

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИО ИМЕНИ М.И.КРИВОШЕЕВА»

На правах рукописи

Пальцин Денис Анатольевич

Разработка и применение статистических методов для повышения функциональной устойчивости перспективных сетей связи

Научная специальность: 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
старший научный сотрудник

А. Ю. Цым

Москва – 2026

Оглавление	2
Введение	4
Глава 1. Анализ отечественной и международной практики нормативного и технологического регулирования по обеспечению функциональной устойчивости сетей телекоммуникаций	11
§1.1. Общие тенденции инновационного развития сетей телекоммуникаций и вопросы обеспечения их функциональной устойчивости	11
§1.2. Обеспечение устойчивого функционирования телекоммуникационных сетей на основе резервирования участков	16
§1.3. Анализ нормативных документов по вопросам обеспечения функциональной устойчивости сетей телекоммуникаций	31
1.3.1. Анализ практики лицензионного регулирования сетевого взаимодействия для обеспечения функциональной устойчивости сетей связи	31
1.3.2. Анализ практики нормативного регулирования внедрения новых сервисов для обеспечения функциональной устойчивости сетей связи	33
Выводы по результатам исследований Главы 1	38
Глава 2. Разработка предложений по нормативному обеспечению эффективного функционирования сетей связи	40
§2.1. Обоснование перспективы реформирования системы лицензирования в сфере телекоммуникаций на основе трехзвенной структуры, как ключевого элемента внедрения перспективных технологий на сети электросвязи РФ	40
§2.2. Разработка требований к правилам лицензирования интернет-сервисов, осуществляющих голосовые выходы в сеть ТфОП	46
§2.3. Обоснование порядка технического обеспечения идентификации абонентов, инициирующих голосовые соединения в сети передачи данных	48
Выводы по результатам исследований Главы 2	56
Глава 3. Разработка методики расчёта норм аварийного резерва и нормативов ЗИП на ремонтно-эксплуатационное обслуживание	57

оборудования связи	
§3.1. Теоретическая модель оптимального комплектования ЗИП	57
§3.2 Разработка методики расчёта группового ЗИП	63
§3.3 Модель для расчёта оптимального состава одиночного ЗИП	74
§3.4 Разработка методики расчёта одиночного ЗИП	76
Выводы по результатам исследований Главы 3	80
Глава 4. Эксплуатационная надёжность сетей связи при окончании нормированного срока службы оптических кабелей	82
§4.1. Исследование временной стабильности коэффициента затухания, хроматической и поляризационно-модовой дисперсии оптического волокна	82
§4.2. Влияние временного фактора на эксплуатационную надёжность сетей связи	93
§4.3. Обоснование аварийного запаса волоконно-оптического кабеля при окончании гарантийного срока его эксплуатации.	103
§4.4. Разработка иерархической модели мониторинга функциональной устойчивости сетей телекоммуникаций на базе обобщённой комплексной мультиплективной оценки их технического состояния	109
§4.4.1. Концепция контроля технического состояния сетей связи	109
§4.4.2. Разработка методики контроля технического состояния средств и сетей связи	110
Выводы по результатам исследований Главы 4	120
Заключение	122
Список литературы	124
Список сокращений и условных обозначений	139
Приложение А. Документы, подтверждающие внедрение основных результатов диссертационной работы	141

Введение

Актуальность темы исследования. Современный этап развития информационной инфраструктуры страны характеризуется экспоненциальным ростом трафика, ускоренным расширением номенклатуры телекоммуникационных услуг, повышением требований к качеству и надёжности передачи больших объёмов информации.

Появление новых технологий привело к неизбежному функционированию и взаимодействию в единых сетях как новых, так и существующих технических средств. При этом возникают задачи обоснованного сохранения ресурсов всех функционирующих систем, в том числе за счёт продления их срока службы с использованием заменяемых изделий и принадлежностей, а также сохранения в эксплуатации работоспособных средств, даже в случае превышения их гарантийного эксплуатационного срока.

Решение этих задач создаёт предпосылки обеспечения функциональной устойчивости сетей связи, как в процессе модернизации, так и при текущей эксплуатации. Одной из задач является определение пригодности волоконно-оптических кабелей после окончания назначенного при изготовлении срока службы. Актуальность этой задачи связана со значительной протяжённостью линий связи на основе оптического волокна.

Объектом исследования является магистральная волоконно-оптическая сеть связи. **Предметом исследования** являются методы повышения функциональной устойчивости магистральной волоконно-оптической сети связи.

С учётом решаемых в диссертации задач тема исследований представляется своевременной и актуальной.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационное исследование соответствует следующим разделам паспорта научной специальности 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а именно: **пункту 2**

«Исследование новых технических, технологических и программных решений, позволяющих повысить эффективность развития цифровых сетей, систем и устройств телекоммуникаций»; пункту 4 «Разработка эффективных путей развития и совершенствования структуры, архитектуры сетей и систем телекоммуникаций, включая входящие в них элементы» и пункту 18 «Разработка научно-технических основ технологии создания сетей, систем и устройств телекоммуникаций и обеспечения их эффективного функционирования».

Степень разработанности темы исследования. Проблематика развития информационной инфраструктуры нашла отражение во многих работах отечественных и зарубежных учёных. В работах А.Е. Кучерявого [142], Б.С. Гольдштейна [142], Н.А. Соколова [143], В.А. Нетеса [13], В.А. Андреева [146], В.А. Бурдина [145], И.Г. Бакланова [144], А.Ю. Цыма [129] рассмотрены вопросы теории инфокоммуникаций и перспективные технологии сетей связи.

Значительный вклад в стандартизацию инновационных технологий внесли *Glaesemann, G.S.* [124], *Lian Ding* [106], *Kontava I.* [107], *Su-Van Chung* [106], *Otterstedt, K.B.* [38], *Esposito F.* [108].

В настоящее время представляются недостаточно исследованными вопросы обеспечения функциональной устойчивости современных телекоммуникационных сетей связи в части гармонизации систем разных поколений.

Целью диссертационной работы является разработка методов повышения функциональной устойчивости сетей связи, а именно: модифицированных методов расчёта доверительных интервалов срока службы сетевых элементов; применение положений квалиметрии к обобщённой оценке технического состояния сети связи; метода расчёта группового ЗИП; метода формирования аварийного запаса для обеспечения эксплуатации волоконно-оптических кабелей связи за пределами их гарантийного срока с учётом нормативных требований к линиям связи.

Для достижения цели в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Разработка метода расчёта норм аварийного резерва и нормативов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) на обслуживание оборудования связи, включающего учёт износа заменяемых запасных частей, с модификацией расчётов одиночного и группового ЗИП.
2. Разработка иерархической модели оценки устойчивости систем и сетей связи на базе обобщённой комплексной мультипликативной оценки их технического состояния.
3. Разработка метода формирования аварийного запаса для обеспечения эксплуатации волоконно-оптических кабелей связи за пределами их гарантийного срока с учётом нормативных требований к линиям связи на основе исследования изменений во времени коэффициента затухания, хроматической и поляризационно-модовой дисперсии оптического волокна на линиях передачи отечественной информационной инфраструктуры.
4. Разработка рекомендаций по модификации нормативных требований к лицензированию в сфере связи на основе трёхзвенной структуры.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Для волоконно-оптических линий связи разработан метод расчёта запаса волоконно-оптического кабеля для аварийно-восстановительных работ при продолжении использования кабелей после истечения их гарантийного срока с обеспечением заданных требований к линиям связи в целом. Метод разработан с учётом предложенной модели расчёта ЗИП и результатов исследования временной стабильности характеристик оптического волокна G.652. Это позволяет эффективно управлять процессом

модернизации наиболее затратной составляющей телекоммуникационной инфраструктуры.

2. Разработана модель для расчёта нормативов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) на обслуживание средств связи. Новым в теоретической модели является переход от распределения Пуассона к нормальному распределению Лапласа-Гаусса с использованием теоремы К. Камбура и Л. Ламберсона. Это позволило оценить доверительный интервал остаточного срока службы сетевых элементов, включая заменяемые.

3. Разработан метод, основанный на теоретических положениях квалиметрии, для оценки технического состояния средств связи, критически важных для обеспечения устойчивости функционирования сети связи. Метод сводит все показатели к одному безразмерному численному значению.

4. Обоснованы предложения по переходу на трёхзвенную структуру лицензирования, а также требования к порядку сетевого взаимодействия, обеспечивающие идентификацию оконечных устройств во всех сетевых структурах, что создаёт нормативные основы перспективного роста функциональной устойчивости телекоммуникационных сетей.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Результаты исследования стабильности коэффициента затухания и поляризационно-модовой дисперсии оптического волокна G.652 подтверждают объективную возможность продления срока использования волоконно-оптических кабелей после окончания гарантийного срока их эксплуатации с достижением требуемых показателей качества линий связи в целом. Использование предложенного подхода позволяет обеспечить продление сроков службы волоконно-оптических кабелей на срок до 10 % за пределами гарантийного.

2. Доказана эффективность реализации аппроксимации распределения Пуассона для оценки количества отказов нормальным распределением Лапласа-Гаусса, что позволяет, используя теорему К. Камбура и Л. Ламберсона, оценивать доверительный интервал остаточного срока службы сетевых элементов, включая заменяемые в процессе эксплуатации.

3. Разработанная методика расчёта состава и объёма группового ЗИП обеспечивает возможность планирования номенклатуры составных частей ЗИП с заданным периодом прогнозирования. Применение методики позволяет обоснованно сократить порядка 10 % запасов ЗИП.

4. Разработанный метод оценки технического состояния основных сооружений и средств связи на основе квалиметрии даёт эффективный инструмент многоуровневого контроля работоспособности сетей и позволяет оперативно реагировать на изменения отдельных параметров, требующих текущей коррекции.

5. Разработан алгоритм расчёта срока службы ЗИП для ВОЛС с учётом стабильности исследованных показателей оптического волокна, который позволяет рассчитать допустимые сроки продления службы волоконно-оптических кабелей после завершения их гарантийного эксплуатационного периода, что даёт возможность продления использования наиболее затратной части сетевой инфраструктуры.

6. Обоснована необходимость перехода к практике трёхзвенного лицензирования услуг связи в РФ с выделением конвергентных, сервисных и инфраструктурных услуг. Это даёт реальную возможность ускорения внедрения новых технических средств и технологий.

Методология и методы исследования. При выполнении работы использованы методы теории вероятности и математической статистики, теории

цепей и систем связи, теории надёжности, методология разработки стандартов и нормативов в области связи (в частности, нормативная (прескриптивная) методология науки).

Положения, выносимые на защиту.

1. Алгоритм расчёта допустимого продления срока службы волоконно-оптических кабелей за их гарантийными пределами, основанный на разработанной методике расчёта нормативов ЗИП с учётом результатов анализа стабильности коэффициента затухания и поляризационно-модовой дисперсии волокна G.652, позволяет продлить использование дорогостоящей сетевой инфраструктуры в процессе модернизации с обеспечением сохранения требуемых показателей качества линий связи в целом.

2. Метод расчёта объёма и состава запасных изделий, отличающийся от общепринятых, и основанный на переходе от распределения Пуассона для количества отказов к нормальному распределению Лапласа-Гаусса, что позволяет распространить теорему К. Камбура и Л. Ламберсона на определение доверительного интервала остаточного срока службы сетевых элементов, включая заменяемые. Применение этого метода позволяет с заданным периодом прогнозирования определять параметры надёжности работы оборудования и период восполнения запасов технических средств для обеспечения бесперебойной работы сети в целом.

3. Разработанный метод мониторинга качества технических средств связи на основе теории квалиметрии определяет механизм оценки функциональной устойчивости сети связи. Метод позволяет получать численную сопоставимую оценку, исключающую маскировку критически важных параметров второстепенными.

4. Обоснование реформирования системы нормативного регулирования телекоммуникационных отраслевых правил в части перехода лицензирования к

трёхзвенной структуре с выделением конвергентных, сервисных и инфраструктурных услуг с формализацией нормативных и технологических требований.

Степень достоверности и реализация результатов.

Достоверность и апробация полученных результатов. Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались на научных конференциях и заседаниях научно-технического совета:

- на X Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», март 2016 г.;
- на XII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», март 2018 г.;
- на XVII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», март 2023 г.;
- на заседаниях секции НТС Научно-технического Центра Анализа ЭМС НИИР, декабрь 2023 г., февраль 2024 г., декабрь 2024 г.

Реализация результатов работы.

1. Процедура планирования запасов групповых комплектов ЗИП, а также метод расчёта вероятности выхода из строя новых сменных частей ЗИП приняты для применения и показали свою эффективность во ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть».

2. Методика оценки устойчивости сетей волоконно-оптических линий связи за предельным сроком эксплуатации использована в ООО «Алгорком телекоммуникации» и показала положительные результаты.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 16 научных работ (2 без соавторов): 7 статей в журнале «Электросвязь», включённом в **Перечень ведущих рецензируемых научных изданий из перечня ВАК** (2 квартиль); 3

статьи в рецензируемых журналах; 5 докладов в трудах X, XII и XVII Международных научно-технических конференций «Технологии информационного общества».

Автору принадлежит ключевая роль в получении основных результатов, представленных в диссертации. Все результаты, сформулированные в положениях, выносимых на защиту, и составляющие научную новизну работы, получены автором лично или при непосредственном его участии.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и обозначений, библиографического списка, включающего 146 наименований, и одного приложения. Общий объем диссертации составляет 143 с., в т.ч. 33 рисунка и 22 таблицы. В приложении приведены документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

Глава 1. Анализ отечественной и международной практики нормативного и технологического регулирования по обеспечению функциональной устойчивости телекоммуникационных сетей.

§1.1. Общие тенденции инновационного развития сетей телекоммуникаций и вопросы обеспечения их функциональной устойчивости

Развитие информационной инфраструктуры страны должно осуществляться в соответствии с парадигмой, определённой Указом Президента РФ от 7 июля 2011 года № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий» [1].

Телекоммуникации – локомотив экономики 6-го технологического уклада. Сегодня связь занимает третье место в ряду наиболее доходных отраслей, и уже не

душевой валовой внутренний продукт (ДВВП) определяет уровень развития информационного общества, а уровень развития информационного общества обуславливает значение ДВВП. В I квартале 2023 года связь стала самой успешной отрасль экономики РФ, показав рост 78 % по сравнению с I кварталом 2022 года [2].

Возрастающая роль телекоммуникационных технологий нашла свое отражение в принятой Распоряжением Правительства РФ «Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года» [3]. В этом и ряде других документов определены приоритетные направления развития отрасли связи страны [4]. К таковым отнесены стратегически важные технологии, обеспечивающие технологический суверенитет страны: разработка перспективного частотного плана, создание доверенного оборудования и программного обеспечения для сетей связи, создание отечественной электронно-компонентной базы для оборудования связи, тестирование сетей 5G и исследования в области сетей 6G, квантовые коммуникации, гибридные сети. Отмечается необходимость особого внимания к контролю качества и стабильности работы сетей связи,

Одной из первостепенных задач остаётся преодоление цифрового неравенства и предоставление широкого доступа к информационным ресурсам, включая оказание государственный услуг в цифровом виде.

Повсеместное развитие сетей *4G LTE* привело к значительному расширению спектра услуг мобильного/Интернета, позволило использовать различные инновационные приложения, такие как мобильные покупки и платежи, умный дом/город, мобильные игры и т. д. Большой успех мобильного Интернета, в свою очередь, стал движущей силой эволюция беспроводных технологий. Сеть *5G* поддерживает ряд базовых услуг, таких как усовершенствованный мобильный широкополосный доступ *eMBB* (*enhanced Mobile BroadBand*), сверхнадежная передача данных с малой задержкой *uRLLC* (*ultra Reliable Low Latency*

Communications) и массовые коммуникации между устройствами без участия человека *mMTC* (*massive Machine Type Communication*).

Особенности технологий 5G/6G. Технологии, применяемые в сетях 5G, ведут не просто к эволюционным преобразованиям, а к революционным переосмыслениям самих принципиальных основ сетей. К инновационным технологиям 5G относят следующие: устройство-ориентированная архитектура, миллиметровые диапазоны, антенные массивы использующие большого количества антенн для передачи информации на несколько устройств в каждом частотно-временном диапазоне при фокусировании излучаемой энергии в сторону предполагаемой позиции абонента, интеллектуальные устройства и встроенную поддержку межмашинного взаимодействия (*M2M*-коммуникаций) [5,6].

Несмотря на то, что сети 5G всё ещё находятся на начальном этапе внедрения, для поддержания устойчивости и конкурентоспособности систем беспроводной связи как представителям телекоммуникационной отрасли, так и академическим кругам, пора подумать о том, что должно представлять собой следующее поколение 6G.

Одной из основных проблем сетей 5G является подключение большого числа пользователей, которое при взрывном характере вызывает перегрузки трафика. Обеспечение массового соединения в сетях 6G на основе повышения скорости передачи также обеспечит снижение задержек, повысит устойчивость сети в целом.

Сравнение характеристик сетей 5G и 6G приведено в таблице 1.1 [7].

Согласованные МСЭ-Т по времени смены концепций развития фиксированных сетей связи со сменой поколений сетей сотовой мобильной связи («правило 10 лет») представлены на рисунках 1.1 и 1.2 [8].

Таблица 1.1. Сравнение характеристик сетей поколений 5G и 6G.

Характеристики	5G	6G
Индивидуальная скорость передачи данных	1 Гбит/с	100 Гбит/с
Скорость загрузки данных	20 Гбит/с	>1000 Гбит/с
Задержка в <i>U</i> -плоскости	0,5мс	<0,1мс
Задержка в <i>C</i> -плоскости	10мс	<1мс
Подвижность	500 км/ч	1000 км/ч
30 бит/с/Гц	100 бит/с/Гц	
Рабочая частота	3-300 ГГц	1000 ГГц

Согласованные МСЭ-Т по времени смены концепций развития фиксированных сетей связи со сменой поколений сетей сотовой мобильной связи («правило 10 лет») представлены на рисунках 1.1 и 1.2 [8].

В настоящее время уже существует ряд инициатив, описывающих дорожную карту перехода к 6G, таких стандартизирующих организаций как *ETSI*, *3GPP* и некоторых других, которые с учётом новыми тенденций развития цифровой экономики и требованиями рынка, предлагают инновационные методы и архитектуры, например связь в терагерцовом диапазоне (*THz*).

В отличие от предыдущих поколений телекоммуникационных технологий, 6G призвана направить эволюционное развитие беспроводной связи от «подключённых вещей» к «подключённому интеллекту».

Тенденции развития сетей связи, телекоммуникационных и компьютерных технологий вызывают насущную необходимость разработки требований и стандартизирующих документов для будущих поколений сетей *5G Advanced* и *6G*.

Использование любых новых технологий не только не снимает, но и ставит с новых позиций проблемы обеспечений устойчивого функционирования телекоммуникационных сетей. Рассмотрим основные направления обеспечения их устойчивости.

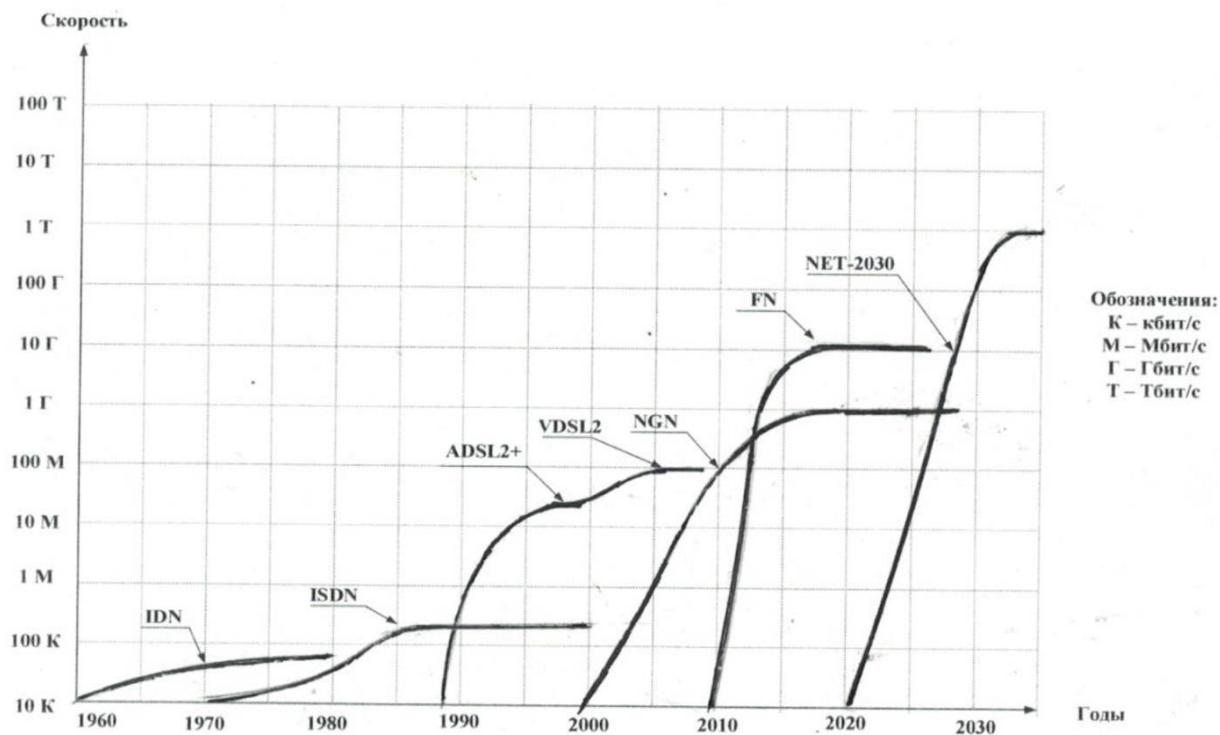


Рис. 1.1. Эволюция пиковой скорости фиксированных сетей связи

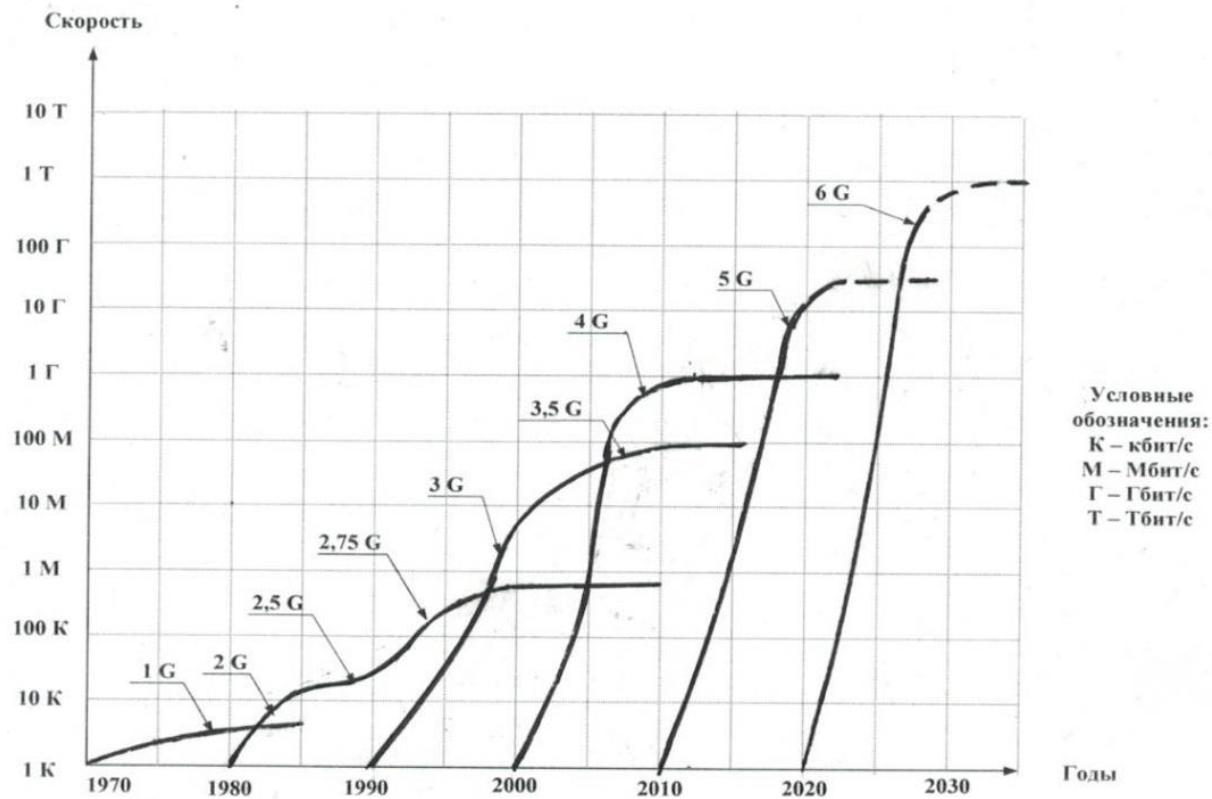


Рис. 1.2. Эволюция пиковой скорости сотовой мобильной связи

§1.2. Обеспечение устойчивого функционирования телеkomмуникационных сетей на основе резервирования участков

Одним из важнейших требований, предъявляемых к сетям связи, является обеспечение их устойчивого функционирования. Об этом говорится в федеральном законе «О связи» [9], соответствующие задачи ставятся в Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года [3]. Под устойчивостью понимается способность сети выполнять свои функции при выходе из строя части элементов сети в результате воздействия дестабилизирующих факторов [10]. При этом дестабилизирующие факторы, действующие на сети связи, разделяются на внутренние и внешние, что даёт возможность представить устойчивость как совокупность свойств надёжности и живучести.

