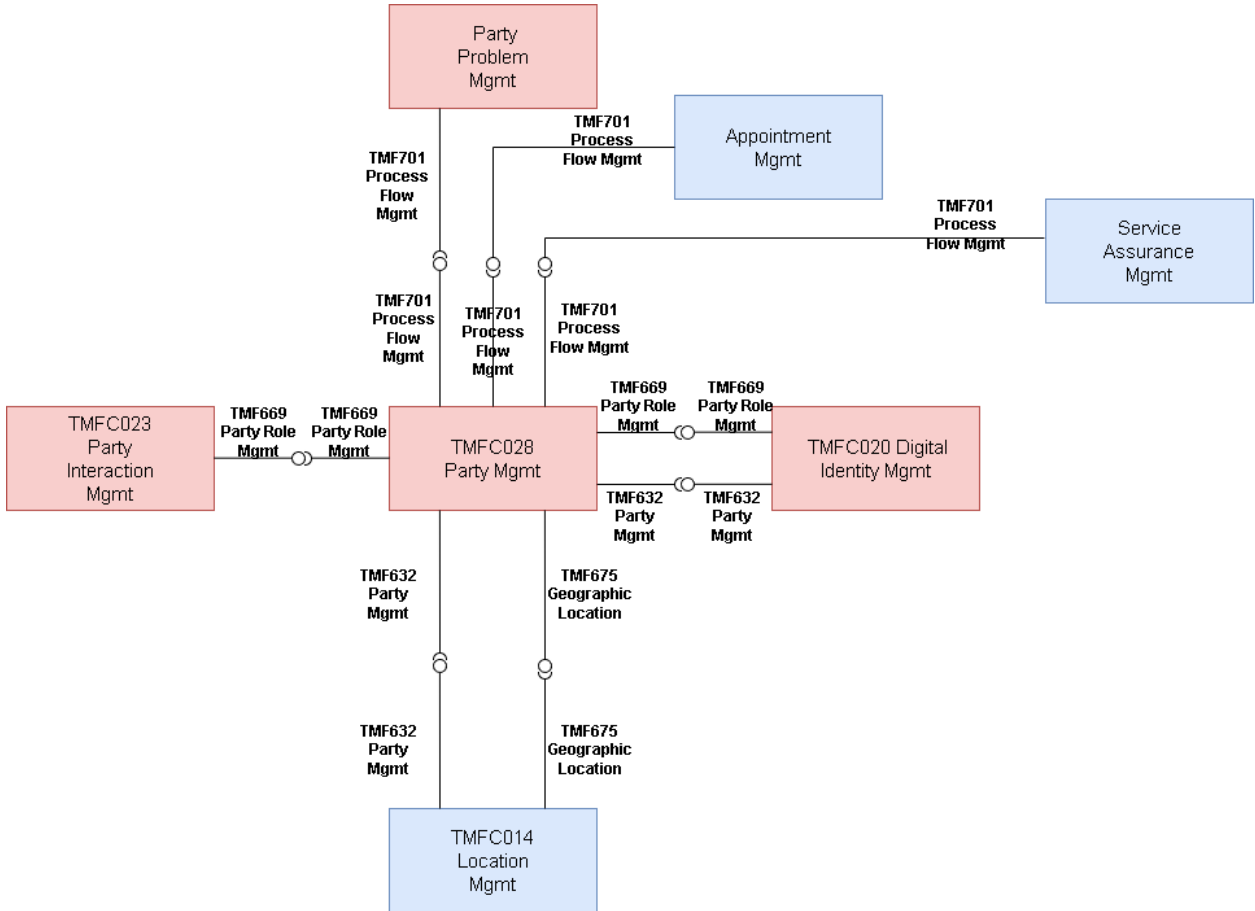


Рис. 6. Взаимодействие выделенных для системы WFM ODA-компонентов

Во всем мире затраты на фонд оплаты труда входят в Топ-3 основных расходов оператора связи. Мировой опыт показывает, что многие компании платят своим сотрудникам за то время, что они фактически не работали. С другой стороны, в этих компаниях возникали ситуации с недополученной прибылью, когда случился наплыв клиентов, и было не понятно, где найти дополнительных людей, чтобы обслужить всех.

Разработанная в диссертации система по распределению эксплуатационных ресурсов должна помочь сократить эту цифру на 10% и более. Примером может быть компания М.Видео, которая в 2015 году внедрила WFM-систему и гибкие графики для своих сотрудников. В результате было сэкономлено более 500 миллионов рублей в год. Дополнительным бонусом был тот факт, что снизилась текучка кадров и выросла эффективность персонала.

Внедрение WFM-решения позволяет решить эти проблемы, предоставить актуальную и аргументированную картину, а также сократить время, потраченное на составление расписания до минимума. По оценкам экспертов, общее количество человеко-часов, требуемое для управления расписанием, с помощью системы составляет максимум 4 часа в неделю. Сегодня в мире бизнеса побеждают те компании, которые не просто развивают свою сеть, предлагают новые услуги, а те, кто грамотно увеличивает собственную эффективность, сокращая затраты на эксплуатацию. Представленные в диссертации WFM-системы являются как раз таким

инструментом, позволяющим оптимизировать использование эксплуатационных ресурсов и значительно сократить их объем и расходы на них.