Значительное внимание устойчивости сетей связи уделяется и в документах международных отраслевых организаций. В частности, в разработанной МСЭ-Т концепции «Сеть 2030» она включена в число базовых архитектурных принципов будущих сетей [11].

Особенно актуальна устойчивость для сетей, образующих транспортную основу различных видов связи. Такие сети ранее относились к так называемым первичным сетям, их важность и значение для устойчивого функционирования всей сети электросвязи РФ подчёркивается в [3].

Важный и широко используемый подход для обеспечения устойчивости сети – это резервирование. Под этим понимается использование дополнительных средств и/или возможностей сверх минимально необходимых для выполнения требуемых функций [12]. Резервирование может применяться как для аппаратуры, так и для путей передачи информации или их участков (сетевое резервирование).

Первой технологией, в которой с самого начала были заложены разнообразные эффективные механизмы резервирования, стала технология *SDH*.

Понятие транспортной сети также впервые появилось применительно к этой технологии. В последующем при разработке других технологий этот опыт *SDH* активно использовался. В первую очередь это относится к технологии оптической транспортной сети (*OTN*), являющейся одной из основных при построении магистральных первичных сетей связи, создающих основу целостности и устойчивости всей единой сети электросвязи Российской Федерации [3].

Опыт *SDH* также использовался и при развитии технологии *Ethernet*. Возникшая более полувека назад для локальных сетей, эта технология успешно развивалась, и в настоящее время она широко используется в широкомасштабных сетях общего пользования, на её основе также могут строиться транспортные сети. Эта её разновидность получила название *Ethernet* операторского класса (*Carrier Ethernet*). При этом для обеспечения устойчивости также могут использоваться механизмы резервирования, разработанные на основе опыта *SDH* [13].

В процессе создания механизмов резервирования для *SDH* были выработаны и основные требования к ним, многие из которых не утратили актуальность до настоящего времени. В частности, в ходе проведенных исследований было установлено, что большинство приложений не чувствительны к кратковременным, длительностью менее 50 мс, перерывам в передаче информации. Поэтому для поддержки приложений реального времени в качестве требования к допустимому времени переключения на резерв было выбрано именно это значение.

В связи с подготовкой регулятором требований к построению первичных сетей [3] вопрос организации резервирования в них заслуживает детального ретроспективного рассмотрения и анализа. В данной статье рассмотрены принципы и особенности наиболее популярных схем резервирования (полные описания возможных вариантов приводятся, например, в [14–16]).

Резервирование мультиплексной секции (Multiplex Section Protection, MSP). Этот вид резервирования предусматривает защиту участка сети между

двумя последовательными мультиплексорами. В зависимости от задач такое резервирование может быть односторонним и двунаправленным. При одностороннем резервировании переключением управляет приёмный мультиплексор, при двунаправленном – происходит переключение обоих мультиплексоров на резервное направление.

Конфигурация 1+1. В этой конфигурации рабочий канал резервируется защитным, сигнал передается по основному и по резервному тракту. Основной и резервный элементы выполняют одинаковые функции. При повреждении основного канала сигнал направляется по резервному направлению.

Конфигурация 1 : n. В этом случае выделяется один защитный канал для *n* защищаемых, при отказе одного из которых его функции переходят к защитному, остальные временно остаются без резерва.

Более сложным по сравнению с MSP являются методы резервирования, называемые защита соединений подсети **SNCP** (*Sub-Network Connection Protection*), и кольцо с совместной защитой мультиплексных секций **MS SPRing** (*Multiplex Section Shared Protection Ring*). Очень эффективным является резервирование в связанных кольцах, соединённых между собой межкольцевыми шлюзами (узлами). Вообще, кольцевые структуры широко используются в схемах резервирования, поскольку кольцо – простейшая топология, в которой между любой парой узлов есть два независимых пути.

Метод **MSP** используется только в линейных схемах, **MS SPRing** – только в кольцевых, а **SNCP** может использоваться и линейных, и в кольцевых. Далее на рис. 1.3–1.14, приводятся иллюстрации основных технологий резервирования для различных схем:

На рис.1.3 представлена схема *MSP 1+1*. Резервная линия проходит узел С без преобразования.

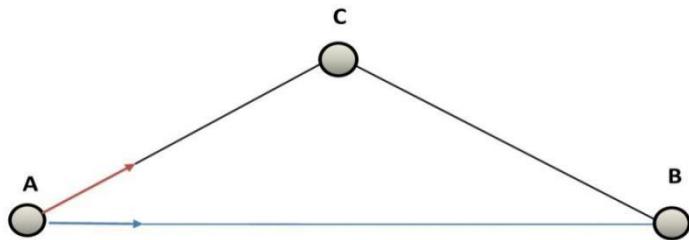


Рис. 1.3. Резервирование секций

На рис. 1.4 показана схема *SNCP 1+1*, которая обеспечивает резервирование трактов пользователей между парой узлов по двум разнесённым трассам в сети произвольной структуры.

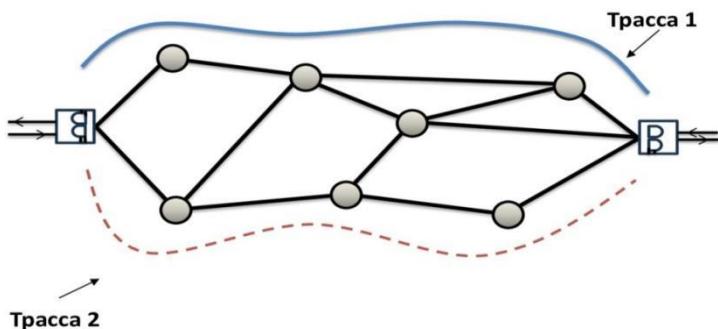


Рис. 1.4. Резервирование трактов

На рис. 1.5 представлено каскадное и сквозное резервирование *SNCP*.



Рис. 1.5. Каскадное и сквозное резервирование трактов

На рис. 1.6 показана двухуровневая структура типа «ромашка». Цифры обозначают принадлежащие кольцевым структурам узлы, индексом K отмечены шлюзы сопряжения, представляющие собой узлы межсетевой связи, образованные мультиплексорами ввода-вывода или аппаратурой оперативного переключения (кросс-коннекторами).

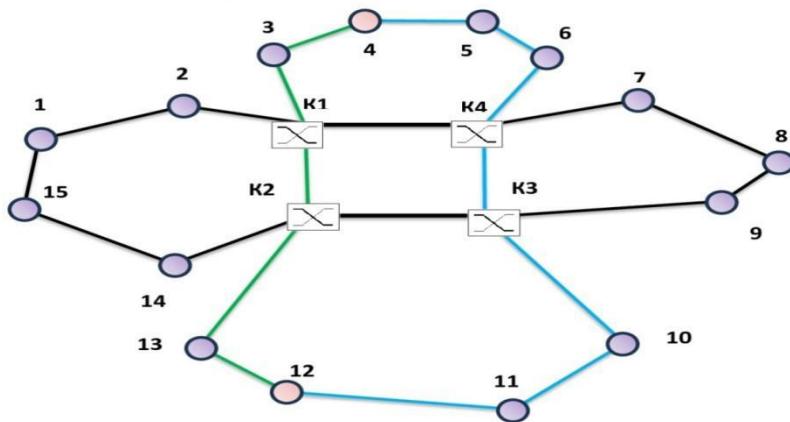


Рис. 1.6. Двухуровневая структура резервирования

Резервирование в решетчатых сетях с восстановлением в отдельных участках представлено на рис. 1.7. Кружками обозначены узлы резервных линий, квадратами - шлюзы сопряжения, звёздочками – возможные точки повреждения участка связи.

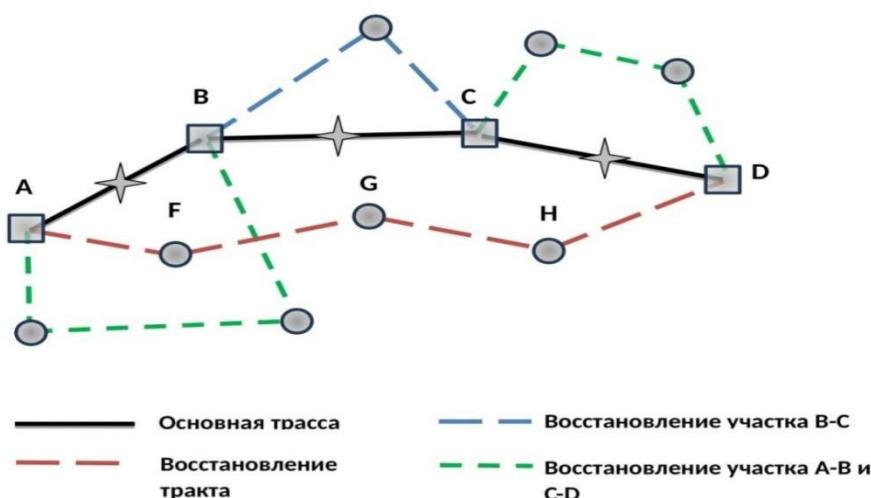


Рис. 1.7. Резервирование в решетчатых сетях

Основные схемы взаимосвязи кольцевых структур:

- соединение колец в одном общем узле;
- соединение колец по общему ребру;
- соединение колец в двух удаленных несмежных узлах с организацией связи через порты ввода-вывода или с переключением в сетевых кросс-коннекторах;
- наложение друг на друга колец, связанных во многих узлах;
- соединение различных колец посредством мультиплексоров и выделенной оптической линии.

На рис. 1.8 представлено соединение колец из нескольких узлов (1-9) в одном общем узле (4), что может быть реализовано разными способами:

- с помощью электрического соединения мультиплексоров различных колец через порты ввода-вывода;
- через сетевые кросс-коннекторы, установленные в общем узле;
- путём замены мультиплексоров в обоих кольцах одним объединенным мультиплексором со встроенным кросс-коннектором.

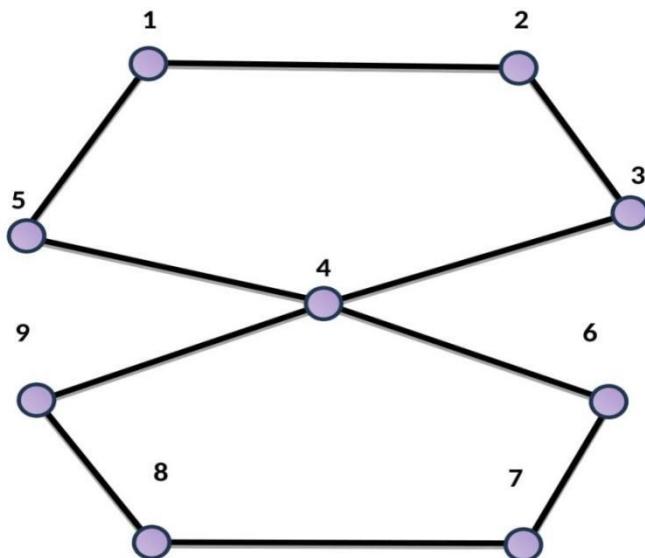


Рис. 1.8. Соединение колец в одном общем узле

На рис. 1.9 показано соединение колец (узлы 1-5, 4-8) по общему ребру (4-5), узлы с индексом **c** содержат кросс-коннекторы, мультиплексоры ввода-вывода или их комбинацию. При этом возможны два варианта:

- с передачей каждого потока между кольцами в одном узле (точке) перехода ($4\ c1 - 4\ c2, 5\ c1 - 5\ c2$);
- с обменом каждым потоком между кольцами в двух смежных узлах ($4\ c1 - 5\ c1 - 5\ c2; 5\ c2 - 4\ c2 - 4\ c1$).

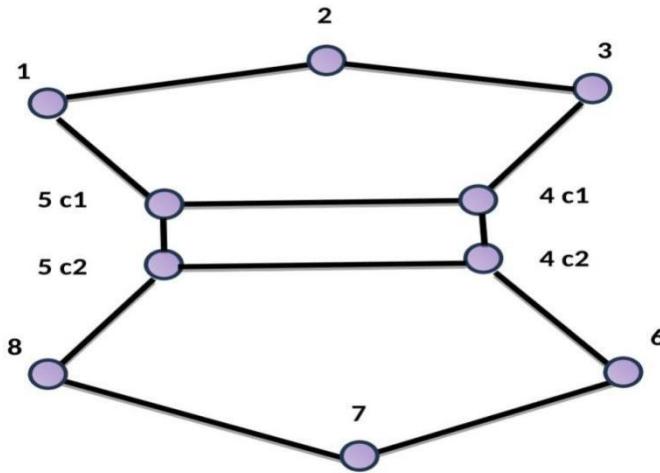


Рис. 1.9. Соединение колец по общему ребру

На рис. 1.10 показано соединение колец в двух удалённых несмежных узлах, которое выполняется путём организации перехода через порты ввода-вывода или с переключением в сетевых кросс-коннекторах.

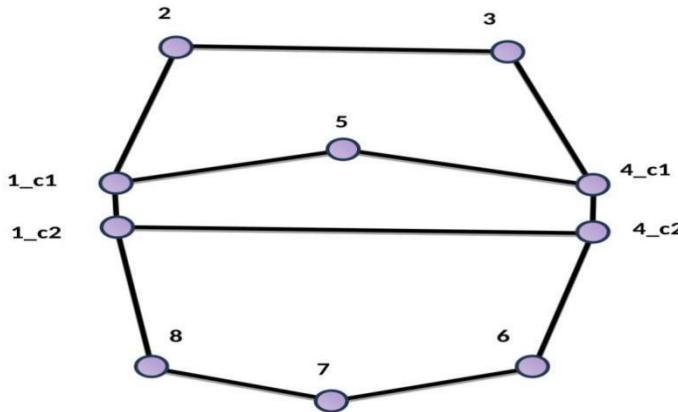


Рис. 1.10. Соединение колец в двух удалённых несмежных узлах

На рис. 1.11 показано наложение связанных во многих узлах колец друг на друга, кольцо верхнего уровня организуется при росте трафика и недостаточной пропускной способности существующего кольца. Узлы обозначены S , цифры в квадратных скобках обозначают принадлежность к кольцам, общий вид структуры является комбинацией схем, приведённых на рисунках 1.9 и 1.10.

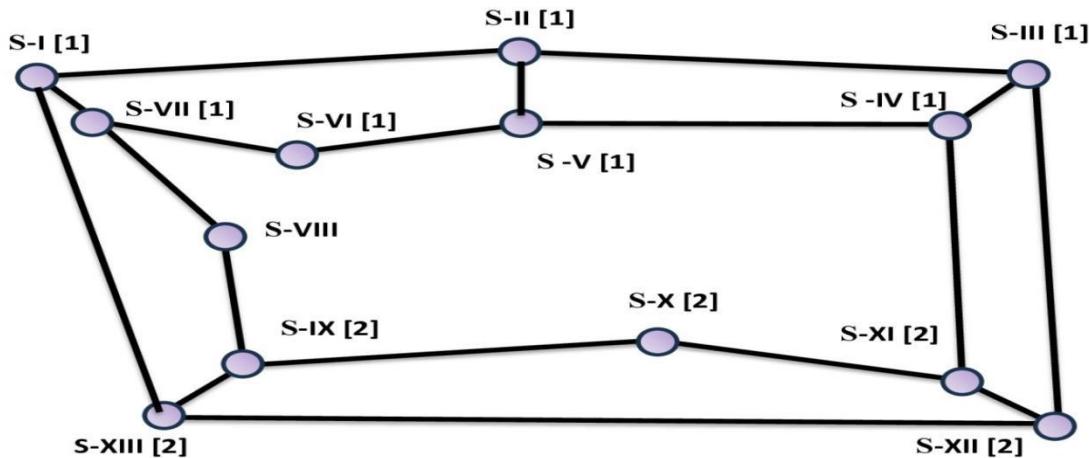


Рис. 1.11. Наложение друг на друга колец, связанных во многих узлах

На рис. 1.12 представлено соединение колец, содержащих узлы 1-5 и 6-10 по выделенной оптической линии (обозначена синим цветом), с помощью которой соединяются мультиплексоры различных колец.

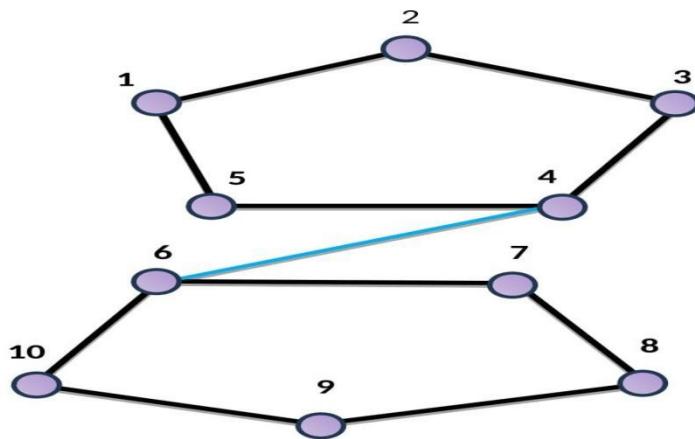


Рис. 1.12. Соединение колец посредством мультиплексоров и оптической линии

На рис. 1.13 представлена схема, используемая в структуре транспортных сетей масштаба города (*Metro-сети*). При этом возможен, например вариант, в котором кольцевые сети SDH объединяются с оптическим кольцом верхнего уровня *WDM*, через которое проходит межкольцевой транзитный трафик.

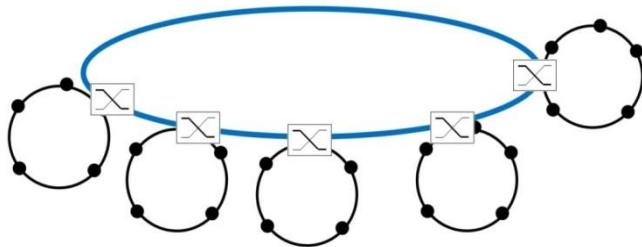


Рис. 1.13. Резервирование трактов посредством технологий *SDH* и *WDM*

В настоящее время системы *WDM* либо создают дополнительный верхний уровень комбинированной транспортной сети, либо полностью заменяют уровень *SDH*, создавая логически полноценный оптический транспортный уровень, оборудованный оптическими мультиплексорами, кросс-коннекторами. В последнем случае пользовательские сети, из которых основной является в настоящее время сеть IP, могут подключаться ко входам оптических мультиплексоров, не используя системы *SDH*, а реализуя необходимый в этом случае переход на канальный уровень с помощью технологии *Ethernet*. В настоящее время такой подход получил широкое распространение в сетях альтернативных операторов.

Способы защиты в сетях *SDH*. Основным методом повышения надёжности в сетях *SDH* является создание так называемых отказоустойчивых структур. Существуют различные классы таких структур: а) линейные; б) кольцевые; в) решетчатые.

Рассмотрим их характеристики с точки зрения обеспечиваемой надёжности и затрат на резервирование.

Линейные структуры с автоматическим защитным переключением мультиплексных секций *MSP 1+1*. Линейные структуры наиболее распространены в радиально-узловых сетях. Для получения отказоустойчивой радиально-узловой структуры в транспортных сетях в технологии *SDH* стандартизована специальная схема резервирования с автоматическим защитным переключением мультиплексных секций (*MSP 1+1*), которая особенно эффективна при защитном разнесении трасс кабелей, на которых организуется основная и резервная мультиплексные секции. Организация схемы *MSP 1+1* приведена на рис. 1.14. Узлы N_1, N_2, N_3 рассматриваемая мультиплексная секция проходит без выделения потока.

Коэффициент готовности схемы *MSP 1+1* рассчитывается по формуле

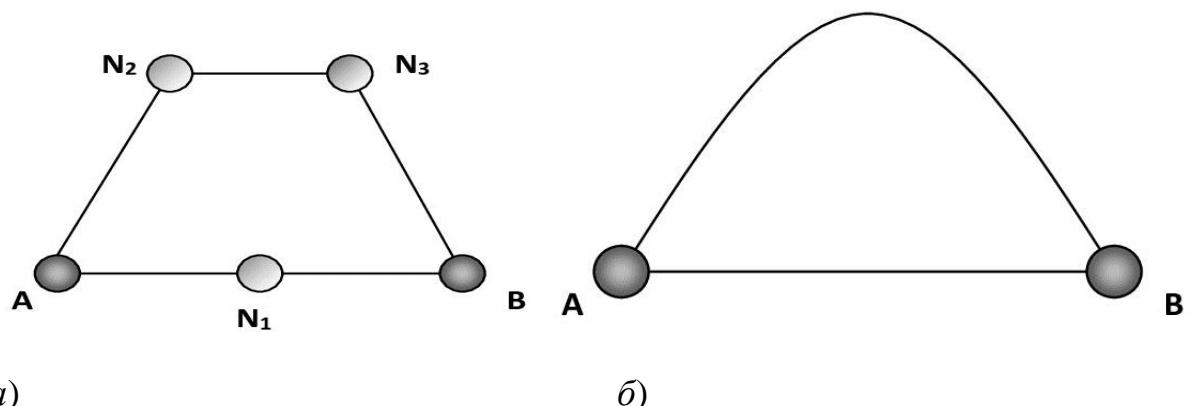
$$K_{\Gamma} = 1 - (1 - K_{\Gamma\text{OCH}})(1 - K_{\Gamma\text{PEZ}}), \quad (1)$$

в которой

$$K_{\Gamma\text{OCH}} = K_{\Gamma A} K_{\Gamma A N_1} K_{\Gamma N_1} K_{\Gamma N_1 B} K_{\Gamma B};$$

$$K_{\Gamma\text{PEZ}} = K_{\Gamma A} K_{\Gamma A N_2} K_{\Gamma N_2} K_{\Gamma N_2 N_3} K_{\Gamma N_3} K_{\Gamma N_3 B} K_{\Gamma B};$$

где $K_{\Gamma A}, K_{\Gamma B}, K_{\Gamma N_1}, K_{\Gamma N_2}, K_{\Gamma N_3}$ – коэффициенты готовности соответствующих узлов; $K_{\Gamma A N_1}, K_{\Gamma N_1 B}, K_{\Gamma A N_2}, K_{\Gamma N_2 N_3}, K_{\Gamma N_3 B}$ – коэффициенты готовности соответствующих участков.



а)

б)

Рис. 1.14. Организация физической (а) и логической (б) схем *MSP 1+1*

Для расчётов принимаем K_g всех участков одинаковыми и равными 0,99965, длину всех участков принимаем равной 100 км. K_g всех узлов примем одинаковыми и равными $K_{gM}=0,999999$. В этом случае K_g для схемы MSP 1+1 равен

$$K_g(MSP\ 1+1) = 0,999999.$$

Линейная структура защиты соединений подсети $SNCP$ 1+1. Способ защиты соединений подсети $SNCP$ 1+1 из-за своей гибкости и динамичности является самым распространенным способом защиты в сетях SDH , особенно когда заранее неизвестны расположение и запросы трафика потребителей. Защита типа $SNCP$ может использоваться в сетях любой структуры, необходимым условием её реализации является наличие на сети двух независимых путей между оконечными точками, которыми могут быть терминалы абонентов (если защита начинается от абонента) или узлы доступа транспортной сети, к которым подключаются абоненты.

При конфигурировании сетевым менеджером схемы $SNCP$ 1+1 определяются трассы основного и резервного трактов, которые направляются по различным оптическим линиям. Таким образом, сигнал с абонентской линии или порта мультиплексора посыпается по двум физически разным маршрутам сети, а в точке приёма выбирается лучший из прошедших разными путями. Переключение производится за время, не превышающее 50 мс. Коэффициенты готовности, обеспечиваемые схемой $SNCP$ 1+1, вычисляются по тем же формулам, что и для схемы MSP 1+1. Однако схема $SNCP$ 1+1 может быть организована для более длинных трактов, чем схема MSP 1+1, поскольку окончание какой-либо мультиплексной секции на пути тракта не влияет на тракт схемы $SNCP$ 1+1, тогда как схема резервирования MSP 1+1 при этом заканчивается.

Рассмотрим зависимость коэффициента готовности схемы $SNCP$ 1+1 от количества участков сетевого тракта. Например, если основной тракт состоит из

пяти участков, а резервный – из семи участков, то вычисленное по формуле (1) значение K_e составит 0,9999996.

Кольцевые схемы защиты. Помимо способов линейного резервирования *MSP 1+1* и *SNCP 1+1*, требующих удвоения ёмкости сети при резервировании, для технологии *SDH* разработаны более экономичные способы обеспечения отказоустойчивости сети с совместной защитой без выделения закреплённой резервной пропускной способности для отдельных мультиплексных секций или трактов.

Одним из основных способов резервирования на сетях *SDH* является организация самовосстанавливающихся колец, которые без участия системы управления сетью обеспечивает возможность полной защиты передаваемого по кольцу трафика при любом повреждении одиночного участка или узла сети. При этом функции обнаружения повреждений и переключения в кольцевых структурах выполняют мультиплексоры ввода-вывода сетей *SDH*. Различные виды кольцевых отказоустойчивых структур: плоское кольцо, кольцо с защитой мультиплексных секций (*MS SPRing*) и кольцо с защитой соединений подсети (*SNCP*), - определяются в Рекомендациях МСЭ-Т *G.803*, *G.805*, *G.841*.

Плоское кольцо организуется в различных оптических волокнах одного кабеля. Оно обеспечивает 100%-ную защиту от одиночного повреждения мультиплексоров, но не обеспечивает защиты от повреждения линий.

Коэффициент готовности плоского кольца K_r определяется следующей формулой:

$$K_r = \prod_{i=1}^n K_{ri} \prod_{i=1}^{2(n+1)} K_{rM} + 2(n+1)(1 - K_{rM}) \prod_{i=1}^n K_{ri},$$

где n – число участков плоского кольца.

Кольца *SNCP* используются в основном до уровня *STM-4*, начиная с уровня *STM-16* реализуются кольца *MS SPRing*, что объясняется технологией

мультиплексирования. Пропускная способность колец *SNCP* должна быть равна *сумме всех потоков*, проходящих по кольцу. Поэтому эффективно использовать кольца *SNCP* при направлении всего трафика к одному из узлов кольца, например, для организации доступа.

Наиболее эффективными с точки зрения затрат пропускной способности на резервирование являются кольца *MS SPRing*, которые подразделяются на двухволоконные и четырехволоконные и обозначаются соответственно *2F MS SPRing* и *4F MS SPRing*.

Резервная пропускная способность в двунаправленном кольце должна быть равной максимальной загрузке наиболее загруженного звена из всех секций кольца, так как резервные ёмкости должны быть достаточными для резервирования при повреждении этого звена. В силу низкой экономичности кольца *4F MS SPRing* используются редко.

Коэффициент готовности для тракта, проходящего по k участкам кольца SNCP, состоящего из n участков, вычисляется по формуле:

$$K_{\Gamma} = \prod_{i=1}^n K_{ri} + \left(1 - \prod_{i=1}^k K_{ri}\right) \prod_{i=1}^{n-k} K_{ri},$$

а для кольца *2F MS SPRing* - по формуле:

$$K_{\Gamma} = \prod_{i=1}^k K_{ri} + k \left(1 - K_{ri}\right) \prod_{i=1}^{n-1} K_{ri}, \quad (2)$$

Принимая значения K_{ri} участков одинаковыми и равными 0,99965, получаем:

$$K_{\Gamma}(\text{SNCP}) = 0,999999; K_{\Gamma}(\text{MS SPRing}) = 0,999998.$$

Наиболее распространенным вариантом взаимодействия различных структур является структура нескольких сопряжённых колец. Для того чтобы повысить надёжность такой структуры, кольца обычно связываются через два общих узла. Коэффициент готовности такой схемы вычисляется по формуле:

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma I} K_{\Gamma II} (1 - (1 - K_{\Gamma M_I})(1 - K_{\Gamma M_{II}})),$$

где $K_{\Gamma I}$, $K_{\Gamma II}$ – коэффициенты готовности колец I и II соответственно, вычисляемые по формуле (2); K_{rM_I} , $K_{rM_{II}}$ – коэффициенты готовности общих узлов.

Принимая значение K_r участка равным 0,99965, а K_{rM} равным 0,999999, получаем для двух сопряжённых колец *MS SPRing* значение $K_r = 0,999996$.

Коллективная защита в решетчатых сетях. Сеть считается решетчатой, если узлы сети имеют три и более выходов. В сетях решетчатой структуры может использоваться способ резервирования с перемаршрутизацией повреждённых трактов по специальным резервным ёмкостям. Для реализации такой перемаршрутизации или реконфигурации используются сетевые цифровые кросс-коннекторы (ЦКК-*DXC*).

В связи с тем, что одни и те же резервные ёмкости в решетчатых сетях могут использоваться для различных повреждений и входить в различные резервные маршруты, резервирование в решетчатых сетях является наиболее экономным по затратам на резервную ёмкость. С появлением кросс-коннекторов *SDH* большой ёмкости (до тысячи портов), которые могут производить переключение между всеми портами, интерес к организации решетчатых структур возрос.

Особенно актуальным является преобразование топологии взаимосвязанных колец в решетчатые структуры при установлении в общих узлах этих колец не обычных *MBB*, а кросс-коннекторов. Такие кросс-коннекторы реализуют стационарную кроссировку трактов, но для изменения маршрута при резервировании требуют поступления команд от системы управления и от оператора с пульта. Поэтому время переключения в решетчатых сетях составляет порядка нескольких минут.

Резервирование в решетчатых сетях обеспечивает наиболее высокую надёжность из всех известных схем, так как для каждого повреждения имеется

более одного обходного резервного пути. Кроме того, в решетчатой сети связь сохраняется в случае нескольких одиночных отказов. Оценку коэффициента готовности решетчатой сети произведем для случая, когда для каждого отказа имеется два резервных маршрута. В этом случае K_g вычисляется по формуле:

$$K_g = 1 - (1 - K_{g\text{OSN}})(1 - K_{g\text{PE31}})(1 - K_{g\text{PE32}}), \quad (3)$$

где $K_{g\text{OSN}}$ – коэффициент готовности основного маршрута; $K_{g\text{PE31}}$, $K_{g\text{PE32}}$ – коэффициенты готовности резервных маршрутов.

Принимая значение K_g участка по-прежнему равным 0,99965, при длине основного маршрута, равной 3 участкам, а резервных маршрутов - 5 участкам (длина всех участков предполагается одинаковой), получаем коэффициент готовности решетчатой сети $K_g(\text{реш.})=0,99999999$.

Отметим, что оценка по формуле (3) является нижней оценкой, так как в решетчатых структурах связь сохраняется при более чем одном повреждении в основном и в резервных маршрутах.

Сравнение различных способов защиты в сетях SDH. Результаты расчетов для различных способов резервирования на сетях SDH представлены в табл. 1.2.

Табл. 1.2. Коэффициент готовности, время переключения и относительные затраты схем резервирования

Схема резервирования	K_g схемы	Время переключения	Затраты на резервирование
<i>MSP 1+1</i>	0,99999926	50 мс	2,30
<i>SNCP 1+1</i>	0,99999569	50 мс	2,30
<i>MS SPRing</i>	0,99999780	50 мс	1,35
Два кольца <i>MS SPRing</i>	0,99999559	50 мс	2,00
Кольцо <i>SNCP</i>	0,99999853	50 мс	2,30
Плоское кольцо <i>SNCP</i>	0,99755257	50 мс	2,3
Решетчатая структура	0,99999999	1–2 мин	0,8

В табл. 1.2 затраты на резервирование указываются в относительных единицах, где за единицу приняты затраты на сеть без резервирования.

Анализ результатов, приведённых в табл. 1.2, показывает, что наиболее экономичной структурой со временем переключения 50 мс являются кольца *MS SPRing*. Затраты на резервирование в решетчатых сетях меньше, но время переключения достигает 1–2 мин. Большое время переключения в решетчатых сетях не позволяет осуществлять передачу без перерывов в передаваемых сообщениях; кроме того, возникает необходимость использования системы управления сетью и относительно дорогостоящих кросс-коннекторов, что существенно увеличивает стоимость сети.

§1.3. Анализ нормативных документов по вопросам обеспечения функциональной устойчивости сетей телекоммуникаций

Рассматривая роль нормативного регулирования в обеспечении устойчивого и эффективного функционирования сетей электросвязи следует выделить в качестве основополагающих элементов вопросы технологической стандартизации и лицензионного регулирования, определяющие весь спектр взаимодействия на сетях электросвязи. Проанализируем последовательно эти факторы.

1.3.1. Анализ практики лицензионного регулирования сетевого взаимодействия для обеспечения функциональной устойчивости сетей связи

Скачкообразный рост скорости передачи информации в телекоммуникационных сетях произошёл в начале 2000-х годов, когда в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т получили широкое развитие сети следующего поколения *NGN*, в которых голос, данные, видео и мультимедиа передаются по технологии коммутации пакетов в единой мультисервисной сети. В

2020г. были сформулированы принципы будущих сетей *FN*, в новой концепции *Network 2030*, включающей мульти-технологичные сети 6G с поддержкой технологий радиодоступа *RAT*. Развивающийся российский рынок телекоммуникационных услуг и применяемых операторами связи технологий предъявляет новые требования к действующей нормативно-правовой базе в области связи, которая во многом перестала соответствовать сложившейся сетевой структуре. Оперативное приведение их в соответствие становится чрезвычайно важной задачей. Для этого требуется последовательное выполнение ряда работ. Необходимо проведение глубокого анализа лучших международных практик с целью выработки предложений по изменению российских нормативных правовых документов по направлениям инфраструктурного обеспечения, оказания услуг и предоставления сервисов. Такое выделение трёх составляющих современных телекоммуникаций соответствует сложившейся мировой практике стран с передовой технологической основой отрасли. Для последующей разработки предложений проведён анализ тенденций мировой практики лицензирования телекоммуникационных услуг и анализ практики внедрения новых технологий и лицензирования услуг связи в Российской Федерации [141].

В настоящее время лицензии на оказание услуг связи выдаётся конкретному оператору связи на оказание конкретной услуги связи на отдельной сети связи. На территории Российской Федерации данный тип лицензирования является основным и единственным. Например, оператор связи, имея лицензию на оказание услуг связи по предоставлению каналов связи, имея собственные каналы или сеть связи (проводные и / или беспроводные), в рамках указанной лицензии не может оказывать телематические услуги (доступа в сеть Интернет), услуги по передаче данных, услуги цифрового *IP*-телефидения и иные, даже при наличии технологических возможностей для этого. В этих целях ему необходимо получить отдельные лицензии для оказания каждого вида таких услуг связи. У крупнейших

российских операторов связи общее количество лицензий на оказание услуг связи превышает несколько сотен (в зависимости от используемых технологий и регионов оказания услуг связи).

Фактическое состояние российских сетей связи уже давно не соответствует действующим нормативным правовым актам и лишь немного отстает от международного уровня развития: произошла замена аналоговых сетей связи, сети доступа преимущественно построены с применением современных и перспективных цифровых технологий, транспортные сети полностью перешли на *IP* - протоколы. Сейчас 9 из 19 услуг электросвязи оказывается преимущественно с использованием цифровых технологий, по остальным услугам связи происходит активный отказ от аналоговых сетей и переход к цифровым. Российское регулирование услуг связи в части лицензирования сложилось в начале 2000 г. и отстает не только от общемирового подхода, но и от реалий российских телекоммуникационных сетей. Возвращаясь к согласованным МСЭ-Т по времени сменам концепций развития фиксированных сетей связи, представленным в §1.1, отставание российского регулирования услуг связи в части лицензирования от общемирового подхода можно проиллюстрировать рисунком 1.15.

1.3.2. Анализ практики нормативного регулирования внедрения новых сервисов для обеспечения функциональной устойчивости сетей связи

Глобальный тренд развития телекоммуникаций обусловлен появлением передовых технологий пакетной коммутации. Подоплётка и движущая сила этого процесса – более эффективное использование очень дорогой телекоммуникационной инфраструктуры.

Развитие сетей связи, построенных на принципах пакетной коммутации, приводит к постепенному вытеснению сетей связи с коммутацией каналов.

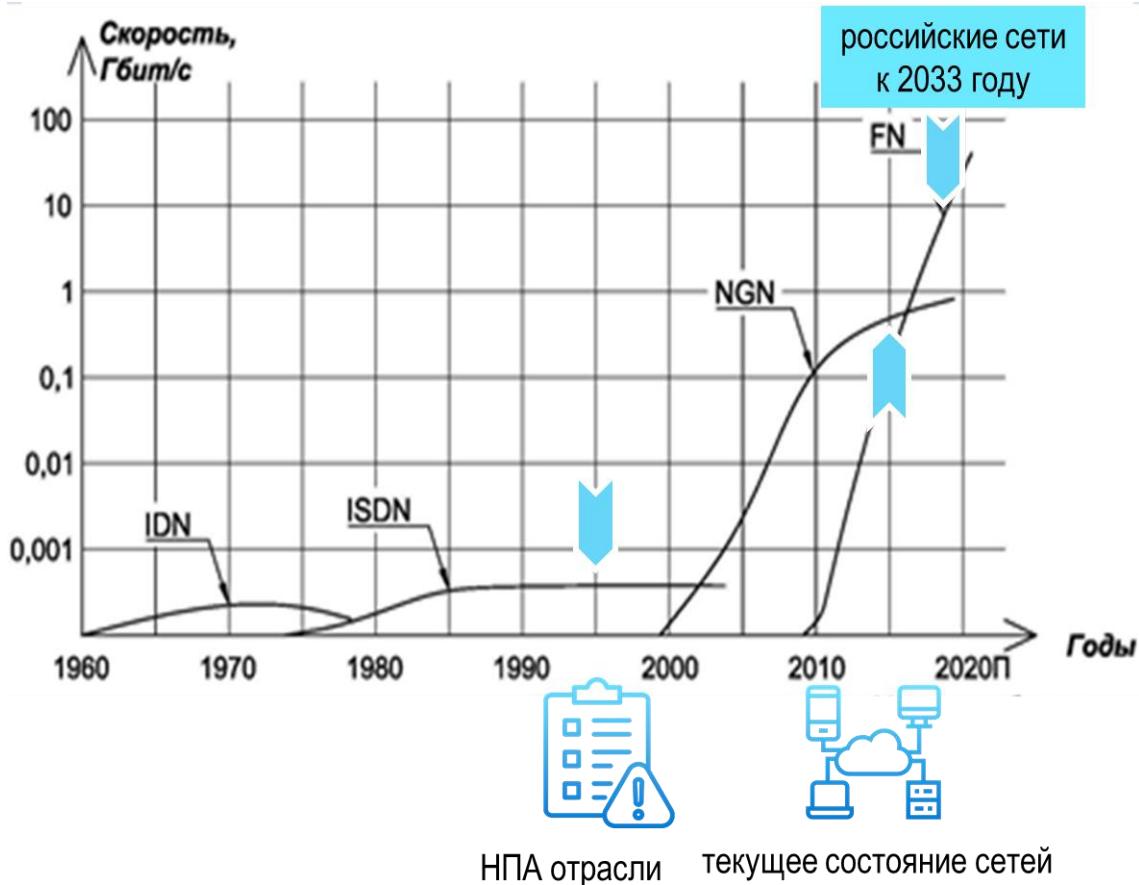


Рис. 1.15. Текущее и прогнозное состояние российских сетей связи к 2033 году.

Важно подчеркнуть, что совершенствование пакетных технологий привело к появлению протоколов *VoIP*, обеспечивающих возможность передачи голосовой информации по всемирной компьютерной сети интернет. Таким образом, пакетные технологии в совокупности с массовым распространением смартфонов и персональных компьютеров создают базу для широкого распространения интернет-сервисов передачи голосовой информации.

Отметим важную особенность современной сетевой инфраструктуры. В недалёком прошлом самая мощная аналоговая система передачи К-1920 с коаксиальным кабелем КМ-4 2,52×9,4 обеспечивала суммарную пропускную способность 245,76 Мбит/с. При этом длина усилительного участка составляла $6 \pm 0,3$ км. Теперь волоконно-оптическая система передачи, использующая

технологию спектрального уплотнения *DWDM*, с магистральным кабелем с четырьмя оптическими волокнами обеспечивает совокупную скорость передачи цифровых потоков 16 Тбит/с (в 64 тыс. раз больше) при номинальной длине усилительного участка 80 км.

Реальные магистральные оптические кабели имеют не менее 24 оптических волокон. На этом мощном инфраструктурном фундаменте параллельно всемирной телефонной сети связи возникла глобальная цифровая информационно-телекоммуникационная сеть интернет с пакетной коммутацией и стеком протоколов *TCP/IP*, включая протокол передачи голоса – технологию *Voice over IP (VoIP)*. Оптимизация существования сетей передачи данных, сети интернет и традиционной телефонной сети требует решения ряда технических, экономических, организационных и юридических вопросов. Для выработки предложений проведён анализ проблемных вопросов лицензирования интернет-сервисов при осуществлении голосовых вызовов в телефонную сеть общего пользования [137].

Подводя итоги анализа, отметим, что организаторы *VoIP*-сервиса, включая *OTT*-голос, имея или не имея (арендуя) собственной сети связи и не имея ограничений по территории деятельности, создают информационный сервис, обеспечивающий регистрацию пользователей *VoIP* и сетевых адресов их абонентского оборудования. При этом фактически создаётся корпоративная телефонная сеть, которая в рамках нормативного правового поля не подлежит регулированию. С помощью приобретённого у владельцев шлюзов соединения в ТфОП они формируют новую взаимодействующую услугу (сквозное голосовое соединение), которую предоставляют пользователям *VoIP*. В рамках корпоративной сети оплачиваются только те соединения, которые являются результатом комплексирования и для формирования которых используются платные ресурсы телефонной сети.

В существующих условиях формальное сведение взаимодействия голосовых *OTT*-сервисов с телефонными сетями к межоператорскому выглядит не конструктивным, так как, с одной стороны, сегодняшняя ситуация вполне устраивает *OTT*-провайдеров, и попытка возложить на них операторские обязанности, при условии их нахождения вне юрисдикции Российской Федерации, является нереализуемой и вызовет только отторжение.

С другой стороны, отсутствие транспортной сети у провайдера голосовых *OTT*-сервисов делает физически невозможным межоператорское присоединение сетей связи для целей пропуска трафика.

Однако аналогичная деятельность российских операторов связи подлежит регулированию, требует дополнительных затрат и ставит их в неравное положение с организаторами *VoIP*-сервисов.

Свойственная *VoIP*-сетям низкая надёжность по сравнению с традиционными сетями обусловлена следующими факторами. Пакетам, содержащим голосовую и видеонагрузку, для достижения качественной связи присваивается высокий приоритет в механизмах *QoS* (*Quality of Service*). Однако надёжность *VoIP* и сетей передачи данных оценивается всего лишь как 99,9%. Это ниже, чем надёжность традиционных телефонных сетей, у которых данный параметр стремится к 99,999%. Несмотря на то, что разница кажется не очень большой, за год она выливается в дополнительные 8,7 часа, во время которых система не работает. Некоторым предприятиям это может очень сильно навредить.

Развитие интернет-технологий, в частности *SIGTRAN*, позволило перенести и адаптировать уровни протокола Общеканальной Системы №7 к миру *IP*. Сеть стала открытой для более широкой аудитории, и ненадёжные участники телекоммуникационной инфраструктуры используют её возможности для мошеннических действий.

Благодаря своему программному характеру технология *VoIP* подвержена разного рода уязвимостям. Особенно в случае некорректного администрирования аппаратно-программных средств сети *VoIP*, что может приводить к несанкционированному доступу к сетям операторов связи, сетям их партнёров и оборудованию абонентов, а также к взломам корпоративных *IP*-УАТС/АТС и другого оборудования. Кроме того, наличие уязвимостей обусловлено применением операторами связи стандартных решений, типовых и/или упрощённых настроек, несоблюдением норм и мер по обеспечению информационной безопасности, а также использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом.

Существует несколько параметров классификации мошенничества: по применяемым технологиям, видам и целям.

В *IP*-телефонии мошенничество условно делится на насколько типов:

- внешнее (абонентское);
- внутреннее (сотрудники);
- операторское (межоператорское).

К разновидностям внешнего (абонентского) мошенничества относятся: телефонное хулиганство, спам, нелегальная терминация трафика.

Операторское мошенничество подразделяется на:

- обман абонентов операторами связи (например, платные услуги, подключаемые автоматически, с отключением за дополнительную плату);
- мошенничество сотрудников оператора связи, имеющих доступ к телекоммуникационному оборудованию.

В связи с тем, что качество услуг, оказываемых оператором связи, зависит не только от технических параметров сети, но и от степени её защищенности от несанкционированных действий, антифрод-системы, реализующие фрод-мониторинг, являются весьма актуальными, так как они обеспечивают:

- автоматическое отсечение подозрительного трафика;
- защиту абонентов и операторов от взлома и несанкционированного использования сетевых ресурсов;
- минимизацию финансовых и репутационных рисков.

Помимо необходимости технологического учёта социальных и экономических последствий внедрения современных технологий, вопросы нормативного регулирования важны также для обеспечения безопасности граждан и государства в целом. К выработке предложений по решению этих проблем переходим в следующей главе [138].

Выводы по результатам исследований Главы 1

1. Анализ глобальных тенденций инновационного развития сетей телекоммуникаций с учётом особенностей информационной инфраструктуры страны и перечня критических технологий Российской Федерации позволил определить важные направления исследований путей повышения эффективности и устойчивости сетей связи.
2. Проанализированы вопросы устойчивого функционирования телекоммуникационных сетей. Сопоставлены коэффициенты готовности, время переключения и относительные затраты схем резервирования секций мультиплексирования *MSP 1+1*, подсетей *SNCP 1+1*, кольцевого мультиплексного и подсетевого резервирования *MS SPRing*, двухкольцевого *MS SPRing* и кольцевого *SNCP* резервирования и решетчатой самовосстанавливающейся структуры. Представленные результаты позволяют определить в требованиях оптимальный комплексный подход для обеспечения устойчивого функционирования первичных сетей связи.
3. В результате анализа действующей системы лицензирования в РФ определены звенья, несущие признаки анахронизма, показано, что их

сохранение несёт угрозу технологического торможения развития российских сетей связи с применением новых технологий и их последующей деградации в случае длительного промедления с приведением в соответствие регулирующих нормативных правовых актов, прежде всего в сфере лицензирования услуг связи.

4. Проведённый анализ нормативного регулирования показал наличие ряда вопросов, создающих проблемы реализации современных технологических решений при оказании услуг интернет-сервисов. Отсутствие ограничений на присоединение сетей в рамках отдельного уровня иерархии не только осложняют межоператорское взаимодействие, но и несут потенциальную угрозу безопасности абонентов. Остаются за пределами нормирования функциональные возможности современных абонентских устройств. Эти и другие рассмотренные проблемы могут стать препятствием для развития связной отрасли в случае задержек с их адекватным нормативным регулированием

Глава 2. Разработка предложений по нормативному обеспечению эффективного функционирования сетей связи

Развитие телекоммуникационных технологий с течением времени постоянно создаёт новые вызовы, требующие адекватной реакции регулирующих структур, при этом такая реакция должна быть направлена на создание благоприятных условий для всех участников рынка, стимулирование дальнейшего применения современных технологий, облегчение вывода на рынок новых телекоммуникационных услуг связи и цифровых сервисов. Основываясь на анализе в главе 1, перейдём к проработке и обоснованию назревших мероприятий нормативного регулирования [138,141].

§2.1. Обоснование перспективы реформирования системы лицензирования в сфере телекоммуникаций на основе трёхзвенной структуры, как ключевого элемента внедрения перспективных технологий на сети электросвязи РФ

Состав сложившихся лицензионных требований, включённых в постановление Правительства РФ №2385, иллюстрирует рисунок 2.1. При этом среди лицензионных условий для всех лицензируемых услуг связи есть индивидуальные для каждого оператора связи, совпадающие, которые не связаны с конкретной услугой связи, и лицензионные требования, характерные для каждой услуги (типа услуг) связи.

Не останавливаясь на других отдельных противоречиях действующего порядка лицензирования, обратимся к назревшим проблемам, свидетельствующим о необходимости оптимизации процесса лицензирования.

В сложившихся условиях большинство абонентов потребляют не отдельную услугу, а в составе пакета, состоящего из фиксированной и мобильной телефонии, доступа в Интернет, интерактивного телевидения, услуги «умного дома» и др.



Рис. 2.1. Действующие лицензионные требования.

Стриминговое вещание, *OTT*, *VoIP* зачастую маскируются под сервисы, не требующие лицензий для своего функционирования. Высокая стоимость выполнения всех лицензионных и обязательных требований, связанных с безопасностью (СОРМ, закон Яровой, установка ТСПУ, подключение к системе Антифрод по ст. 46.1 Закона «О связи»), делает невозможным функционирование небольших, но самых многочисленных организаций (более 2,5 тыс. действующих микро операторов связи с доходом ниже 20 млн. руб. в год), что приводит к их отказу от лицензий при организации работы в коттеджных посёлках и внутридомовых сетях. Это, в свою очередь, снижает налоговую базу в целом, такие услуги не попадают в сферу контроля СОРМ, не администрируются государством в целом. Сформированный 20 лет назад список лицензируемых услуг связи не учитывает особенностей происходящего процесса цифровизации сетей, ускоренного выполнением Национального проекта «Цифровая экономика». Операторы вынуждены получать множество различных лицензий на оказание услуг связи, например, у 4 крупнейших операторов ПРТС их совокупное количество существенно превышает 1 тысячу (МТС – 430, Теле2 – 309, БиЛайн –

290, Мегафон – 251). Услуги, оказываемые в единой мультисервисной сети, операторы вынуждены формально разделять на несколько, чтобы соответствовать текущим обязательным требованиям и требованиям по СОРМ. Перспективные сети 5G и 6G будут представлять собой единую совокупность фиксированных, подвижных и спутниковых сетей. Наконец, уже сложилась ситуация, когда произошло разделение операторов на инфраструктурных (владеющих сетью, но не связанных с пользователями) и операторов услуг (оказывающих услуги абонентам на арендованной сети). Идёт активное развитие виртуальных операторов ПРТС (*MVNO*), их абонентская база и доходы растут.

Анализ наиболее доходных услуг связи для всех типов операторов связи (средняя доходность более 90%) показывает наличие 5 услуг связи, соответствующих базовым (пакетным) для абонента услугам связи (таблица 2.1) [50].

В сложившихся условиях представляется назревшим переход на трехзвенную структуру лицензирования, включающую инфраструктурные, конвергентные и сервисные услуги. Данный тезис нашёл своё отражение в утверждённой Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года [3].