В заключении диссертации перечислены основные результаты диссертационной работы, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации получены следующие научные результаты:

1. Выполнен анализ эволюции подходов по управлению ресурсами на разных этапах индустриального развития цивилизации. Выявлены специфические особенности распределения эксплуатационных ресурсов в телекоммуникациях, обуславливающие принципиально новые подходы к математическим моделям этих систем на основе вероятностно-временных характеристик.

2. Разработана трехфазная математическая модель WFM, определены ключевые вероятностно-временные характеристики.

3. Получены аналитические выражения для расчета BBX при нормальном, равномерном и экспоненциальном распределениях времени выполнения работ.

4. Решена оптимизационная задача, позволяющая рассчитать максимально эффективную по заданным критериям стратегию WFM при существующих ограничениях.

5. Разработана модель нейронной сети для эффективной организации WFM на фазе 3 и проведено ее обучение.

6. Исследованы граничные условия, предъявляемые к оператору связи при организации работ.

7. Построена математическая модель и найдены аналитические выражения для составления расписания рабочих смен и расчета необходимого количества сотрудников в каждой смене, исходя из объема прогнозируемых задач.

8. Разработан метод линейного программирования для выбора подхода распределения эксплуатационных ресурсов с учетом граничных условий, заданных технической политикой оператора связи, для составления планов работ.

9. Проведено исследование архитектуры NGOSS/Framework/ODA в качестве основы интеграции WFM в IT-ландшафт телекоммуникационной компании.

10. Сформулированы принципы функциональной модели WFM, представлены формализованные описания основных этапов управления.

Результаты исследований были применены для построения систем WFM в составе OSS/BSS на нескольких предприятиях связи, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Результаты данного исследования рекомендуется использовать при разработке функционала систем WFM на сетях связи пятого и шестого поколений, где

используются различные технологии и поставщики оборудования, а также предоставляются различные сервисы.

Перспективы дальнейшего исследования - в анализе других методов оптимизации и сравнении их с предложенным методом множителей Лагранжа. В применении искусственного интеллекта не только на этапе анализа результатов выполнения работ, но и на этапе планирования и прогнозирования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Феноменов М.А. Методы теории хаоса для задач динамического управления контакт-центрами / А.Б. Гольдштейн, С.В. Кисляков, М.А. Феноменов // Труды учебных заведений связи. – 2021. – Том 7, № 2. – С. 18-23.
2. Феноменов М.А. Оптимизация стратегии WFM оператора сетей пятого поколения / М.А. Феноменов // Электросвязь. – 2024. – № 12-2. – С. 76-80.
3. Феноменов М.А. От NRI к единой базе данных о сетевых ресурсах ЕСС РФ / В.В. Никулин, М.А. Феноменов // Вестник связи. – 2022. – № 5. – С. 4-5.
4. Феноменов М.А. Открытая цифровая архитектура. Движение к 5G операторов / А.Б. Гольдштейн, С.В. Кисляков, М.А. Феноменов // Вестник связи. – 2023. – № 7. – С. 12-15.
5. Феноменов М.А. Система Аргус — отечественная OSS в стандартах TMF / А.Б. Гольдштейн, М.А. Феноменов // Вестник связи. – 2008. – № 9. – С. 30-32.
6. Феноменов М.А. Функциональная архитектура СЕМ-комплекса для внедрения в IT-ландшафт крупного оператора связи / В.А. Акишин, С.В. Кисляков, М.А. Феноменов // Т-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. – 2016. – № 10. – С. 12-16.
7. Феноменов М.А. Эволюция WFM оператора связи: задачи, подходы, модели / Б.С. Гольдштейн, М.А. Феноменов // Электросвязь. – 2024. – № 7. – С. 1-8.
8. Феноменов М.А. WFM как инструмент управления Employee Experience в контакт-центре / В.В. Никулин, Н.О. Петровский, М.А. Феноменов // Вестник связи. – 2020. – № 12. – С. 11-14.
9. Феноменов М.А. Модель WFM на основе Open Digital Architecture / А.Б. Гольдштейн, С.В. Кисляков, М.А. Феноменов // Вестник связи. – 2024. – № 6. – С. 1-8.
10. Феноменов М.А. Workforce Management: оптимизируем расписание / С.В. Кисляков, М.А. Феноменов // Технологии и средства связи. – 2015. – № 2. – С. 55-57.
11. Fenomenov M.A. Mathematical Models for Telecommunication Workforce Management / L.B. Goldstein, M.A. Fenomenov // Telecommunications and Transport. – 2023. – Vol. 17. No 1. – P. 42-48.

Публикации в других изданиях и сборниках научных трудов и конференций

12. Fenomenov M.A. 5G/6G Communication Networks Works Force Management / A.B. Goldstein, L. Goldstein, M.A. Fenomenov // DCCN 2024 23-27 September 2024. – P. 280-285.
13. Феноменов М.А. Применение комбинации методов машинного обучения для прогнозирования нагрузки на контакт-центр / А.Б. Гольдштейн, А.М. Белозор,

М.А. Феноменов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция; сб. науч. ст. в 4 т. – СПб. : СПбГУТ, 2021. – Т. 4. – С. 325-329.

14. Феноменов М.А. Управление транспортными сетями. Единое и программно-конфигурируемое? / А.А. Атцик, С. Бакин, М.А. Феноменов // Мобильные телекоммуникации. – 2014. – № 4-5. – С. 14.