Таблица 2.1. Соответствие базовых (пакетных) услуг связи и пяти наиболее доходных услуг связи для всех типов операторов связи

Наиболее доходные услуги в 2022 году	Перспективная номенклатура услуг	Доход от услуги, млрд. руб.	Доля в общих доходах, %
Услуги подвижной радиотелефонной связи	Конвергентные услуги связи	460	26,3
Услуги местной телефонной		80	4,6
Услуги в сети передачи данных		682	39,1
Услуги		114	6,5

телерадиовещания			
Услуги присоединения и пропуска трафика	Инфраструктурные услуги связи	284	16,3
Всего:		1 620	93

Конвергентные включают в себя услуги для непосредственных абонентов мультисервисных сетей общего пользования, технологических и выделенных сетей связи; инфраструктурные услуги предоставляются взаимодействующим операторам связи на транспортных сетях, сетях доступа и вещателям на сетях телерадиовещания; сервисные услуги направлены на взаимодействие с конечным пользователем через мультисервисную сеть и сеть Интернет. Схема такого порядка взаимодействия приведена на рисунке 2.2.



Рис. 2.2. Лицензирование услуг на единой сети электросвязи РФ на основе трёх видов лицензий

В соответствии с изображённой на рисунке схемой построения Единой сети электросвязи РФ действующему оператору связи будет предложено выбрать набор лицензий на оказание услуг электросвязи и категорию сети для них, в зависимости от оказываемых в настоящее время услуг, текущего состояния развития сетей связи, степени развития Экосистем (сетевые мессенджеры, онлайн кинотеатры и др.), а также текущих возможностей соблюдения обязательных требований, включая требования по безопасности, отражённых в таблице 2.2. Отметим, что конвергентные услуги связи и сервисные услуги связи базируются на мультисервисных сетях связи общего пользования.

Таблица 2.2. Обобщённые требования по безопасности для услуг связи в трёхзвенной системе лицензирования

Наименование лицензий и категории сетей связи		COPM	Закон Яровой	TСПУ	Антифрод
Конвергентные услуги связи	Мультисервисные сети связи общего пользования	√	√	√	√
	Технологические и корпоративные сети связи	√	√	X	√
	Выделенные сети связи	√	√	X	X
Сервисные услуги связи	Мультисервисные сети связи общего пользования	√	√	X	X
Инфраструктурные услуги связи	Транспортные сети связи	X	X	X	X
	Сети доступа	X	X	X	X
	Сети телерадиовещания	X	X	X	X

Новые лицензиаты будут получать лицензии на основании нового Перечня наименований услуг связи и строить свои сети исходя из новых требований.

Предлагается выдавать операторам связи не более 1 лицензии на каждый вид услуг связи. В случае, если оператор связи планирует расширение территории оказания услуг связи или оказание в другой категории сети в рамках одного вида услуги связи (лицензии), то лицензирующий орган вносит соответствующие изменения в действующую лицензию связи. В лицензионные требования услуг связи при трехзвенной системе лицензирования предлагается не включать обязательные требования, которые установлены в нормативных правовых актах в области связи (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Предлагаемая структура лицензионных требований

При этом для каждого вида услуги связи предлагается разработать три типа нормативных правовых актов, содержащих обобщённые обязательные требования: при предоставлении услуг связи, при построении сетей связи, при обеспечении безопасности оказания услуг связи и функционирования ЕСЭ РФ.

Таким образом, в рамках реформирования системы лицензирования и введения новой трехзвенной структуры потребуются глубокая переработка действующих НПА в области связи (Правил оказания услуг связи, Правил построения, присоединения и пропуска трафика, Требований по СОРМ и др.), всего порядка 20 НПА.

Этот процесс не является простым, однако развитие сетей связи не только требует незамедлительного решения назревших проблем со стороны государства, что отражено в утверждённой Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года, но и показывает угрозу технологического торможения развития российских сетей связи с применением новых технологий и их последующей деградации в случае длительного промедления с приведением в соответствие регулирующих нормативных правовых актов, прежде всего в сфере лицензирования услуг связи.

В последнее время особое значение придаётся нормативному регулированию современных технологических решений, создающих новые возможности предоставления услуг связи, при этом критически важным с точки зрения обеспечения безопасности абонентов. К таковым проблемам относятся вопросы идентификации абонентов, осуществляющих из сети Интернет вызовы в телефонную сеть общего пользования.

§2.2. Разработка требований к правилам лицензирования интернет-сервисов, осуществляющих голосовые выходы в сеть ТфОП

Регулирование предоставления услуг связи в сети связи общего пользования (ССОП) РФ определяется требованиями Федерального закона от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи» [9] (далее – ФЗ «О связи»), Федерального закона от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [51] (далее – ФЗ-149) и рядом подзаконных актов (Постановления

Правительства РФ – далее ПП, Приказами Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации – далее П) [26,32,39,41-46,52-54].

В соответствии с п.1 ст. 29 ФЗ «О связи» [9] деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей по возмездному оказанию услуг связи осуществляется только на основании соответствующих лицензий, список которых определён ПП №2385 [26] .

Порядок предоставления лицензированных услуг связи регламентирован ПП №1342 [43] (услуги телефонной связи) и ПП №2606 [42] (услуги связи по передаче данных).

Лицензионные требования однозначно указывают на отсутствие возможности по обмену голосовым трафиком между оператором сети телефонной связи и оператором сети передачи данных (ПД), а также между операторами ПД на уровне межоператорского взаимодействия.

Обмен голосовым трафиком, передаваемым в сетях ПД, на уровне межоператорского взаимодействия разрешён только лицензиатам передачи данных, предназначенных для передачи голосовой информации (ПДГИ). Учитывая то, что операторы ПДГИ, как правило, не взимают плату со своих абонентов за вызовы без выхода в сети телефонной связи, данное разрешение оказалось невостребованным, и абоненты сетей ПД различных операторов успешно могут стать абонентами одного оператора ПДГИ или пользователями *VoIP*-сервиса. Услуги, предоставляемые операторами ПДГИ, являются сервисами, не привязанными к конкретной сети связи ПД, если только оператор сети ПД не вводит искусственные ограничения.

Операторы ПДГИ реализуют те же варианты применения технологии *VoIP*, что и *VoIP*-сервисы. ФЗ-149 [51] относит организаторов *VoIP*-сервисов к категории организаторов распространения информации (ОРИ). Лицензия ПДГИ накладывает

на операторов ПДГИ более жёсткие требования социального регулирования. Например, ограничение лицензии на территорию предоставления услуг связи может быть снято переносом сервисной платформы за границу Российской Федерации и регистрацией сервиса в Реестре ОРИ.

Наиболее востребованные *VoIP*-сервисы находятся вне юрисдикции Российской Федерации, и существующая ситуация вполне их устраивает. Необходимость российских организаций получать лицензию ПДГИ для предоставления аналогичных услуг тормозит их развитие и ставит в неравное положение с организаторами *VoIP*-сервисов.

§2.3. Обоснование порядка технического обеспечения идентификации абонентов, инициирующих голосовые соединения в сети передачи данных

Происходящая конвергенция сетей связи с коммутацией каналов и коммутацией пакетов поставила новые задачи как перед операторами связи, так и перед регулятором. Отработанные многими годами успешного применения принципы нормативного регулирования традиционных телефонных сетей общего пользования (ТфОП) неприменимы к современным телекоммуникационным технологиям, имеющим ряд принципиально новых возможностей и способов реализации. Российские нормативно-правовые акты (НПА) сильно отстают от практики построения сетей в рамках современных концепций построения фиксированных сетей. Всесторонний анализ сложившейся ситуации представлен в настоящем параграфе [133].

Действующее законодательство не накладывает ограничений на использование технологий для построения телефонных сетей связи. Например, пунктом 2 «Требований к построению телефонной сети связи общего пользования» [32] допускается организация телефонного соединения с использованием

оборудования коммутации и маршрутизации пакетных сетей и/или сетей передачи данных (СПД). Таким образом, современные телефонные сети связи развиваются на базе как традиционных технологий, так и технологий пакетной передачи и СПД. Одно из основных требований к телефонным сетям – использование нумерации *E.164* для идентификации оконечного оборудования. При этом вполне допустимо местную телефонную сеть связи создавать на базе *IP*-сети с применением технологий *Voice over IP (VoIP)*. Например, ПАО «Ростелеком» предоставляет услуги местной телефонной связи по схемам, технически неотличимым от услуг передачи данных для передачи голосовой информации (ПДГИ), с использованием таких технологий доступа, как технология гигабитных пассивных оптических сетей *Gigabit Passive Optical Network (GPON)* и *Ethernet*, но со стыком с телефонной сетью и с применением телефонной нумерации.

В сетях подвижной радиотелефонной связи (ПРТС) используются похожие решения (например, *VoLTE*). Подобные сети будут относиться к категории телефонных сетей, и услуги связи, оказываемые с их помощью, не будут являться услугами ПДГИ. Однако многоуровневое иерархическое построение ТфОП, требования к которому установлены в «Правилах присоединения сетей электросвязи и их взаимодействия» [40] и «Требованиях к построению телефонной сети связи общего пользования» [32], регламентированное «Требованиями к порядку пропуска трафика в ТфОП» [43], накладывает определённые ограничения на маршрутизацию соединений и не позволяет в полной мере использовать возможности перспективных технологий.

Общая схема пропуска голосового трафика на территории Российской Федерации приведена на рис.2.4, где показано, что регулируемый НПА голосовой трафик может проходить только отдельно по верхней и нижней частям схемы, выделенным зелёным цветом, несмотря на наличие разрешённых соединений, обозначенных красным цветом.

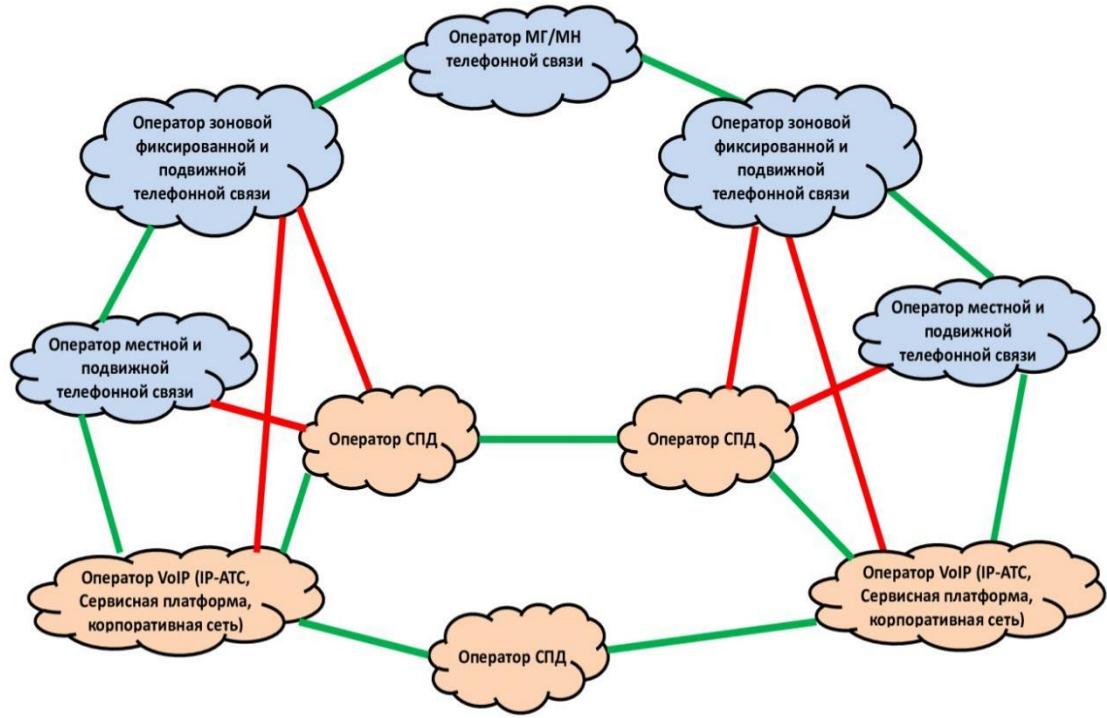


Рис. 2.4. Схема пропуска голосового трафика на территории РФ

В Российской Федерации к настоящему времени для СПД, в отличие от телефонных сетей, не установлены требования ни к построению, ни к порядку пропуска трафика, ни к перечню услуг по пропуску телефонного трафика. Решение данных вопросов остаётся за оператором связи. Предъявляемые к СПД требования в основном касаются присоединения к ТфОП на различных уровнях (местном и зоновом) и пропуска трафика передачи данных, относящегося к оказанию услуг по предоставлению доступа в интернет [52].

Существующая в России система лицензирования услуг связи фактически

разрешает использование лицензии на передачу голосовой информации по СПД только для корпоративных сетей связи без выхода в ТфОП, так как в таких сетях «Правилами оказания услуг по передаче данных» [42] явно запрещено использование телефонной нумерации *E.164*.

Несмотря на запрет предоставления абонентам (пользователям) СПД голосовых соединений с абонентами сетей ТфОП (как и абонентам сетей ТфОП с абонентами (пользователями) СПД), такие сервисы на сети связи общего пользования (ССОП) присутствуют, причем в последнее время во все большем объеме. Это объясняется в том числе тем, что взаимное присоединение сетей ТфОП и передачи данных разрешено нормами действующего законодательства. На рис.2.5 представлены наиболее часто встречающиеся варианты инициированных в СПД голосовых вызовов, терминация которых осуществляется на сетях ТфОП. Зеленым и синим цветами обозначены нормативно регулируемые соединения, а красным – нормативно не определённые, но широко используемые в действительности.

IP-телефония базируется на стеке протоколов TCP/IP, а в качестве среды передачи данных могут использоваться как корпоративные, так и публичные СПД (интернет). Как следствие, *IP*-телефония наследует все сопутствующие этим сетям уязвимости. Это обстоятельство вызывает необходимость тщательного анализа СПД и разработки способов обеспечения их безопасности.

Важно подчеркнуть, что особенности технологии сетей *IP*-телефонии позволяют использовать их для совершения мошеннических голосовых вызовов в ТфОП с подменой номеразывающей стороны. Данная возможность позволяет передавать или отображать на оконечном оборудовании вызываемого абонента вводящую в заблуждение или неточную информацию об идентификаторезывающего абонента.

Появление различных видов сетевого мошенничества требует создания

целостной системы противодействия, поскольку их развитие приносит все более существенный ущерб операторам связи, государству в целом и широкому кругу абонентов.

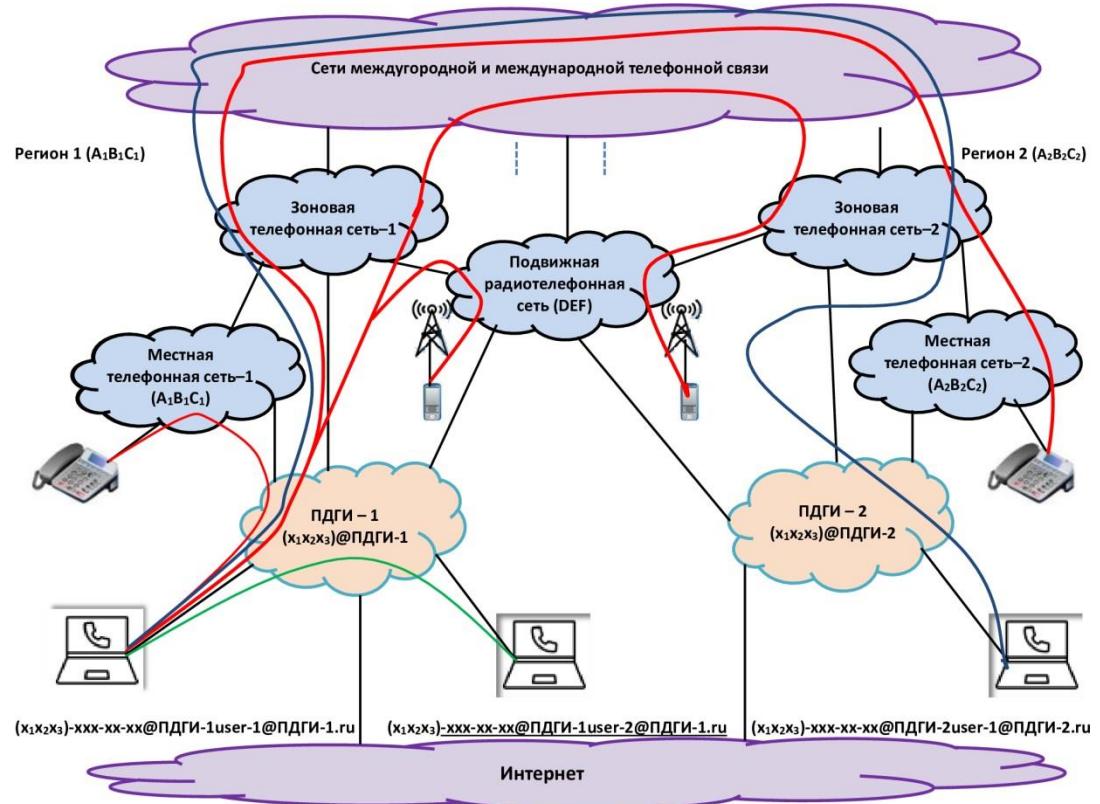


Рис. 2.5. Варианты инициированных в СПД голосовых вызовов, терминация которых осуществляется на сетях ТфОП

При этом наиболее важной задачей является идентификация абонентов. Мошеннические вызовы могут быть обнаружены на основе информации о местоположении источника вызова, анализа сигнальной информации или анализа состояний вызова.

Предложения по регулированию ПДГИ. Предусмотренная «Правилами присоединения сетей электросвязи и их взаимодействия» услуга присоединения на абонентском уровне, оказываемая оператором сети местной телефонной связи, нигде не определена. Технологически СПД могут быть присоединены к ТфОП на

местном (абонентском) и зоновом уровнях присоединения.

«Правила присоединения сетей электросвязи и их взаимодействия» [40] и Приказ Минцифры № 94 [44] предусматривают необходимость обеспечения операторами местных телефонных сетей возможности для абонентов подключаться к СПД посредством ресурсов телефонных сетей.

В настоящее время используются следующие технологии организации доступа пользователей к сетям связи:

- использование существующей канальной инфраструктуры низкочастотных медных линий для предоставления доступа к узкополосным и широкополосным услугам посредством модемов различных разновидностей цифровых абонентских линий *Digital Subscriber Line – xDSL (HDSL, ADSL, VDSL и др.)*;
- использование технологий радиодоступа *RLL (Radio Local Loop)* для узкополосного и широкополосного фиксированного и мобильного доступа с разделением радиочастотных ресурсов по спектру частот, по времени, а также с кодовым разделением;
- использование волоконно-оптических технологий *Fiber To The Home (FTTx)*, *например, пассивной оптической сети (Passive Optical Network, PON)*.

Таким образом, для построения СПД используется довольно много технологий, каждая из которых определяет структурные элементы сетей, их специфические функции и взаимосвязи. Поэтому принятие требований к построению СПД, в том числе к их иерархической структуре, на уровне НПА представляется нецелесообразным. Подобные ограничения приведут к дополнительным финансовым затратам операторов связи, снизят их конкурентоспособность, а также замедлят внедрение инновационных технологий. Вместе с тем для обеспечения целостности, устойчивости функционирования и безопасности ССОП достаточно ограничиться требованиями к размещению узлов СПД и к линиям связи для их соединения друг с другом. Суть предложений

такова:

- оконечные и транзитные узлы СПД оператора связи, оказывающего услуги ПДГИ на территории Российской Федерации, должны размещаться на территории РФ;
- для соединения узлов СПД допускается использовать линии связи, проходящие только по территории РФ или через спутники связи (исключение составляют узлы СПД, расположенные в Калининградской области и на территориях, находящихся под юрисдикцией Российской Федерации за её пределами);
- при наличии в составе СПД двух и более узлов не менее двух из них должны быть смежными с узлами другой (других) СПД;
- транзитные узлы СПД, в состав которой входит международный транзитный узел, должны размещаться в каждом федеральном округе Российской Федерации;
- не менее двух линий связи, связывающих международный транзитный узел с другими узлами связи СПД, не должны использовать общие линии передачи и физические цепи.

Для реализации задачи легального пропуска голосовых вызовов между СПД и ТфОП помимо разработки «Правил идентификации абонентов, инициирующих соединение для целей передачи голосовой информации в сети передачи данных», необходима корректировка ряда НПА, определяющих правила лицензирования и оказания услуг связи. Наиболее актуальные вопросы, требующие нормативных решений в части лицензирования интернет-сервисов, осуществляющих голосовые вызовы в сети ТфОП, рассмотрены нами ранее в параграфах 2.4 и 2.5. Остановимся на ключевых положениях в вопросах идентификации абонентов, пользующихся такими сервисами.

Представляется необходимым ввести в Закон «О связи» понятие «средства

связи абонента - юридического лица (индивидуального предпринимателя)».

Средства связи абонента - юридического лица (индивидуального предпринимателя) – средства связи, подключаемые к сети связи оператора связи и предназначенные для использования в качестве оконечного оборудования при предоставлении услуг связи пользователям абонента - юридического лица либо индивидуального предпринимателя.

Одновременно с этим необходимо установить требования к средствам связи абонента. Средства связи абонента (шлюзы, УАТС) должны обеспечивать предоставление возможности вызываемой стороне совершать обратный звонок пользователю абонента, от которого поступил вызов.

На основе общемировой практики и международного опыта борьбы с сетевым мошенничеством в России в 2021–2022 гг. были принятые НПА [61, 62], в которых изложены меры, направленные на противодействие мошенническим голосовым вызовам из сетей ПДГИ в ТфОП и включающие требования к системе «Антифрод», оператором которой назначен ФГУП «ГРЧЦ», а также порядок взаимодействия с ней в части обмена информацией.

Также следует отметить, что в июне 2021 г. представители ФАС России и сотовых компаний (ПАО «МТС», ПАО «ВымпелКом», ПАО «МегаФон», ООО «T2 Мобайл») подписали «Меморандум противодействия голосовым вызовам в сети связи общего пользования, совершенным с нарушением требований законодательства».

Таким образом, имеющиеся пробелы в отраслевой нормативной правовой базе не позволяют в полной мере использовать преимущества IP-телефонии, а также создают ограничения конкурентоспособности операторов связи и потенциальные возможности совершения мошеннических действий.

Для полноценного использования IP-телефонии требуется выработать предложения:

- по сетевому взаимодействию, обеспечивающие детальное регулирование технических и экономических условий присоединения и пропуска VoIP трафика;
- по сетевому нейтралитету, дающему абоненту право на выбор любого оператора связи и сервисов, возможность подключения к сети любых устройств, которые не наносят вреда сети связи;
- по идентификации пользователей, обеспечивающей возможность взаимодействия между пользователями сети или группы сетей связи.

Выводы по результатам исследований Главы 2

1. Предложен и обоснован вариант перспективного реформирования системы лицензирования с введением новой трёхзвенной структуры, показана необходимость глубокой переработки действующих НПА в области связи (Правил оказания услуг связи, Правил построения, присоединения и пропуска трафика, Требований по СОРМ и др.), всего порядка 20 НПА.

2. Анализ проблем идентификации абонентов, инициирующих голосовые соединения в сети передачи данных, позволил выявить ряд проблемных вопросов.

2.1. Особенности технологии сетей *IP*-телефонии открывают возможность использовать их для совершения мошеннических голосовых вызовов в ТфОП с подменой номера вызывающей стороны. Появление различных видов сетевого мошенничества требует создания целостной системы противодействия, поскольку их распространение приносит все более существенный ущерб операторам связи, государству в целом и широкому кругу абонентов. При этом наиболее важной задачей является идентификация абонентов.

2.2. На основании анализа сложившейся структуры и схем оказания услуг ПДГИ на территории РФ для различных вариантов соединений абонентов СПД и ТфОП даны предложения по сетевому

регулированию голосовых соединений, инициированных в сетях передачи данных.

2.3. Требует безотлагательного решения следующее:

а) выделение операторам ПДГИ уникальной нумерации, идентифицирующей абонентов ПДГИ в сети ССОП;

б) обеспечение корректной маршрутизации голосовых вызовов между СПД и ТфОП;

в) обеспечение возможности оказания операторами СПД и ТфОП возмездных голосовых услуг своим абонентам (пользователям);

г) обеспечение СОРМ и экстренных оперативных служб (в части голосовых вызовов между СПД и ТфОП).

3. Для решения этого комплекса проблем представляется необходимым, в конечном итоге, выделить номерную ёмкость для услуг ПДГИ. Таковым могло бы стать выделение для услуг ПДГИ номерной ёмкости с кодом географически не определяемой зоны нумерации «5».

Глава 3. Разработка методики расчёта норм аварийного резерва и нормативов ЗИП на ремонтно-эксплуатационное обслуживание оборудования связи

§3.1. Теоретическая модель оптимального комплектования ЗИП

Одним из факторов, определяющих качество и устойчивость функционирования сетей связи [9,63,68-74,80,81,84,85], является обеспеченность эксплуатационных подразделений комплектами запасных частей, инструментов и приспособлений (ЗИП). Комплекты ЗИП предназначаются для поддержания исправного состояния изделия путём замены отказавших функциональных элементов. Различают одиночные и групповые ЗИП [79, 82, 86, 87]. Одиночный комплект ЗИП поставляется с каждым изделием, хранится и используется на месте

его эксплуатации. Групповой комплект ЗИП поставляется самостоятельно, хранится, как правило, централизовано, и предназначается для технического обслуживания однородного оборудования связи.

Недостаточный запас сменных частей может привести к простою системы связи, а избыточный – к неэффективному использованию финансовых ресурсов. Имеется значительное количество теоретических работ по оптимальному комплектованию ЗИП [65, 66, 75-78, 83, 88-92]. Однако в них недостаточно раскрыта динамика пополнения группового ЗИП в процессе ремонтно-эксплуатационного обслуживания. В данной главе предложено решение этой актуальной для операторов связи задачи.

Теоретические предпосылки. Среднее время восстановления много меньше среднего периода безотказной работы – длительности исправного состояния оборудования между двумя последовательными отказами. Поток отказов представляет собой ординарный поток событий $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} [p''(t, \Delta t)/\Delta t] = 0$, где $p''(t, \Delta t)$ – вероятность 2-х и более отказов на интервале Δt , и интенсивность отказов – величина постоянная вне зависимости от рассматриваемого момента времени. Длительности периодов безотказной работы случайны и подчиняются экспоненциальному (показательному) закону с плотностью вероятности $f(x) = \frac{1}{\theta} \exp(-x/\theta)$, где параметр θ может быть интерпретирован как среднее значение периода безотказной работы. Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение экспоненциального распределения равны θ . Графики функции распределения приведены на Рисунке 3.1. Числовые характеристики и плотность вероятности экспоненциального распределения представлены в таблице 3.1.

Длительность периодов безотказной работы связана с количеством отказов: чем больше длительность безотказной работы, тем меньше количество отказов в единицу времени, и наоборот.

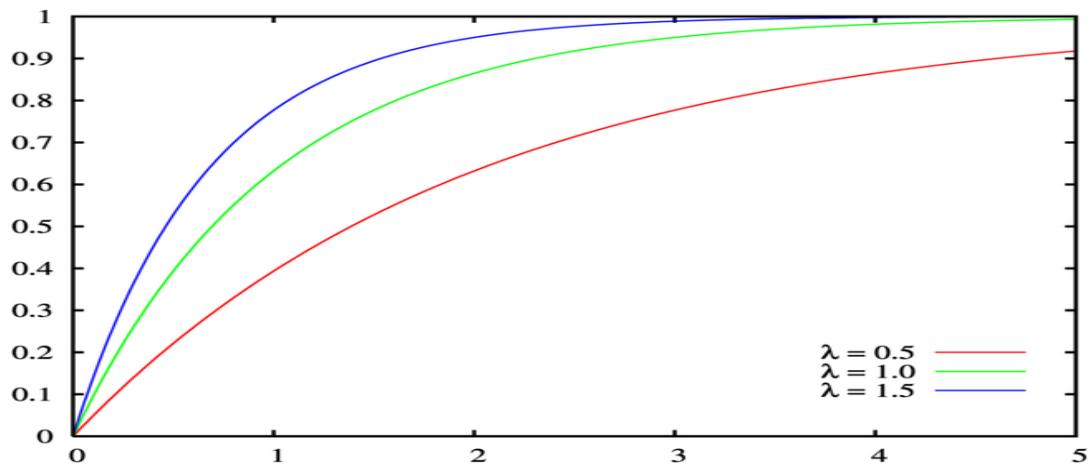


Рис.3.1 Экспоненциальное распределение. Функция распределения

Таблица 3.1. Числовые характеристики и плотность вероятности экспоненциального распределения

№ п/п	Наименование	Значение
1.	Математическое ожидание	$1/\lambda$
2.	Среднее квадратическое отклонение	$1/\lambda$
3.	Медиана	$\ln 2/\lambda$
4.	Плотность вероятности	$\lambda e^{-\lambda x}$

Функциональная связь между этими случайными величинами позволяет найти распределение отказов оборудования или, что то же самое, распределение использованных сменных частей ЗИП.

Соотношение между экспоненциальным и пуассоновским распределениями. В монографии К. Камбура и Л. Ламберсона [76] показано, что экспоненциальное и пуассоновское распределения [86] связаны друг с другом следующей теоремой.

Теорема [76]. Если наработка на отказ является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону с параметром θ , то число отказов в

интервале с продолжительностью t единиц является случайной величиной, распределенной по закону Пуассона с параметром $\frac{t}{\theta}$, т.е. если $f(x) = \frac{1}{\theta} \exp(-x/\theta)$, $x \geq 0$, где x - наработка на отказ (случайная величина), то на интервале продолжительностью t единиц имеем $P(r) = \frac{(\frac{t}{\theta})^r \exp(-\frac{t}{\theta})}{r!}$.

Доказательство. Пусть $N(t)$ – число отказов в интервале $[0, t]$, а T_r – момент появления r -го отказа. $N(t) < r$ тогда и только тогда, когда $T_r > t$. Или $P[N(t) < r] = P(T_r > t)$ и $P[N(t) < r + 1] = P(T_{r+1} > t)$.

Следовательно, $P[N(t) = r] = P(T_{r+1} > t) - P(T_r > t) = [1 - P(T_{r+1} \leq t)] - [1 - P(T_r \leq t)] = P(T_r \leq t) - P(T_{r+1} \leq t) = F_{T_r}(t) - F_{T_{r+1}}(t)$.

$T_x = x_1 + x_2 + \dots + x_r$, где x_i независимые случайные величины, распределенные по экспоненциальному закону. Производящая функция моментов для T_r имеет вид $M_{T_r}(s) = [M_x(s)]^r$. В случае экспоненциального распределения $M_x(s) = \frac{1}{1 - \theta_s}$. Следовательно, $M_{T_r}(s) = [\frac{1}{1 - \theta_s}]^r$, откуда $f(T_r) = \frac{\frac{1}{\theta_s} e^{-\frac{T_r}{\theta}} (\frac{T_r}{\theta})^{r-1}}{(r-1)!}$, $T_r \geq 0$. Интегрируя, получаем

$$F_{T_r}(t) = \int_0^t \frac{\frac{1}{\theta_s} e^{-\frac{T_r}{\theta}} (\frac{T_r}{\theta})^{r-1}}{(r-1)!} dT_r = \frac{1}{\theta^r} \frac{1}{(r-1)!} \int_0^t T_r^{r-1} e^{-T_r/\theta} dT_r.$$

После интегрирования по частям и преобразований, находим

$$P[N(t) = r] = F_{T_r}(t) - F_{T_{r+1}}(t) = e^{-t/\theta} \left[-\frac{1}{r!} \left(\frac{t}{\theta} \right)^r \right] = \frac{(t/\theta)^r e^{-t/\theta}}{r!}.$$

Последнее выражение представляет собой функцию пуассоновского распределения с параметром t/θ . Таким образом, если в некотором интервале $[0, t]$ наработка до отказа имеет экспоненциальное распределение с параметром θ , то число отказов имеет пуассоновское распределение с параметром t/θ .

Распределение Пуассона – вероятностное распределение дискретного типа, моделирует случайную величину, представляющую собой число событий,

произошедших за фиксированное время, при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга. Для дальнейшего важно, что математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и мода пуассоновского распределения одинаковы и равны $\frac{t}{\theta}$. График плотности вероятности распределения Пуассона приведён на рис. 3.2.

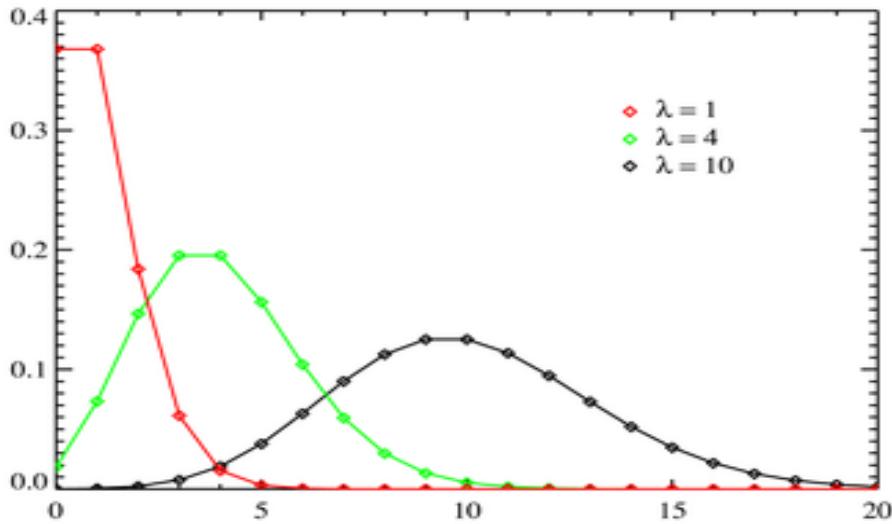


Рис. 3.2. График плотности вероятности распределения Пуассона

Принципиальное значение имеют следующие два свойства этой случайной величины.

1. Распределение Пуассона относится к классу безгранично-делимых распределений [64], и сумма таких случайных величин также имеет пуассоновское распределение с математическим ожиданием, равным сумме математических ожиданий, а суммарная дисперсия равна сумме дисперсий (среднее квадратическое отклонение пропорционально корню квадратному от числа слагаемых) [64].

2. Если число слагаемых случайных величин не менее четырёх, то с достаточной для практики точностью распределение Пуассона аппроксимируется нормальным распределением Лапласа-Гаусса с вероятностью одностороннего двухсигмового отклонения $P(x \leq m + 2\sigma) = 0,975$, где x – количество отказов

(количество использованных запасных частей из комплекта ЗИП), m - математическое ожидание, а σ - среднее квадратическое отклонение количества отказов.

Как будет видно из дальнейшего, расчетное значение показателя обеспеченности группового (ЗИП-Г) целесообразно принять равным 0,975. Для обеспечения нормированных значений коэффициента готовности оборудования реальное значение показателя обеспеченности должно быть близко к 1. Это обеспечивается требованием, чтобы период ревизии и пополнения ЗИП-Г был существенно меньше среднего значения наработки до отказа рассматриваемой составной части (СЧ) комплекта ЗИП.

Пример расчёта нормативов ЗИП-Г. Рассмотрим особенности расчета нормативов ЗИП-Г на конкретном примере определения необходимого запаса входных блоков коммутатора [91] при следующих исходных данных: общее количество изделий, защищаемых групповым комплектом ЗИП $m = 100$ штук; средняя наработка до отказа $\theta = 5000$ часов (интенсивность отказов $\lambda = 2 \times 10^{-5}$ 1/час); период пополнения ЗИП - 8766 часов (1 год); коэффициент обеспеченности $K_n = 0,975$.

Алгоритм расчёта:

1. Задаётся последовательность календарных лет жизненного цикла изделия (период эксплуатации), п.1 таблицы 3.2.
2. Определяется длительность эксплуатации составной части комплекта ЗИП на конец года, t , п.2 таблицы 3.2.
3. Рассчитывается вероятность наработки до отказа СЧ за текущий период эксплуатации как функции экспоненциального распределения $P = 1 - e^{-\lambda \times t \times 8766}$, п.3 таблицы 3.2.

4. Рассчитывается интенсивность отказов q СЧ за календарный год как разность значений функции экспоненциального распределения последующего и текущего года эксплуатации, п.4 таблицы 3.2.

5. Рассчитывается и округляется до целого числа значение количества отказов за год СЧ, установленных в начале 2015 года, при показателе обеспеченности 0,975 как односторонний двухсигмовый процентиль нормального распределения $N = q \times m + 2 \times q \times \sqrt{m}$, п.5 таблицы 3.2.

6. Аналогично п. 5 рассчитываются значения отказов СЧ, установленных в последующие годы, п. 6 – 14 таблицы 3.2.

7. Рассчитывается общее количество СЧ по годам как суммы в столбцах п. 4 – 14, п. 15 таблицы 3.2.

Показано решение актуальной для операторов связи задачи – создание нормативов пополнения группового ЗИП в процессе ремонтно-эксплуатационного обслуживания. Обоснованные нормативы ЗИП, с одной стороны, обеспечивают требуемую надёжность оборудования связи, а с другой, - снижают затраты на длительное хранение избыточных запасов СЧ в процессе эксплуатации. Строгое теоретическое обоснование нормативов ЗИП эффективно. Как показывает конкретный расчёт: при относительно низкой наработке на отказ (немногим более половины года) ежегодное пополнение ЗИП составляет всего 20% от общего количества защищаемого оборудования.

§3.2. Разработка методики расчёта группового ЗИП

Следуя традиции, представим основные положения методики расчёта ЗИП-Г в виде рациональной последовательности действий.

1. Определяется номенклатура ЗИП-Г для группы объектов электроэнергетики.
2. Формируется перечень исходных данных для расчёта:

- количество одинаковых элементов i -го типа m_i с одним значением наработки до отказа;
- значение наработки до отказа T_0 элементов i -го типа;
- интенсивность потока отказов элементов i -го типа λ_i ;
- год начала эксплуатации m_i элементов i -го типа;
- прогнозный период эксплуатации элементов i -го типа;
- период времени от начала эксплуатации изделия, для которого рассчитывается начальный уровень запаса составных частей в комплекте ЗИП t_δ (целесообразно задавать значение $t_\delta = 8\ 766$ часов – один год эксплуатации изделия¹).

¹ До определения достоверных эксплуатационных показателей надежности период ревизии и пополнения группового ЗИП-Г целесообразно уменьшить до одного полугодия.

Таблица 3.2 Пример расчета общего потребного количества составных частей (СЧ) в ЗИП-Г (*по годам*)

№ п/п	Наименование	Значение									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1.	Годы календарные										
2.	Длительность эксплуатации на конец года	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.	Вероятность наработки до отказа СЧ за период эксплуатации	0.160 8	0.295 8	0.4090	0.5040	0.5838	0.6507	0.7069	0.7540	0.7936	0.8268
4.	Интенсивность отказов СЧ за год	0.160 8	0.135 0	0.1132	0.0950	0,0798	0.0669	0.0562	0.0471	0.0396	0.0332
5.	Количество отказов 100 установленных в начале 2015 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975 (<i>по годам</i>)	19	16	14	11	10	8	7	6	5	4
6.	Количество отказов 19 установленных в течение 2015 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975		4	4	3	3	2	2	2	1	1
7.	Количество отказов 16 установленных в течение 2016 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975			4	3	3	2	2	2	1	1
8.	Количество отказов 14 установленных в течение 2017 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975				3	3	2	2	2	1	1

9.	Количество отказов 11 установленных в течение 2018 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975					3	2	2	2	1	1
10.	Количество отказов 10 установленных в течение 2019 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975					3	2	2	2	1	
11.	Количество отказов 8 установленных в течение 2020 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975						2	2	2	1	
12.	Количество отказов 7 установленных в течение 2021 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975							2	2	1	
13.	Количество отказов 6 установленных в течение 2022 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975								2	1	
14.	Количество отказов 5 установленных в течение 2023 года СЧ при показателе обеспеченности 0,975										2
15.	Общее потребное количество СЧ в ЗИП-Г (по годам)	19	20	22	20	21	19	19	18	17	14

3. Определяются значения исходных данных

В таблице 3.3 приведена форма заданий исходных данных.

Таблица 3.3 Перечень исходных данных для расчёта группового ЗИП

Наименование	Значение
m_i	
T_0 , час	
λ_i , 1/час	
t_δ , час	
год начала эксплуатации m_i элементов i -го типа	
прогнозный период эксплуатации элементов i -го типа, лет	

4. Реализовать методику при помощи электронных таблиц *MS Excel*, в расчётные строки заносятся следующие данные:

- годы календарные;
- период эксплуатации на конец года, t ;
- вероятность наработки до отказа за период эксплуатации;
- вероятность наработки до отказа за год;
- среднее количество отказов 100 установленных элементов по годам;
- количество отказов 100 установленных элементов при показателе обеспеченности ЗИП-Г 0,975 по годам.

5. Рассчитать вероятность наработки до отказа P за период эксплуатации рассчитывается по формуле

$$P = 1 - e^{-\lambda_i t}.$$

6. Рассчитать вероятность наработки до отказа за год как разность значений вероятности наработки до отказа за период до следующего (за расчётым) года и вероятности наработки до отказа за период до расчётного года.

7. Рассчитать средние значения количества отказов за первый расчетный год по формуле $M_i = [P \times m_i]$, где квадратные скобки означают округление до целого числа.
8. Рассчитать значения количества отказов (количество использованных элементов ЗИП) за первый расчётный год с учётом двухсигмовых отклонений (показатель обеспеченности ЗИП-Г 0,975) по формуле $M_{i0,975} = [P \times m_i + 2 \times P \times \sqrt{m_i}]$, где квадратные скобки означают округление до целого числа.
9. Расчеты по п. 7. и 8. повторяются для второго (и следующих) расчётных годов, но вместо значения m_i используется значение $M_{i0,975}$.
10. Значения $M_{i0,975}$ для каждого расчётного года суммируются.
- Пример расчёта необходимого количества входных (выходных) блоков маршрутизатора в групповом комплекте ЗИП-Г.
- 1) Исходные данные для расчёта количества входных (выходных) блоков маршрутизатора в групповом комплекте ЗИП-Г

Таблица 3.4 Исходные данные для расчета группового ЗИП

Наименование	Значение
m_i	100
T_0 , час	50000
λ_i , 1/час	0,00002
t_d , час	8766
год начала эксплуатации m_i элементов i -го типа	2015
прогнозный период эксплуатации элементов i -го типа, лет	10

2) Необходимое количество входных (выходных) блоков маршрутизатора в групповом комплекте ЗИП-Г

Таблица 3.5 Расчет запасных входных (выходных) блоков маршрутизатора в групповом комплекте ЗИП-Г

№ п/ п	Наименование	Значение									
1.	Годы календарные	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
2.	Период эксплуатации на конец года	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.	Вероятность наработки до отказа за период эксплуатации	0.1608	0.2958	0.4090	0.5040	0.5838	0.6507	0.7069	0.7540	0.7936	0.8268
4.	Вероятность наработки до отказа за год	0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	0.0798	0.0669	0.0562	0.0471	0.0396	0.0332
5.	Среднее количество отказов 100 установленных элементов по годам	16	13	11	10	8	7	6	5	4	3
6.	Количество отказов 100 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975	19	16	14	11	10	8	7	6	5	4
7.	Вероятность наработки до отказа за год		0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	0.0798	0.0669	0.0562	0.0471	0.0396
8.	Среднее количество отказов 19 установленных элементов по годам		3	3	2	2	2	1	1	1	1
9.	Количество отказов 19 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975		4	4	3	3	2	2	2	1	1
10.	Вероятность наработки до отказа за год			0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	0.0798	0.0669	0.0562	0.0471
11.	Среднее количество отказов 16 установленных элементов по годам			3	3	2	2	1	1	1	1
12.	Количество отказов 16 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975			4	3	3	2	2	2	1	1
13.	Вероятность наработки до отказа за год				0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	0.0798	0.0669	0.0562
14.	Среднее количество отказов 14 установленных элементов по годам				2	2	2	1	1	1	1
15.	Количество отказов 14 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975				3	3	2	2	2	1	1
16.	Вероятность наработки до отказа за год					0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	0.0798	0.0669
17.	Среднее количество отказов 11 установленных					2	1	1	1	1	1

	элементов по годам										
18.	Количество отказов 11 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975				3	2	2	2	1	1	
19.	Вероятность наработки до отказа за год					0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	0,0798	
20.	Среднее количество отказов 10 установленных элементов по годам					2	1	1	1	1	
21.	Количество отказов 10 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975					3	2	2	2	1	
22.	Вероятность наработки до отказа за год						0.1608	0.1350	0.1132	0.0950	
23.	Среднее количество отказов 8 установленных элементов по годам						1	1	1	1	
24.	Количество отказов 8 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975						2	2	2	1	
25.	Вероятность наработки до отказа за год							0.1608	0.1350	0.1132	
26.	Среднее количество отказов 7 установленных элементов по годам							1	1	1	
27.	Количество отказов 7 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975							2	2	1	
28.	Вероятность наработки до отказа за год								0.1608	0.1350	
29.	Среднее количество отказов 6 установленных элементов по годам								1	1	
30.	Количество отказов 6 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975								2	1	
31.	Вероятность наработки до отказа за год									0.1608	
32.	Среднее количество отказов 5 установленных элементов по годам									1	
33.	Количество отказов 5 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975									2	
34.	Количество отказов 100 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975	19	16	14	11	10	8	7	6	5	4
35.	Количество отказов 19 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975		4	4	3	3	2	2	2	1	1

36.	Количество отказов 16 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975			4	3	3	2	2	2	1	1
37.	Количество отказов 14 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,9				3	3	2	2	2	1	1
38.	Количество отказов 11 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975					3	2	2	2	1	1
39.	Количество отказов 10 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975						3	2	2	2	1
40.	Количество отказов 8 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975							2	2	2	1
41.	Количество отказов 7 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975								2	2	1
42.	Количество отказов 6 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975									2	1
43.	Количество отказов 5 установленных элементов при показателе обеспеченности 0,975										2
44.	Общее количество элементов ЗИП-Г по годам	19	20	22	20	21	19	19	18	17	14

На основании проведённого анализа можно сделать следующие выводы.

Нормативы ЗИП зависят от заданных параметров доступности сети связи. Официальный параметр, определяющий доступность сети связи для пользователей, – коэффициент готовности. В соответствии с требованиями ОСТ 4 Г0.012.021 Аппаратура радиоэлектронная. Проектирование и комплектование ЗИП [79] показатель обеспечения изделия (группы изделий) невосстанавливаемыми запасными элементами P_{tr} в зависимости от требований, предъявляемых к изделию, и условий его применения выбирается по согласованию с заказчиком в пределах от 0,8 до 0,99. Требования к показателю обеспечения изделия восстанавливаемыми запасными элементами должны задаваться таким образом, чтобы ограниченность комплектов ЗИП практически не ухудшала надёжность изделия. Например:

$$\Pi_{tr} \geq 0,95 \quad \text{при } 0,5 \leq K_r \leq 0,9;$$

$$\Pi_{tr} \geq 0,995 \quad \text{при } 0,91 \leq K_r \leq 0,99;$$

$$\Pi_{tr} \geq 0,9995 \quad \text{при } 0,991 \leq K_r \leq 0,999.$$

При этом следует иметь ввиду, что при любом значении P_{tr} или Π_{tr} меньше 1 итоговая готовность системы может оказаться ниже любого наперёд заданного значения, поскольку при отсутствии запаса время поставки необходимого элемента или составной части может оказаться на много порядков больше среднего времени восстановления системы. Поэтому приведённые значения P_{tr} или Π_{tr} следует рассматривать как расчётные величины, а заданная готовность системы обеспечивается в конечном итоге тем, что время ревизии и пополнения ЗИП задаётся меньше, чем среднее значение наработки до отказа. При расчёте группового ЗИП P_{tr}

целесообразно принять равным 0,975 (вероятность двухсигмового одностороннего отклонения).

Нормативы ЗИП зависят от принятых способов топологического и аппаратного резервирования. Топологическое и аппаратное резервирование осуществляется с целью достижения требуемой готовности оборудования (канала связи). И резервируемые, и резервирующие элементы и составные части оборудования (канала связи) имеют собственное значение наработки до отказа, которое и определяет в конечном итоге объем ЗИП. Таким образом, нормативы ЗИП не зависят от схемы топологического или аппаратного резервирования.

Методика обеспечивает возможность планирования номенклатуры элементов и составных частей ЗИП. Номенклатура элементов и составных частей ЗИП предлагается Поставщиком и согласуется Заказчиком оборудования. Количество элементов и составных частей в комплекте ЗИП определяется по Методике с учётом либо периода ревизии и пополнения ЗИП, либо срока службы, либо срока морального старения оборудования.

Методика обеспечивает возможность финансового планирования закупок АР ВОЛС-ВЛ. В соответствии с результатами расчёта, представленного в Примере п. 7., для первого года эксплуатации необходимо предусмотреть дополнительные финансовые ресурсы в размере 1,5% от затрат на приобретение ОКГТ, арматуры и кабельных муфт. В следующие 10 лет потребуются дополнительные финансовые ресурсы в размере 4,5% от первоначальных затрат, которые можно аккумулировать постепенно по 0,45% в год.

Методика обеспечивает возможность финансового планирования закупок элементов и составных частей ЗИП. Методика позволяет осуществлять финансовое планирование закупок элементов и составных

частей ЗИП с любым заданным периодом прогнозирования. Это положение наглядно иллюстрируется Примером п. 8., строка 9 таблицы.

Методика обеспечивает возможность постепенной замены устаревающего оборудования более перспективными аналогами. Методика автоматически отвечает этому требованию, если период времени от начала эксплуатации изделия, для которых рассчитывается необходимое количество запасных составных частей в комплекте ЗИП, t_d , задать равным сроку морального старения современного телекоммуникационного оборудования – 7 лет ($\approx 60\ 000$ часов).

Методика позволяет определять параметры надёжности работы оборудования с учётом данных производителей. Общие технические требования к УПАТС, п. 2.15.7., задают количество отказов в оборудовании 0,012 на одну абонентскую линию в год; это соответствует интенсивности потока отказов $1,369 \times 10^{-6}$. Стандарт ФСК ЕЭС СТО 56947007-29.200.10.011-2008 «Системы мониторинга. Общие технические требования», П. 5.2 устанавливает следующие показатели надёжности: для модулей контроля и управления – наработка на отказ – 50 000 часов, что соответствует интенсивности потока отказов $2,0 \times 10^{-5}$.

Методика позволяет определять оптимальный период восполнения запасов. В соответствии с Методикой период восполнения запасов должен быть меньше среднего значения наработки до отказа. Поскольку надёжность современного телекоммуникационного оборудования высока, и значение наработки до отказа, как правило, составляет несколько лет, период ревизии и пополнения ЗИП целесообразно принять равным 1 году.

§3.3. Модель для расчёта оптимального состава одиночного ЗИП

Расчёт ожидаемых значений наработки до отказа составных частей (СЧ) и изделия в целом, производится на стадии разработки и производства.

Тогда же формируются комплекты ЗИП-О с учётом задаваемой Заказчиком длительности эксплуатации и периодов ревизии и пополнения ЗИП.

Важно подчеркнуть, что в процессе эксплуатации целесообразно производить мониторинг отказов аппаратуры с целью получения реальных эксплуатационных показателей надёжности и уточнения состава ЗИП.

Теоретические предпосылки:

– Поток отказов представляет собой ординарный поток событий $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} [p''(t, \Delta t)/\Delta t] = 0$, где $p''(t, \Delta t)$ – вероятность 2-х и более отказов на интервале Δt , и интенсивность отказов - величина постоянная вне зависимости от рассматриваемого момента времени.

– Длительности периодов безотказной работы случайны и подчиняются экспоненциальному (показательному) закону распределения. Случайная величина имеет экспоненциальное распределение с параметром $\lambda > 0$, если её функция распределения имеет вид $F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0 \end{cases}$, где параметр λ может быть интерпретирован как математическое ожидание новых отказов в единицу времени.

Если в некотором интервале $[0, t]$ наработка до отказа имеет экспоненциальное распределение с параметром T_0 , то число отказов имеет пуассоновское распределение с параметром t/T_0 . При этом нужно знать только длительность интервала t , а не момент начала этого интервала.

Распределение Пуассона - вероятностное распределение дискретного типа, моделирует случайную величину, представляющую собой число событий, произошедших за фиксированное время, при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга, задаваемое следующей функцией вероятности:

$$p(k) \equiv P(Y = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda},$$

где

- $k!$ обозначает факториал числа k ,
- $\lambda > 0$ – в нашем случае математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение количества отказов в заданном интервале времени,
- $e = 2,718281828 \dots$ – основание натурального логарифма.

По известным значениям требуемого значения среднего показателя необеспеченности изделия i -й составной частью в комплекте ЗИП, - вероятность того, что в момент отказа запас соответствующей СЧ будет равен нулю, q_{iTP} , и среднего количества отказов составных частей i -го типа для одного изделия за расчётное время t_d, a_i , по графикам [95] определяются значения n_i - количество элементов или составных частей в комплекте ЗИП. График для $a_i \leq 10$ приведён на Рисунке 3.3. Графики для диапазонов значений среднего количества отказов $10 \leq a_i \leq 50$ и $50 \leq a_i \leq 100$ приведены в [79].

§3.4. Разработка методики расчёта одиночного ЗИП

Как и в предыдущем случае (§3.2), представим основные положения методики расчёта ЗИП-Г в виде рациональной последовательности действий.

1. Составляется логическая схема изделия для расчёта надёжности – цепочка последовательного соединения составных частей (СЧ), отказ которых приводит к отказу изделия.

2. Формируется перечень исходных данных для расчёта:

- количество одинаковых элементов с одним значением наработки до отказа в составной части i -го типа m_i ;
- интенсивность потока отказов элементов i -го типа λ_i ;

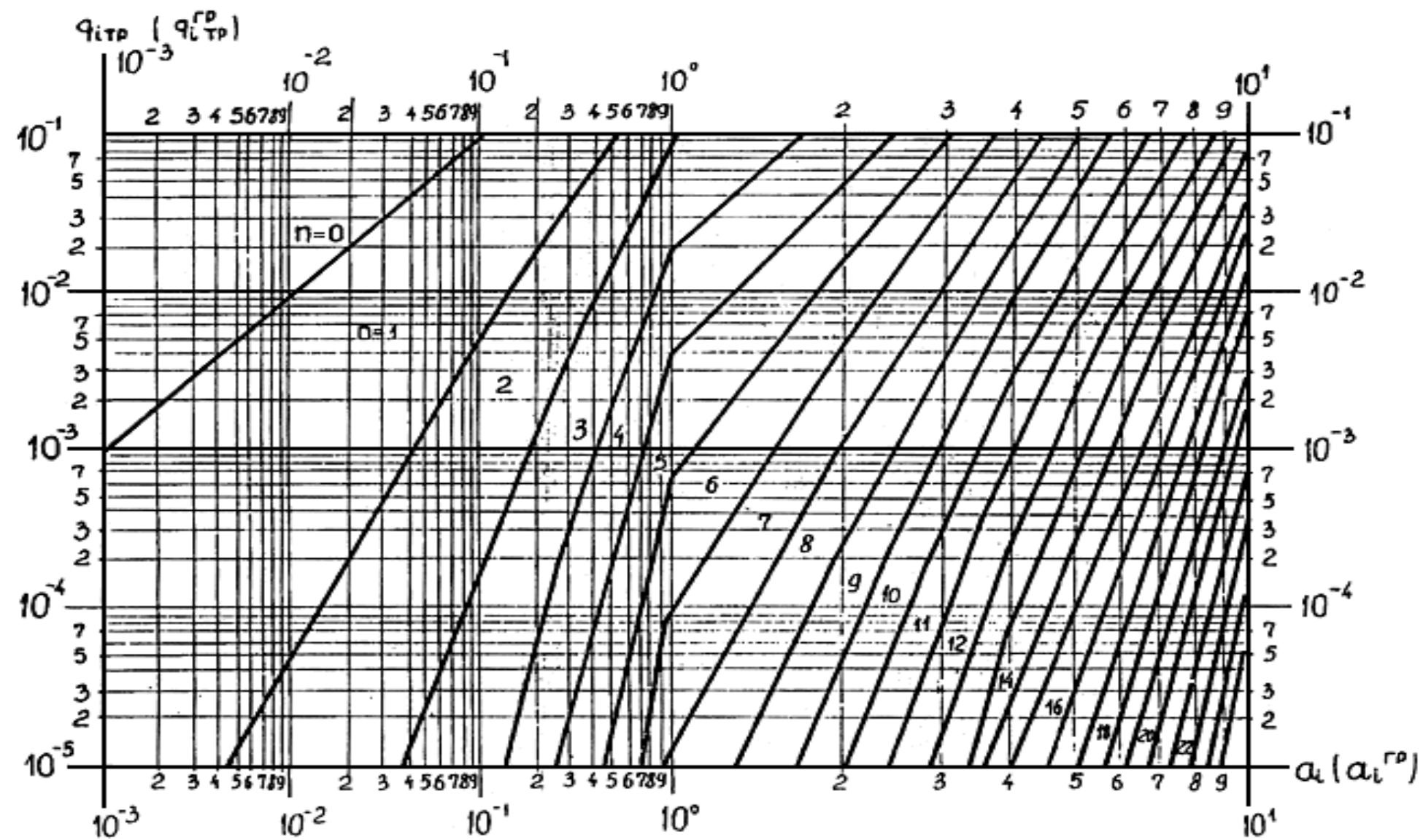


Рис. 3.3 Значения количества запасных составных частей n_i для $a_i \leq 10$

- периоды времени от начала эксплуатации изделия, для которых рассчитывается необходимое количество запасных составных частей в комплекте ЗИП t_∂ (целесообразно задавать два значения $t_{\partial 1} = 10\ 000$ часов – период ревизии ЗИП, сопоставимый с одним годом эксплуатации СДТУ, и $t_{\partial 2} = 100\ 000$ часов – период, сопоставимый со сроком службы СДТУ);
- количество составных частей в изделии S ;
- коэффициент интенсивности эксплуатации изделия K_i ;
- показатель обеспеченности изделия i -й составной частью в комплекте ЗИП P_{TP} ;
- коэффициент готовности K_Γ .

3. Определяются значения исходных данных.

Таблица 3.6. Перечень исходных данных для расчёта одиночного ЗИП

Наименование
m_i
λ_i , 1/час
$t_{\partial 1}$, час
$t_{\partial 2}$, час
S
K_i
P_{TP}
K_Γ

4. Рассчитывается a_i – среднее количество отказов составных частей i -го типа для одного изделия (средства связи) за расчётное время t_∂ по формуле $a_i = m_i \times \lambda_i \times t_\partial \times K_i$.

5. Задается показатель обеспеченности изделия запасными частями P_{TP} .

6. Рассчитывается средний показатель необеспеченности изделия составными частями в комплекте ЗИП по формуле $q_{iTP} = (1 - P_{TP})/S$.

7. По известным значениям требуемого значения среднего показателя необеспеченности изделия i -й составной частью в комплекте ЗИП, - вероятность того, что в момент отказа запас соответствующей СЧ будет равен нулю, q_{iTP} , и среднего количества отказов составных частей i -го типа для одного изделия за расчетное время t_{δ} , a_i , по графикам [79] определяются значения n_i - количество элементов или составных частей в комплекте ЗИП.

График для $a_i \leq 10$ приведён на рисунке 3.3. Графики для диапазонов значений среднего количества отказов $10 \leq a_i \leq 50$ и $50 \leq a_i \leq 100$ приведены в [79].

Пример расчёта оптимального комплекта ЗИП-О маршрутизатора.

1) Логическая схема маршрутизатора представляет собой последовательное соединение составных частей: входной блок (подстрочный символ $i = 1$), неблокируемая матрица ($i = 2$), выходной блок ($i = 3$), блок питания ($i = 4$) и вентилятор ($i = 5$).

2) Исходные данные

Таблица 3.7. Исходные данные для расчета одиночного комплекта ЗИП маршрутизатора

Вид показателя	Составные части				
	входной блок	неблокируемая матрица	выходной блок	блок питания	вентилятор
m_i	1	1	1	1	1
T_0 , час	50 000	100 000	50 000	25 000	10 000
λ_i , 1/час	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	10 10 ⁻⁵
$t_{\delta 1}$, час	10 000				
$t_{\delta 2}$, час	100 000				

S	5
K_i	1 (24 часа в сутки)
P_{TP}	0,995

4) Расчет a_i

Таблица 3.8. Расчёт оптимального состава одиночного комплекта ЗИП маршрутизатора

Вид показателя	Составные части				
	входной блок	неблокируемая матрица	выходной блок	блок питания	вентилятор
m_i	1	1	1	1	1
T_0 , час	50 000	100 000	50 000	25 000	10 000
λ_i , 1/час	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$10 \cdot 10^{-5}$
$t_{\partial 1}$, час			10 000		
$t_{\partial 2}$, час			100 000		
$a_i(t_{\partial 1})$	0,2	0,1	0,2	0,4	1
$a_i(t_{\partial 2})$	2	1	2	4	10
$n_i(t_{\partial 1})$	1	0	1	1	2
$n_i(t_{\partial 2})$	2	1	2	3	5

5) Расчет q_{iTP}

$$q_{iTP} = (1 - P_{TP})/S = (1 - 0,995)/5 = 0,001$$

6) Определение $n_i(t_{\partial 1})$ и $n_i(t_{\partial 2})$. Значения $n_i(t_{\partial 1})$ и $n_i(t_{\partial 2})$ приведены в таблице 3.8.

Выводы по результатам исследований Главы 3

1. Разработана теоретическая модель для расчета нормативов ЗИП на ремонтно-эксплуатационное обслуживание средств связи. Модель основывается на теореме К. Камбура и Л. Ламберсона, определяющей связь между экспоненциальным распределением наработки между

отказами распределением Пуассона для количества отказов, и, следовательно, необходимым количеством запасных частей. Новым в теоретической модели является аппроксимация распределения Пуассона нормальным распределением Лапласа-Гаусса. При этом погрешности аппроксимации компенсируются условием, – период ревизии и пополнения ЗИП должен быть существенно меньше среднего значения наработки до отказа рассматриваемой составной части комплекта ЗИП.

2. Разработана ступенчатая методика расчёта группового ЗИП, учитывающая вероятность выхода из строя новых сменных частей ЗИП [129,130,132].

3. На основании проведенных исследований установлено: нормативы ЗИП зависят от заданных параметров доступности сети связи и не зависят от принятых способов топологического и аппаратного резервирования.

4. Разработанная методика расчёта группового ЗИП обеспечивает возможность планирования номенклатуры составных частей ЗИП, осуществлять финансовое планирование закупок составных частей ЗИП с любым заданным периодом прогнозирования, постепенной замены устаревающего оборудования более перспективными аналогами, определять параметры надёжности работы оборудования с учётом данных производителей и оптимальный период восполнения запасов технических средств.

Глава 4. Эксплуатационная надёжность сетей связи при окончании нормированного срока службы оптических кабелей

§4.1. Исследование временной стабильности коэффициента затухания, хроматической и поляризационно-модовой дисперсии оптического волокна

Исследование временной стабильности коэффициента затухания оптического волокна. Главная отличительная особенность оптического волокна (ОВ) как среды распространения сигнала - случайный характер коэффициента затухания, который зависит от большого числа конструктивных параметров, а именно: от продольной однородности сердцевины; эксцентризитета и некруглости сердцевины, продольной однородности материала; посторонних включений в кварц, микротрещин и микроизгибов.

Существенное влияние на значение коэффициента затухания оказывает культура производства ОВ и оптического кабеля (ОК) в целом. Исследования зарубежных и отечественных специалистов показывают [101, 102, 106, 107], что диапазон изменений коэффициента затухания простирается от минимальных значений, определяемых так называемым релеевским, или дипольным, рассеянием [101, 102], до максимальных значений, задаваемых в заводских технических условиях.

То же следует сказать и о неразъемных соединениях ОВ. Практически повсеместно они выполняются с помощью сварки. При этом потери оптической мощности зависят: от угла скола волокон; допусков на наружный диаметр ОВ; эксцентризитета и некруглости сердцевины; режима сварки; сдавливающего усилия. Все эти факторы имеют ярко выраженный случайный характер, и поэтому величина потерь также случайна. Нижняя граница значения потерь равна нулю, верхняя - задаётся техническими требованиями на соединительные муфты.

Результирующее затухание ОВ на усилительном (регенерационном) участке, таким образом, является суммой случайных величин. Нахождение закона распределения суммы случайных величин в общем случае представляет существенные трудности. Однако в нашей ситуации, когда количество слагаемых велико за счёт большой длины участка, проблема имеет простое и достаточно точное решение.

На основании центральной предельной теоремы [103] можно утверждать, что распределение суммарного затухания на усилительном участке будет подчиняться нормальному закону. Числовые характеристики этого закона распределения \bar{a}_L и $\sigma(a_L)$ следует вычислять на основании теорем о математическом ожидании и дисперсии [103]: математическое ожидание суммы равно сумме математических ожиданий слагаемых; дисперсия суммы равна сумме дисперсий слагаемых.

Таким образом, в соответствии с принятыми обозначениями, можно записать:

$$\bar{a}_L = \bar{\alpha}L + \bar{a}_{hc}(L/l_{cmp} - 1), \quad \sigma(a_L) = \sqrt{\sigma^2(\alpha)L + \sigma^2(a_{hc})(L/l_{cmp} - 1)},$$

где $\bar{\alpha}$ - среднее значение коэффициента затухания, \bar{a}_{hc} , $\sigma(a_{hc})$ - среднее значение и среднее квадратическое отклонение потерь на стыке ОВ, L - длина РУ, $l_{стр}$ - строительная длина ОК.

Вероятности, соответствующие интервалам нормально распределенной случайной величины x , приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Вероятность появления случайной величины в заданном интервале

Интервал	Вероятность появления случайной величины
$\bar{x} - \sigma \leq x \leq \bar{x} + \sigma$	0,68
$\bar{x} - 2\sigma \leq x \leq \bar{x} + 2\sigma$	0,95

$\bar{x} - 3\sigma \leq x \leq \bar{x} + 3\sigma$	0,9973
$-\infty \leq x \leq \bar{x} + 3\sigma$	0,9986

Последняя строка таблицы 4.1 показывает вероятностную точку нормального распределения, ограничивающую справа трехсигмовое рассеяние. Обычно её принимают в качестве практически максимального значения. В нашей ситуации принятие этой вероятностной точки как нормы означает, что в среднем у одного волокна из 1000 затухание будет несколько больше, чем вычисленное по формуле

$$a_L(0,9986) = \bar{\alpha}L + \bar{a}_{nc}n + 3\sqrt{[\sigma^2(\alpha)L + \sigma^2(a_{nc})n]},$$

где $n = L/l_{cmp} - 1$.

Рассмотрим исходные законы распределения коэффициента затухания и потерь в неразъемных соединениях ОВ. Зарубежные исследования и рекомендации МСЭ-Т [98-100, 104] показывают, что гистограммы распределения значений коэффициента затухания имеют вид нормальной плотности вероятностей, причём диапазон их изменения $\Delta\alpha$ простирается от наименьшего значения, соответствующего релеевским потерям ($\alpha \approx 0,8/\lambda^4$), до наибольшего значения, соответствующего заводским ТУ или рекомендациям МСЭ-Т [98, 98]; математическое ожидание соответствует середине диапазона ($\Delta\alpha/2$), а среднее квадратическое отклонение - одной шестой диапазона ($\Delta\alpha/6$).

На рисунках 4.1 и 4.2 [106] показаны гистограммы распределения коэффициента затухания оптического волокна на длинах волн 1,3 и 1,55 нм на катушке и в кабеле в выборке из 4058 образцов.

Результаты исследования [111] распределений, отображённых на рисунках 4.1 и 4.2, показывают: значения коэффициента затухания, приводимые в типичных спецификациях на оптические кабели (0,35 и 0,22 дБ/км), являются близкими к максимальным;

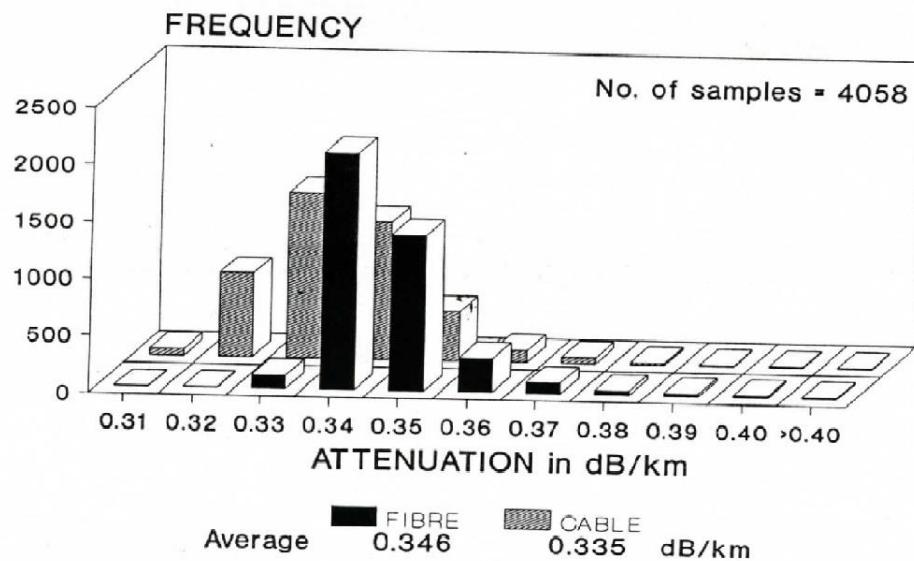


Рис. 4.1 Распределение коэффициента затухания оптического волокна на длине волны 1,3 нм на катушке и в кабеле в выборке из 5058 образцов

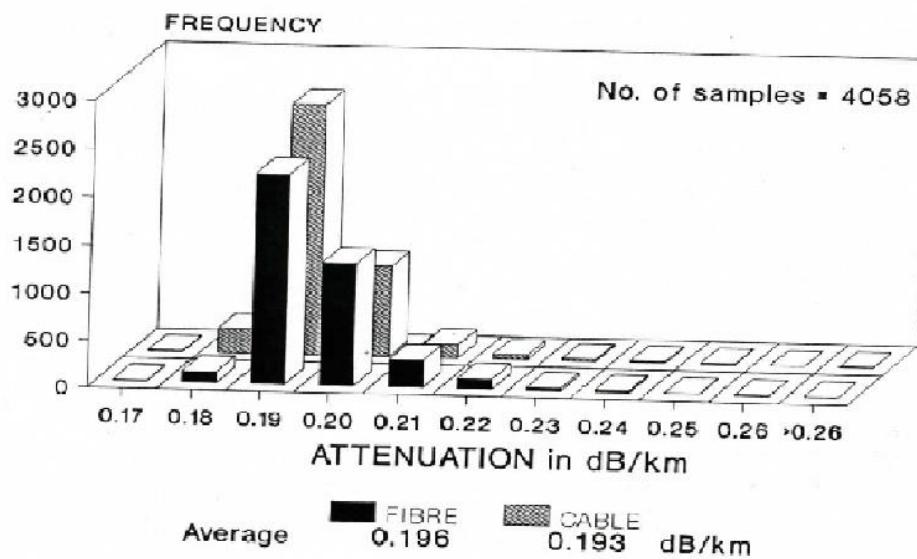


Рис. 4.2 Распределение коэффициента затухания оптического волокна на длине волны 1,55 нм на катушке и в кабеле в выборке из 4058 образцов

коэффициент затухания оптического волокна носит случайный характер; гистограммы распределения коэффициента затухания оптического волокна в кабеле на длине волны 1,55 мкм с достаточной точностью подчиняется нормальному закону Лапласа-Гаусса с математическим ожиданием 0,193 дБ/км.

Среднее квадратическое значение коэффициента затухания, определённое по правилу трёх сигм в диапазоне от 0,14 дБ/км (релеевское рассеяние) до 0,22 дБ/км составляет 0,013 дБ/км.

Для оценки временных изменений определим доверительный интервал математического ожидания Δ с доверительной вероятностью 0,95 ($t = 1,96$).

$$\Delta = \sigma \times t / \sqrt{n} = 1,96 \times 0,013 / \sqrt{8} = 0,009 ,$$

где n – количество измеренных оптических волокон.

Таким образом, доверительный интервал математического ожидания коэффициента затухания расположен между значениями 0, 184 и 0, 202 дБ/км.

На рисунках 4.3 – 4.10 показаны оптические потери, измеренные на оптических волокнах с номерами 5, 6, 9, 10, 13, 14, 15 и 16 отдельного усилительного участка регенерационного участка Кадала – Сковородино.

В таблице 4.2 показан расчёт средних значений коэффициента затухания по результатам измерения оптических потерь.

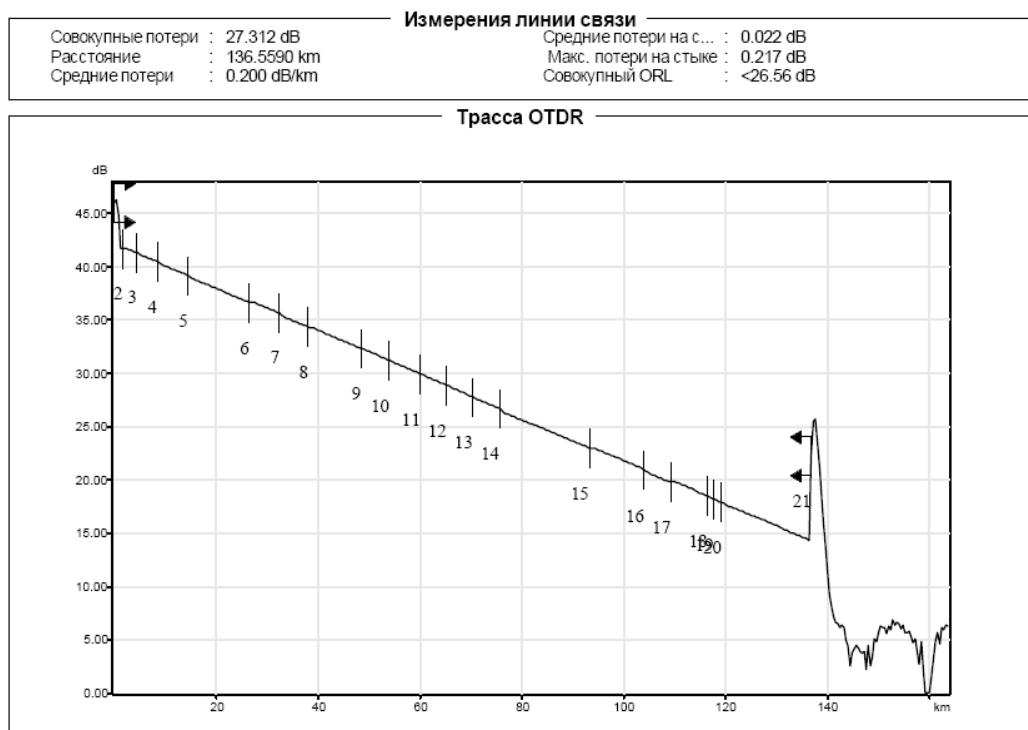


Рис. 4.3. Оптические потери ОВ №05

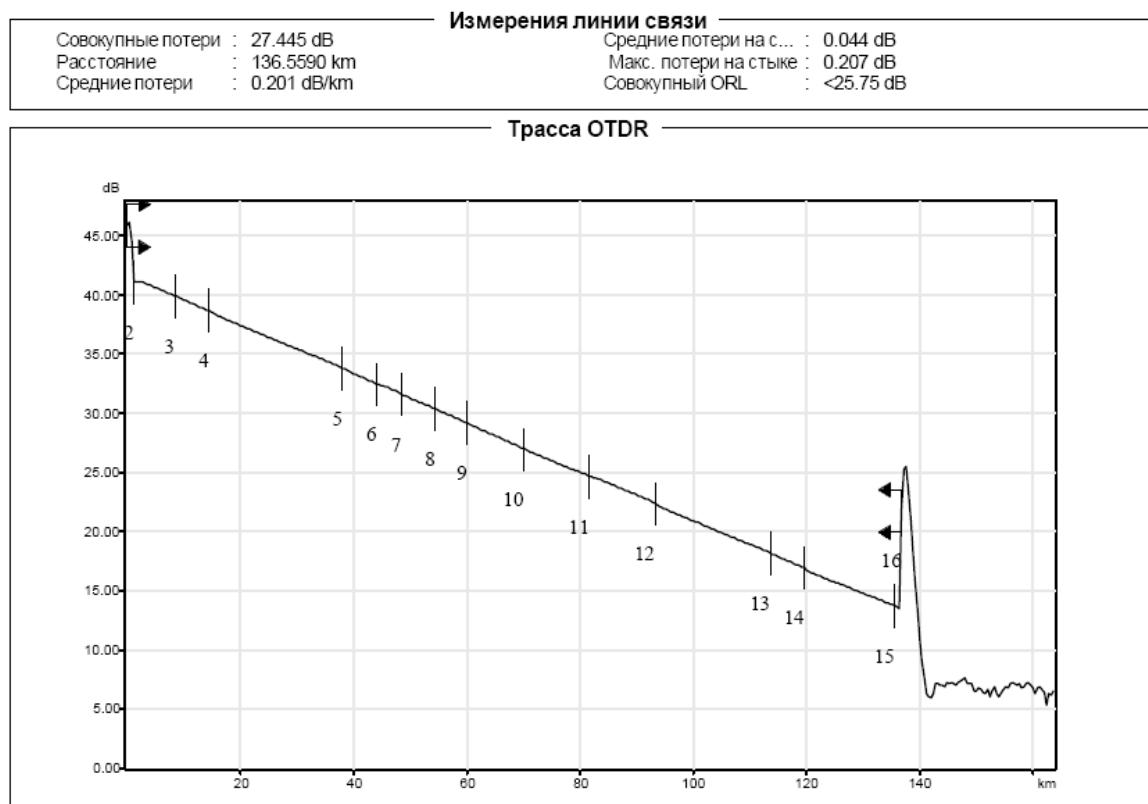


Рис. 4.4. Оптические потери ОВ №06

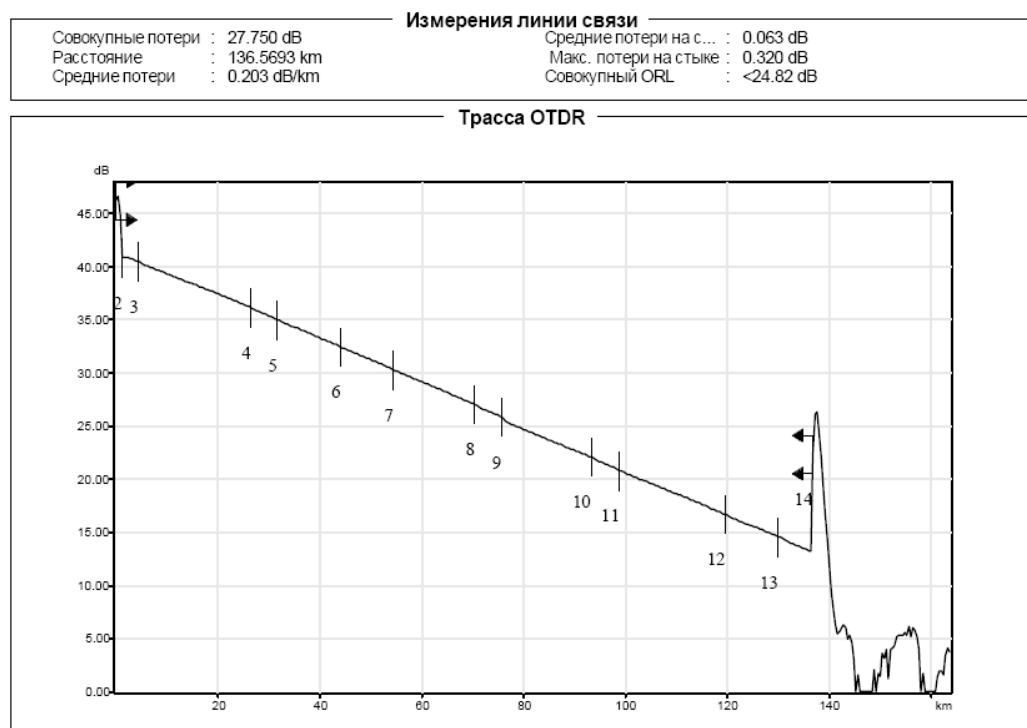


Рис. 4.5. Оптические потери ОВ №09

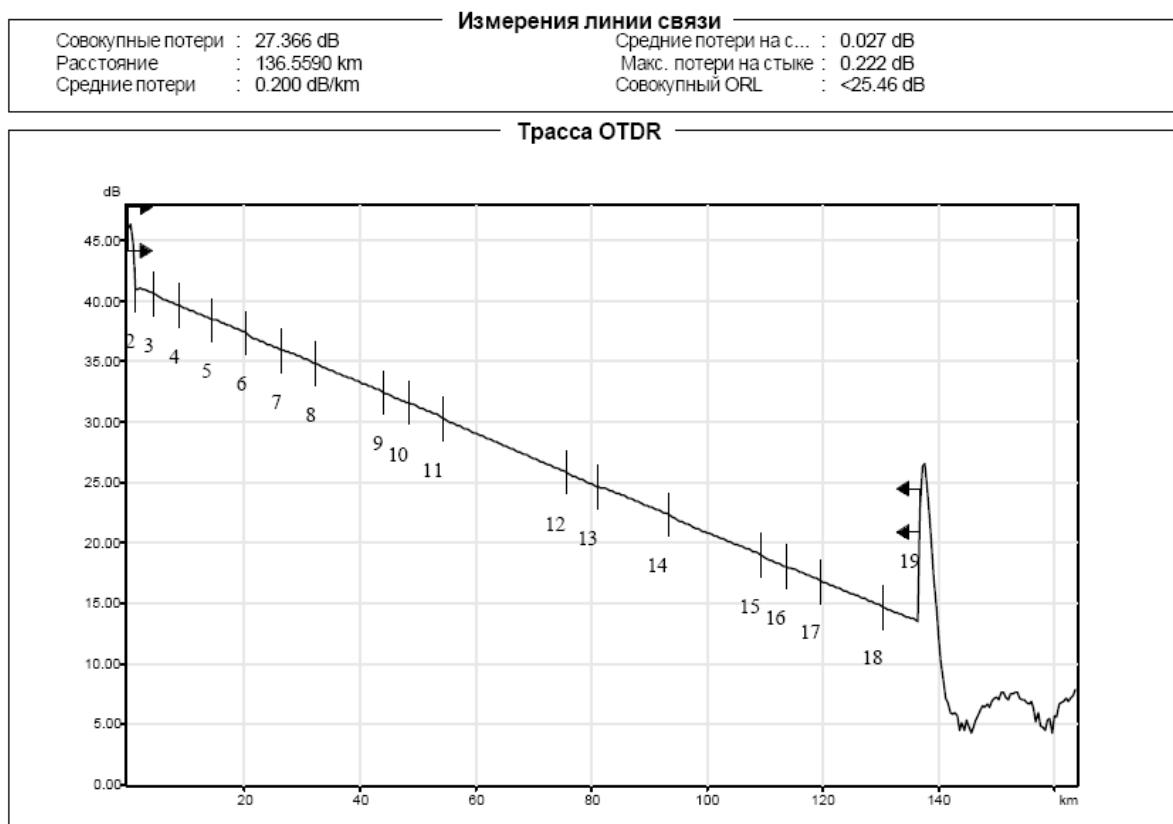


Рис. 4.6. Оптические потери ОВ №10

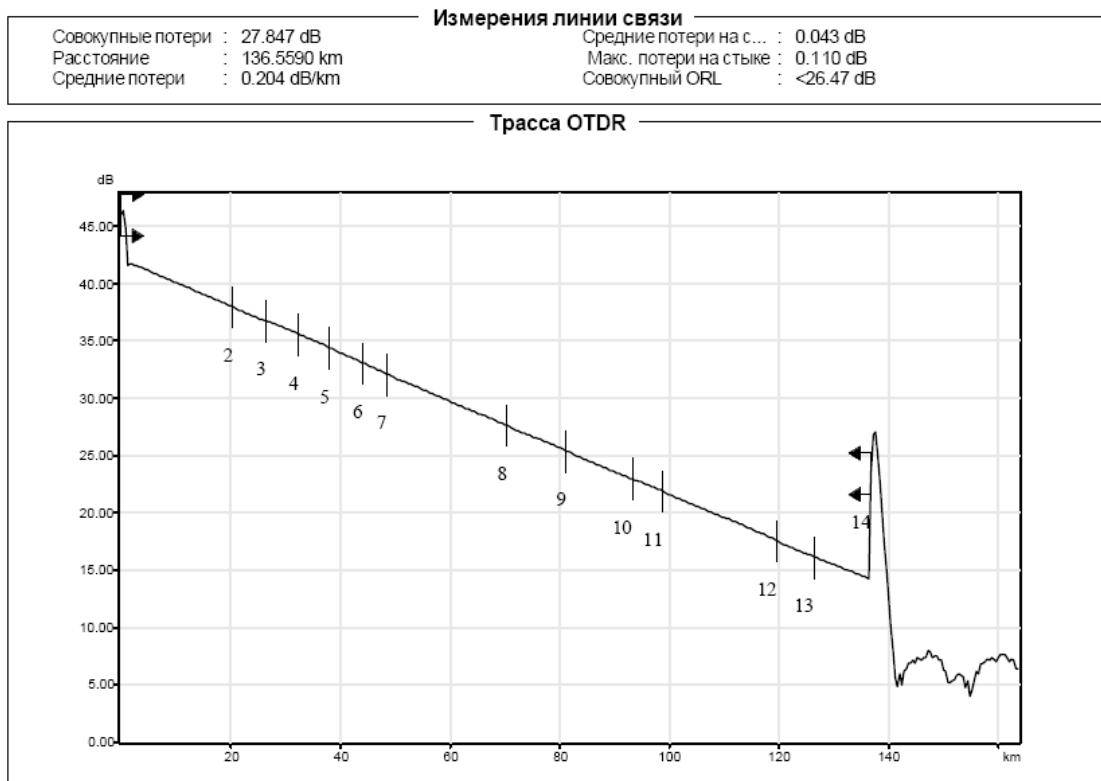


Рис. 4.7. Оптические потери ОВ №13

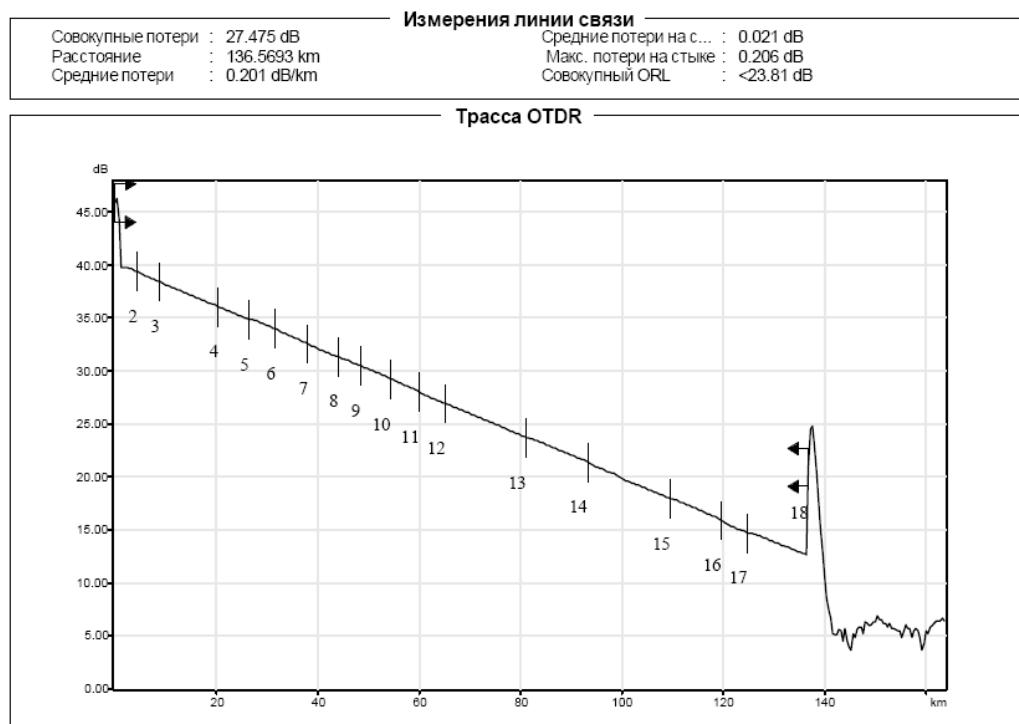


Рис. 4.8. Оптические потери ОВ 14

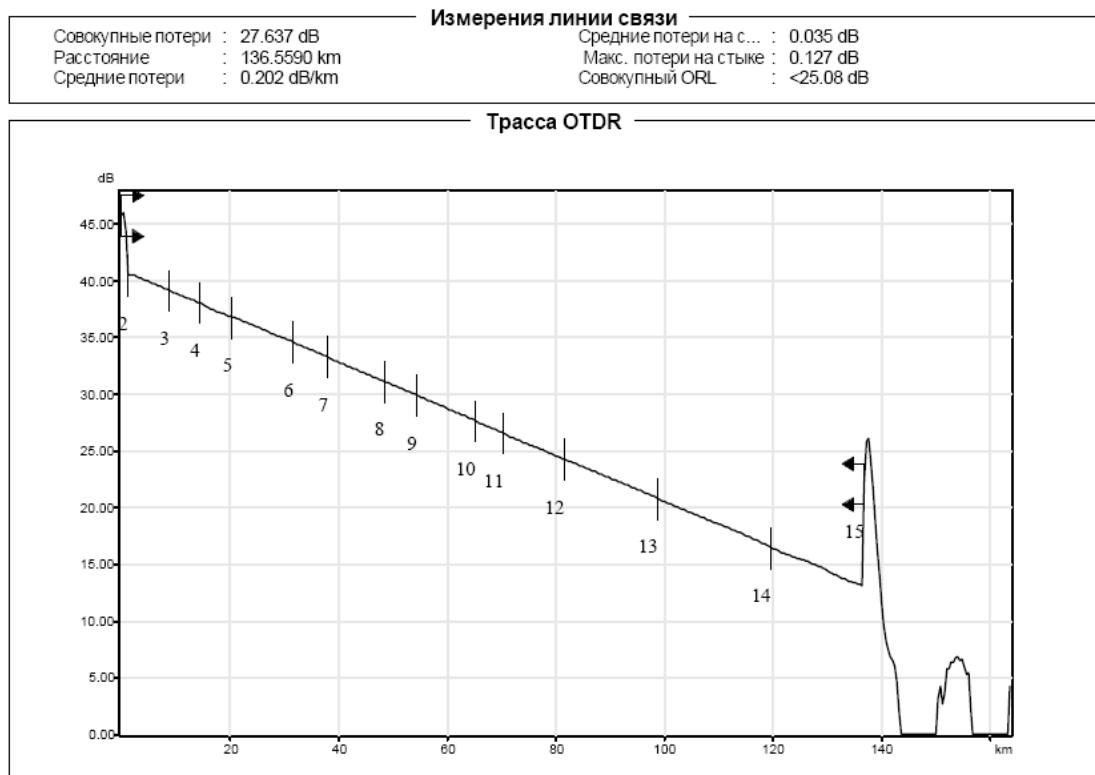


Рис. 4.9. Оптические потери ОВ №15

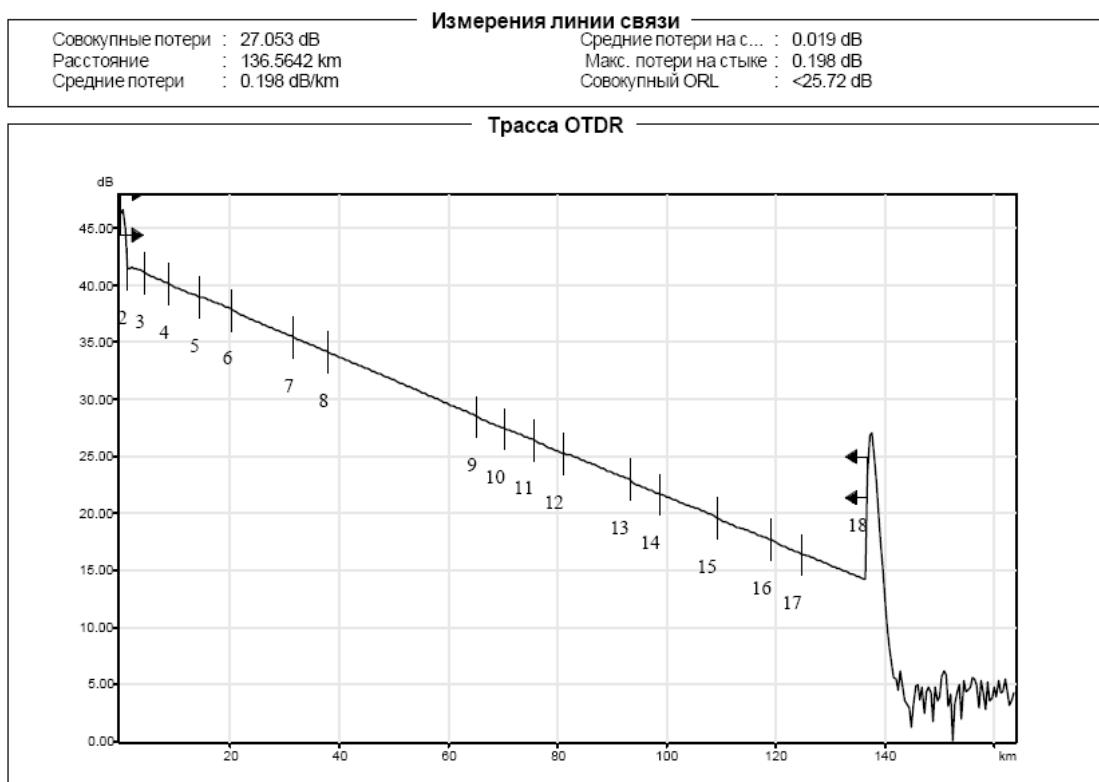


Рис. 4.10. Оптические потери ОВ №16

Таблица 4.2. Статистика оптических потерь

№ ОВ	Средние потери на сварках, дБ	Потери на сварках, приведённые к длине 1 км, дБ/км	Оптические потери, приведённые к длине 1 км, дБ/км	Коэффициент затухания, дБ/км
05	0,022	0,004	0,200	0,196
06	0,044	0,009	0,201	0,192
09	0,063	0,013	0,203	0,190
10	0,027	0,005	0,200	0,195
13	0,043	0,009	0,204	0,195
14	0,021	0,004	0,201	0,197
15	0,035	0,007	0,202	0,195
16	0,019	0,004	0,198	0,194

Как видно из таблицы 4.2, все средние выборочные значения коэффициента затухания (0,190 – 0,197) находятся внутри доверительного интервала математического ожидания (0,184 – 0,202).

Это свидетельствует о высокой временной стабильности коэффициента затухания оптического волокна G.652.

Исследование временной стабильности хроматической и поляризационно-модовой дисперсии оптического волокна.
Хроматическая дисперсия накапливается пропорционально длине оптического волокна. Хроматическая дисперсия оптического волокна на усилительном участке рассчитывается как произведение коэффициента хроматической дисперсии на длину усилительного участка.

Термин «одномодовое волокно» носит условный характер. В действительности одномодового волокна быть не может. При строгом рассмотрении «мода» - это решение уравнения Максвелла для диэлектрического волновода. Это уравнение для цилиндрического

волновода 8-10/125 всегда имеет два решения. В нем всегда образуются две моды с одинаковыми коэффициентами затухания, но с двумя плоскостями поляризации, сдвинутыми друг относительно друга на 90 градусов. По разным причинам (конструктивные неоднородности ОВ, локальные механические напряжения) поляризационно-модовая дисперсия имеет ярко выраженный случайный характер, и накапливается пропорционально корню квадратному из длины усилительного (регенерационного) участка. Максимальное значение ПМД принято характеризовать ее 99,99%-м квантилем, то есть значением, вероятность появления которого равна 0,9999.

Для оптического волокна G.652 коэффициент хроматической дисперсии на длине волны 1,55 мкм равен 18 пс/(нм×км), минимальное и максимальное значения коэффициента в 3-м окне прозрачности (1525 – 1625 нм) 14,5 и 20,5 пс/(нм×км) соответственно, а максимальное значение ПМД, приведенное к длине 1 км, равно 0,5 пс/ $\sqrt{\text{км}}$.

Коэффициенты хроматической дисперсии и значения ПМД, приведенные длине к 1 км, измеренные на 8 оптических волокнах отдельного усилительного участка регенерационного участка Кадала – Сквородино, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Хроматическая и поляризационно-модовая дисперсия

Характеристика	Номер оптического волокна							
	05	06	09	10	13	14	15	16
Коэффициент хроматической дисперсии, минимальный, пс/(нм×км)	14,94	14,93	14,86	14,88	14,88	15,03	14,83	14,91
Коэффициент хроматической дисперсии, максимальный,	20,19	20,18	20,10	20,16	20,14	20,21	20,19	20,18

пс/(нм×км)								
Максимальное значение ПМД, приведенное к длине 1 км, пс/ $\sqrt{\text{км}}$	0,216	0,238	0,256	0,283	0,227	0,205	0,224	0,231

Данные таблицы 4.3 показывают: а) дисперсионные параметры оптического волокна стабильны во времени; б) среднее максимальных значение ПМД, приведённых к длине 1 км, (0,235 пс/ $\sqrt{\text{км}}$) существенно меньше нормируемого квантиля (0,5 пс/ $\sqrt{\text{км}}$). При таком значении приведённого ПМД, общее значение ПМД на всем регенерационном участке Кадала – Сковородино (1027,3 км) будет не более 7,5 пс.

§4.2. Влияние временного фактора на эксплуатационную надёжность сетей связи

Строго говоря [70], срок службы – это календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта (кабеля) до его перехода в предельное состояние (состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно), которое заранее определяется в нормативной, технической или проектной документации. Поэтому, с одной стороны, само название проблемы может показаться внутренне противоречивым: как можно говорить об эксплуатационной надёжности транспортной сети связи, когда её основа – оптический кабель [109] – пришла в предельное состояние?

Однако в данном случае понятие срок службы означает заданную производителем [110] продолжительность использования кабеля (как правило, 25–30 лет), при которой интенсивность отказов за счёт старения (усталости) не возрастает экспоненциально. В такой трактовке срок службы можно рассматривать как экстраполированный показатель надёжности [70],

точечная или интервальная оценка которого определяется на основании результатов расчётов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путём экстраполирования на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

Важно отметить два обстоятельства. Во-первых, ожидаемый срок службы оптического кабеля в целом и оптических волокон в частности определяется с большой погрешностью, и поэтому производители кабеля задают его в паспорте-сертификате на строительную длину с значительным запасом. Во-вторых, компании-операторы имеют технические и организационные возможности повлиять на эксплуатационный показатель надёжности [70], точечная или интервальная оценка которого определяется по данным эксплуатации. Следует также учитывать изменение условий эксплуатации отечественных транспортных оптических сетей из-за режима санкций.

С учётом вышесказанного становится очевидным, что постановка задачи данной главы является и корректной, и злободневной.

Транспортные сети. В современной цифровой сети связи различают транспортную сеть и сеть доступа. Транспортный уровень (слой) модели взаимодействия открытых систем – это слой сети связи, основной функцией которого является доставка (транспортировка) информации в виде телекоммуникационного сигнала от любого её порта к заданному (или к группе заданных) [111,112].

Если в сети связи комплекс технических средств, полностью реализующий транспортную функцию, представляет собой физически автономную систему, то вместо транспортного слоя можно говорить о транспортной сети как о фундаментальной (базовой) части телекоммуникационной сети в целом.

Транспортная сеть – термин в определённой степени многозначный. Его можно отождествлять с совокупностью сетей, построенных на

различных транспортных технологиях и принадлежащих одному оператору (например, транспортная сеть ПАО «Ростелеком») или стране (например, транспортная сеть Единой сети электросвязи Российской Федерации).

Транспортную сеть также можно определить как совокупность сетевых узлов и соединяющих их линий связи. Важно подчеркнуть, что сегодня линии связи транспортной сети построены с использованием волоконно-оптических кабелей [99-100,113-116]. Объективная причина этого – комплекс сложных и противоречивых требований к среде передачи транспортных сетей: высокая пропускная способность, высокая защищенность от внешних электромагнитных помех, оперативность развёртывания, масштабируемость, надёжность, живучесть, долговечность, совершенство технологий сооружения, оптимальные капитальные и эксплуатационные затраты.

Волоконно-оптические кабели широко используются не только в фиксированных сетях связи. Перспективные поколения мобильной связи 5G/6G организуют транспортную сеть на основе оптических технологий от радиоблока базовой станции.

Стандартизованная в настоящее время транспортная сеть 5G включает в себя три последовательных сегмента:

- транспортная сеть между распределенными модулями сети радиодоступа 5G *RAN* (*radio access network*) и удаленными радиомодулями – *Fronthaul*;
- транспортная сеть между центральным модулем *RAN* и распределенными модулями *RAN* – *Midhaul*;
- транспортная сеть между базовой (опорной) сетью 5G *Core* и центральными модулями – *Backhaul*.

Таким образом, участок среды передачи называется «пролёт (*haul*)». Заметим, что термин «пролёт» прослеживается в технологиях воздушных

линий связи для обозначения расстояния между опорами. В кабельных линиях связи для определения значимых расстояний применяется термин «участок». Общепризнано, что оптимальной средой передачи для транспортной сети 5G является оптическое волокно. Поэтому в нашем случае слово «*haul*» лучше переводить как «участок», а *fronthaul* – ближний участок транспортной сети 5G (TC 5G), *midhaul* – средний участок TC 5G, *backhaul* – отдалённый участок TC 5G. Отметим, что и базовая (опорная) сеть 5G *Core* является полностью оптической сетью.

Оптические сети доступа. Перспектива развития фиксированных сетей доступа также связана с оптическими технологиями. Пассивная оптическая сеть (*PON*) состоит из оптических линейных терминалов (*OLT*) на граничном сетевом узле оператора, оптических делителей на сети широкополосного доступа и оптических сетевых блоках (*ONU*) в помещении абонентов. Нисходящий цифровой поток направляется с *OLT* параллельно на все *ONU*, которые выбирают из агрегированного сигнала свои слоты; восходящие потоки от *ONU* объединяются на оптических делителях методом временного (или спектрального) мультиплексирования и направляются на *OLT*. Основные системно-технические характеристики перспективных технологий *PON* приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Перспективные технологии *PON*

Тип	10GEpon (XG-PON) NG-PON2
Наименование	10 Gigabit Ethernet PON Next-Generation Passive Optical Network 2
Стандарт	IEEE 802.3av [117], ITU-T G.987 [118], ITU G.989 [119]
Полоса пропускания нисходящего потока, Гбит/с	9,95

Полоса пропускания восходящего потока, Гбит/с	2,488
Ёмкость ветви, (количество абонентских узлов)	256
Максимальная длина передачи, км	100

Заметим, что стандарт *NG-PON2* включает в себя технологии спектрального уплотнения *TWDM PON* и *UDWDM PON*. Использование этих технологий в новом стандарте позволяет повысить дальность передачи и увеличить скорость широкополосного доступа.

Особенности транспортных сетей страны. В свете поставленной задачи следует отметить следующие особенности транспортных сетей российской информационной инфраструктуры.

1. Основные магистральные волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) транспортных сетей страны построены в относительно короткий промежуток времени в конце 1990-х и начале 2000-х годов [120–122], и в настоящее время подходят к пределам паспортного срока службы 25–30 лет.
2. В соответствии с [123] номинальная длина элементарных кабельных участков (ЭКУ) рассчитывалась для максимальных значений коэффициента затухания и потерь в неразъемном соединении оптических волокон, а максимальная длина – с учетом трехсигмовых отклонений, т.е. для 99,86%-ной вероятностной точки затухания. Статистическое нормирование открывает возможность увеличения длины отдельных ЭКУ на 20...35% относительно номинальной. Однако при этом уменьшается запас в бюджете мощности оптической системы передачи, столь необходимый при возрастании интенсивности отказов оптического волокна после окончания срока службы кабеля.

3. Конструктивные и технические особенности оптических кабелей предопределили появление принципиально новой технологии строительства линейных сооружений на междугородной сети связи – транспортной многоканальной коммуникации (ТМК). Действительно, в полностью диэлектрических оптических кабелях оказалось возможным «отслоить» массивные наружные покровы от лёгкого оптического сердечника. Таким образом, наружные покровы превратились в самостоятельную защитную полиэтиленовую трубу (ЗПТ) – элемент кабельной канализации, а оптический сердечник – в малогабаритный оптический кабель, задуваемый в неё.

При сооружении инженерной инфраструктуры транспортных сетей по технологии ТМК вначале по трассе прокладывают пакет ЗПТ, затем оборудуют смотровые устройства и, наконец, в образованные каналы задувают оптические кабели. Технология ТМК может реализовываться в полосе автодорог или вдоль трасс выводимых из эксплуатации медных кабелей связи.

Высокая конкурентоспособность технологии ТМК держится на фундаменте юридических, финансовых, технических, технологических и организационных особенностей, в том числе универсальном праве прохода, увеличении продолжительности строительного сезона, низких конечных капитальных затратах, низких эксплуатационных расходах, долговечности (срок службы ТМК – 50 лет, волоконно-оптического кабеля – 25–30 лет), привязки мест аварии при помощи географической информационной системы, низкой плотности повреждений (менее 0,1 на 100 км ТМК в год), малом времени восстановления кабеля (не более 8 ч), комфортной с точки зрения старения оптического волокна (ОВ) температуре окружающей среды ($-2^{\circ}\text{C} + 18^{\circ}\text{C}$) и, что особенно важно в настоящее время, высокой защищенности от вандализма и близких взрывов наземных боеприпасов.

Старение оптических волокон. В соответствии с классификацией, принятой в теории надёжности, оптическое волокно – это объект конкретного назначения, непрерывного длительного применения, восстанавливаемый (в течение срока службы) и стареющий. Теория прочности раскрывает процесс старения (усталости) твёрдых тел через термофлуктуационный механизм силикатно-кислородных связей. Броуновское движение атомов постоянно разрывает и воссоздаёт эти связи. В момент, когда количество разорванных связей существенно превышает количество восстановленных, образуется микротрещина. Наличие даже небольшого растягивающего усилия провоцирует рост трещины.

Базовая модель надёжности волокна, прошедшего контрольные испытания (*proof*-тест), представлена [126] следующим образом:

$$t_f = \left\{ \left[B^{\frac{m}{n-2}} S_0^m \frac{L_0}{L} \ln \frac{1}{(1-F)} + \left(\sigma_p^n t_p \right)^{\frac{m}{n-2}} (1+C)^{\frac{m}{n-2}} \right]^{\frac{n-2}{m}} - \sigma_p^n t_p \right\} - \frac{B}{\sigma_a^2}, \quad (4.1)$$

где $C = \frac{\frac{B}{\sigma_p^2} - \frac{t_u}{n+1}}{t_p}$, когда время загрузки *proof*-теста меньше или равно

скорости разгрузки $t_u \leq (n-2) \frac{B}{\sigma_p^2}$; B и n – параметры усталости волокна; m

– модуль унимодального распределения Вейбулла; S_0^m – мера прочности

Вейбулла; F – растягивающее усилие; σ_p – нагрузка при *proof*-тесте;

$t_p = t_d + \frac{t_l + t_u}{n+1}$; t_d – время выдержки; t_u и t_l – соответственно времена загрузки

и разгрузки *proof*-теста; L_0/L – отношение испытательной длины L_0 к моделируемой эксплуатационной длине L .

Собственная инертная прочность кварца в жидким азоте составляет [124] около 14 ГПа. Типовая нагрузка волокна при *proof*-тесте составляет

0,7 ГПа, а рекомендуемая постоянная эксплуатационная нагрузка – не более 80% от нагрузки при заводском техническом контроле. При этом с вероятностью близкой к единице срок службы оптического волокна составляет 25 лет. Далее интенсивность повреждений оптических волокон будет возрастать.

Старение оптических кабелей. Основу конструкции оптических кабелей составляют пластмассы. Они стареют. Существо процесса старения заключается в том, что с течением времени пластмассы постепенно теряют из своего объема медленно испаряющиеся вещества: пластификаторы (ПВХ) и антиоксиданты (ПЭ и др.).

Испарение (диффузия) пластификатора ПВХ описывается законом Фика [127]:

$$\frac{d}{dx} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) = \frac{dc}{d\tau}, \quad (4.2)$$

где c – концентрация пластификатора в единице объема, кг/м³; x – глубина диффузии, м; τ – время, с; D – коэффициент диффузии, м²/с.

Химико-физические параметры пластификаторов приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5. Химико-физические параметры пластификаторов

Наименование параметра	Значение параметра для пластификатора		
	Дибутилфталат	Диоктилфталат	Трикрезилфталат
Химическая формула	C11H22O4	C24H38O4	C21H21O4P
Молекулярная масса μ , г/моль	278	390	368
Плотность, г/см ³	1,046	0,986	1,162
Постоянная парциального давления P_0 , Па	$2,1 \times 10^{11}$	$8,2 \times 10^{11}$	$9,4 \times 10^{12}$
Энергия испарения E , Дж/моль	$7,40 \times 10^4$	$8,73 \times 10^4$	$10,44 \times 10^4$

Парциональное давление паров пластификатора P выражается

приближенным соотношением

$$P \approx P_0 e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (4.3)$$

где: P_0 – постоянная парциального давления, таблица 5.5, $R=8,314$ Дж/(моль×К) – универсальная газовая постоянная; T – температура, K .

Константа скорости испарения пластификатора, приведённая к эффективной температуре эксплуатации k_{np} , выражается следующим соотношением

$$k_{np} = k_i e^{-\frac{E}{R}} \left(\frac{1}{T_p} - \frac{1}{T_i} \right), \quad (4.4)$$

где k_i – константа скорости испарения (десорбции) пластификатора при i -ой температуре, с^{-1} ; T_i – температура испытаний, K ; T_p – эффективная температура эксплуатации изделия, K .

Зависимость скорости расходования антиоксиданта от температуры определяется уравнением Аррениуса

$$k_2 = k_b e^{a\vartheta}, \quad (4.5)$$

где k_2 – константа скорости расходования антиоксиданта при окислении ПЭ;

$$k_b = k_{02} e^{-\frac{U_A}{RT_b^2}}; \quad a = \frac{U_A}{RT_b^2}; \quad \vartheta = T - T_b; \quad U_A \text{ – энергия активации процесса}$$

расходования антиоксиданта; k_{02} – постоянный сомножитель; T_b – базовая температура, выше которой реакция окисления протекает со скоростью, регистрируемой микрокалориметром.

В соответствии с уравнением (4.5) изменение концентрации антиоксиданта имеет вид

$$W_a^0 - W_a = \frac{k_b}{a\vartheta} (e^{a\vartheta} - 1), \quad (4.6)$$

где W_a^0 – начальная концентрация антиоксиданта; W_a – конечная концентрация антиоксиданта; ϑ – скорость изменения температуры.

В результате старения со временем изменяется (уменьшается) масса

пластмассы. На основании этого строится диагностический параметр долговечности кабеля

$$\Delta G = 100 \frac{G_H - G_K}{G_H} \%, \quad (4.7)$$

где ΔG – относительная потеря массы, %; G_H – исходная масса пробы, мг; G_K – масса пробы после нагрева, мг.

Одновременно с изменением массы в результате испарения пластификатора или антиоксиданта изменяются электропроводность, тангенс угла диэлектрических потерь, электрическая прочность, относительное удлинение при разрыве, деформация и скорость деформации пластмасс, температура стеклования и хладостойкости пластмасс. Эти физические характеристики также могут быть использованы для определения показателей долговечности.

§4.3. Обоснование аварийного запаса волоконно-оптического кабеля при окончании гарантийного срока его эксплуатации

При повышении риска отказов волоконно-оптического кабеля (ВОК) целесообразно оптимизировать аварийный запас (АЗ), включающий в себя расчётную длину кабеля, соединительные муфты и арматуру.

Для оптимизации определяются исходные данные для расчёта:

- количество одинаковых элементов с одним значением наработки до отказа в составной части i -го типа (кабель, соединительная муфта) – m_i ;
- интенсивность потока отказов элементов i -го типа λ_i , 1/час;
- периоды времени $t_{\Delta 1}=10$ тыс. ч – период ревизии АЗ, сопоставимый с одним годом эксплуатации ВОЛС, и $t_{\Delta 2}=100$ тыс. ч – период, сопоставимый с гарантийным сроком хранения оптического кабеля;
- количество составных частей S ;
- коэффициент интенсивности эксплуатации ВОЛС – K_{it} ;

- показатель обеспеченности изделия i -й составной частью в комплекте АЗ – P_{TP} ;
- коэффициент готовности K_G .

Алгоритм расчёта:

- рассчитывается a_i – среднее количество отказов составных частей i -го типа для одного изделия за расчётное время t_d : $a_i = m_i \lambda_i t_d K_H$;
- задаётся показатель обеспеченности изделия запасными частями P_{TP} ;
- рассчитывается средний показатель необеспеченности АЗ составными частями: $q_{iTP} = (1 - P_{TP})/S$;
- по известным значениям q_{iTP} и a_i на графиках черт.1–3 [79] определяются значения n_i – количество элементов или составных частей в АЗ.

Рассмотрим в качестве примера расчёт АЗ оптического кабеля в грозозащитном тросе (ОКГТ) для линии связи, сооружённой по технологии ВОЛС-ВЛ [122,125].

1) Волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС), сооружённая по технологии ВОЛС-ВЛ, состоящая из ОКГТ, соединительных кабельных муфт, поддерживающей и натяжной арматуры, рассматривается в целом, поскольку известны данные о повреждаемости грозотросов на воздушных линиях электропередачи с номинальным напряжением 110, 220, 330 и 500 кВ. С точки зрения теории надежности составной частью такой ВОЛС считается средняя длина вставки ОКГТ (1,5 км), применяемой по технологии устранения повреждения [126].

2) Исходные данные приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6. Исходные данные для оптимизации аварийного запаса кабеля

Вид показателя	Номинальное напряжение воздушной линии электропередачи (ВЛ), кВ			
	110	220	330	500
Плотность аварий на 100 км в год	0,08	0,05	0,04	0,03

t_B , ч	10	10	10	10
$K_I(100 \text{ км})$	0,99990	0,99994	0,99995	0,99996
$K_I(1,5 \text{ км})$	0,9999985074	0,9999991045	0,9999992537	0,9999994030
T_0 , ч	6699709	11166936	13399427	16750408
$\lambda, 1/\text{ч} \times 10^7$	1,4926	0,8955	0,7463	0,5970
t_{d1} , ч	10 000			
t_{d2} , ч	100 000			
S	1			
K_H	1 (24 ч в сутки)			
P_{TP}	0,995			
q_{TP}	0,005			

3) Результаты расчёта a_i , $n(t_{d1})$, $n(t_{d2})$, $l(t_{d1})$, $l(t_{d2})$ приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7. Результаты расчёта аварийного запаса кабеля

Вид показателя	Номинальное напряжение ВЛ, кВ			
	110	220	330	500
$\lambda, 1/\text{ч} \times 10^7$	1,4926	0,8955	0,7463	0,5970
$a(t_{d1})$	0,1	0,06	0,05	0,04
$a(t_{d2})$	1,0	0,6	0,5	0,4
$n(t_{d1})$	1	1	1	1
$l(t_{d1})$, км	1,5	1,5	1,5	1,5
$n(t_{d2})$	4	3	3	2
$l(t_{d2})$, км	6	4,5	4,5	3,0

Рассмотрим время доставки АЗ к месту аварии. Согласно правилам проектирования, строительства и эксплуатации ВОЛС [122] нормативное среднее время восстановления работоспособного состояния ВОЛС составляет 10 ч. По экспертной оценке [126], восстановление

работоспособного состояния ВОЛС при помощи временной оптической кабельной вставки занимает не более 6 ч. Таким образом, нормативное время на доставку АЗ составляет 4 ч. При средней скорости движения по автодорогам России 50 км/час расстояние между местом аварии и базой хранения АЗ должно быть не более 200 км, а расстояние между базами – 400 км. По мере приближения к паспортному сроку службы (и, соответственно, при повышении интенсивности отказов) эксплуатационный показатель надежности может быть обеспечен за счет размещения АЗ на усилительных пунктах (расстояние между базами хранения АЗ менее 150 км).

Экспериментальная оценка долговечности оптического волокна. В [128] представлены результаты экспериментов на ВОЛС с волоконно-оптическим кабелем, проложенным в грунт на глубину 1,2 м (годовой диапазон изменения температур от -2^0C до $+18^0\text{C}$). Срок службы ВОЛС 20 лет. ОВ кабеля соответствует требованиям рекомендации G.652 МСЭ-Т. Для оценки временных изменений определен доверительный интервал математического ожидания Δ с доверительной вероятностью 0,95 ($t = 1,96$):

$$\Delta = \sigma \frac{t}{\sqrt{n}} = 1,96 \cdot \frac{0,013}{\sqrt{8}} = 0,009,$$

где n – количество измеренных оптических волокон.

Таким образом, доверительный интервал для математического ожидания коэффициента затухания расположен между значениями 0,184 и 0,202 дБ/км.

В табл. 4.8 показан расчет средних значений коэффициента затухания по результатам измерения оптических потерь на элементарном кабельном участке.

Таблица 4.8. Измеренные средние значения оптических потерь и коэффициента затухания

№ ОВ	Средние потери на	Потери на сварках,	Оптические потери,	Коэффициент затухания,
------	-------------------	--------------------	--------------------	------------------------

	сварках, дБ	приведённые к длине 1 км, дБ/км	приведённые к длине 1 км, дБ/км	дБ/км
05	0,022	0,004	0,200	0,196
06	0,044	0,009	0,201	0,192
09	0,063	0,013	0,203	0,190
10	0,027	0,005	0,200	0,195
13	0,043	0,009	0,204	0,195
14	0,021	0,004	0,201	0,197
15	0,035	0,007	0,202	0,195
16	0,019	0,004	0,198	0,194

Как видно из табл. 4.8, все средние выборочные значения коэффициента затухания (0,190–0,197) находятся внутри доверительного интервала математического ожидания (0,184–0,202). Это свидетельствует о достаточно высокой временной стабильности коэффициента затухания ОВ.

Представляет интерес сопоставление результатов измерений хроматической и поляризационно-модовой дисперсии ОВ с расчётными ожидаемыми значениями.

Хроматическая дисперсия накапливается пропорционально длине ОВ и рассчитывается как произведение коэффициента хроматической дисперсии на длину усилительного участка.

Термин «одномодовое волокно» носит условный характер. В действительности одномодового волокна быть не может. При строгом рассмотрении «мода» – это решение уравнения Максвелла для диэлектрического волновода. Это уравнение для цилиндрического волновода с наружным диаметром 125 мкм и диаметром поля моды до 10 мкм всегда имеет два решения, т.е. в нем всегда образуются две моды с

одинаковыми коэффициентами затухания, но с двумя плоскостями поляризации, сдвинутыми друг относительно друга на 90^0 . По разным причинам (конструктивные неоднородности ОВ, некруглость сердцевины, локальные механические напряжения) поляризационно-модовая дисперсия (ПМД) имеет ярко выраженный случайный характер и накапливается пропорционально корню квадратному из длины усилительного (регенерационного) участка. Максимальное значение ПМД принято характеризовать её 99,99%-ым квантилем, т.е. значением, вероятность появления которого равна 0,9999.

Для ОВ G.652 коэффициент хроматической дисперсии на длине волны 1,55 мкм равен 18 пс/(нм×км), минимальное и максимальное значения коэффициента в третьем окне прозрачности (1525–1625 нм) равно 14,5 и 20,5 пс/(нм×км) соответственно, а максимальное значение ПМД, приведенное к длине 1 км, равно 0,5 пс / $\sqrt{\text{км}}$.

Коэффициенты хроматической дисперсии и значения ПМД, приведенные к длине 1 км, измеренные на тех же ОВ усилительного участка, приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9. Коэффициенты хроматической дисперсии и максимальные значения ПМД

Характеристика	Номер ОВ							
	05	06	09	10	13	14	15	16
Коэффициент хроматической дисперсии минимальный, пс/(нм×км)	14,94	14,93	14,86	14,88	14,88	15,03	14,83	14,91

Коэффициент хроматической дисперсии максимальный, пс/(нм×км)	20,19	20,18	20,10	20,16	20,14	20,21	20,19	20,18
Максимальное значение ПМД, приведенное к длине 1 км, пс / $\sqrt{\text{км}}$	0,216	0,238	0,256	0,283	0,227	0,205	0,224	0,231

Данные табл. 4.9 показывают:

а) дисперсионные параметры ОВ стабильны во времени;
 б) среднее максимальное значение ПМД, приведенное к длине 1 км (0,235 пс / $\sqrt{\text{км}}$), существенно меньше нормируемого квантиля (0,5 пс / $\sqrt{\text{км}}$). При таком значении приведенного ПМД общее значение ПМД на всем регенерационном участке длиной 1027,3 км составит не более 7,5 пс.

§4.4. Разработка иерархической модели мониторинга функциональной устойчивости телекоммуникационных сетей на базе обобщённой комплексной мультипликативной оценки технического состояния

4.4.1. Концепция контроля технического состояния сетей связи

Обеспечение функциональной устойчивости сетей, систем и устройств телекоммуникаций представляет собой сложную задачу. Обзор научных публикаций, посвящённых данной проблематике, не выявил конкретных рекомендаций для решения поставленной задачи. Вместе с тем, в работе [96], раскрывающей принципы квалиметрии, - науки об измерении качества, - предложены полезные для нас обобщённые комплексные оценки.

Квалиметрия — это научная область, объединяющая количественные методы оценки качества объектов и процессов деятельности людей, используемые для обоснования решений, принимаемых при управлении качеством продукции и стандартизации [97].

Основные принципы квалиметрии:

1. Всякая оценка качества объекта зависит от того, для какой цели и для каких условий делается эта оценка. Первый принцип квалиметрии заключается в том, что количественная оценка качества объекта увязывается с условиями и целью этой оценки.
2. Качество рассматривается как иерархическую совокупность свойств, расположенных на различных уровнях. Каждое из свойств на одном уровне зависит от ряда других свойств, лежащих на более низких уровнях. Число может возрастать. Второй принцип квалиметрии: оценка каждого свойства на любом уровне рассмотрения зависит от совокупности оценок свойств более низких уровней.
3. Оценка качества объекта зависит от показателей его качества и базовых показателей. Величины базовых показателей зависят от выбранного эталона качества. Выбор базовых показателей является важным звеном оценки качества. Третий принцип квалиметрии: оценка качества объекта на любом уровне рассмотрения зависит от показателей качества объекта и от принятой системы базовых показателей.

Квалиметрия позволяет получить количественную оценку качества оцениваемого объекта на любой стадии его жизненного цикла.

Квалиметрия рассматривает оценку качества, как динамическую категорию, так как открывает возможность исследования изменения качества объекта во времени.

По итогам квалиметрических оценок производят:

- 1) оптимизацию показателей свойств и качества в целом;
- 2) прогнозирование качества продукции;
- 3) определение уровня и запаса конкурентоспособности как совокупной оценки уровней качества и цены продукции или услуги и многое другое.

Всесторонний анализ поставленной задачи позволил сформировать требования к оценке технического состояния, на базе которой можно осуществить мониторинг функциональной устойчивости контролируемого объекта. Комплексная оценка технического состояния средств связи должна отвечать следующим основным требованиям:

- оценка должна быть обобщённой – то есть должна сводить все показатели средств связи к одному безразмерному числу;
- оценка должна быть комплексной – то есть должна обеспечивать возможность оценивать разнообразные показатели средств связи;
- оценка должна быть иерархической - давать необходимый минимум информации высшему руководству предприятия, большее количество информации руководителям среднего звена и полную информацию специалистам (разумеется, что высшие руководители могут запросить всю имеющуюся информацию);
- оценка должна быть чувствительной – обобщённая оценка должна заметно изменяться при изменении каждого показателя в отдельности;
- оценка должна опираться на официальные данные, приводимые в нормативно-технической документации средства связи;
- оценка должна отражать динамику изменения технического состояния средства связи;
- оценка не должна сильно зависеть от количества оцениваемых параметров;
- индивидуальные показатели должны иметь простую норму для приведения к безразмерному коэффициенту;
- оценка должна быть простой;

- оценка должна быть наглядной.

4.4.2. Разработка методики контроля технического состояния средств и сетей связи

Без ограничения общности разработка методики осуществлена на основе конкретных данных средств диспетчерско-технологического управления (СДТУ) технологической сети связи электроэнергетики.

1). Техническое состояние СДТУ оценивается балльным методом.
2). Техническое состояние СДТУ определяется баллами 0, 1, 2, 3. При этом:

- балл 0 соответствует предельному состоянию СДТУ, при котором оно неработоспособно (в исходных данных это состояние СДТУ может быть обозначено красным цветом);

- балл 1 соответствует неисправному, но работоспособному состоянию СДТУ, при котором эксплуатация СДТУ возможна при ограничениях его номинальных характеристик(в исходных данных это состояние СДТУ может быть обозначено оранжевым цветом) ;

- балл 2 соответствует исправному состоянию СДТУ на момент контроля, но могущему перейти в неисправное ввиду нахождения характеристик СДТУ на границе исправного состояния (в исходных данных это состояние СДТУ может быть обозначено жёлтым цветом);

- балл 3 соответствует исправному состоянию СДТУ, при котором все его характеристики соответствуют требованиям нормативной документации (в исходных данных это состояние СДТУ может быть обозначено зелёным цветом).

3) Вместе с оценкой технического состояния СДТУ балльным методом оценивается и система технического обслуживания СДТУ.

4) Оценка технического состояния каждого средства ДТУ определяется как корень n -ой степени из произведения бальных оценок всех (n) оцениваемых характеристик. Результат вычисления округляется в меньшую сторону (отбрасывается дробная часть числа).

5) Оценка технического состояния СДТУ в целом определяется аналогичным способом как корень n -ой степени из произведения бальных оценок всех (n) средств ДТУ объекта электроэнергетики, включая сюда и оценку системы технического обслуживания СДТУ.

6) Методика оценки технического состояния распространяется на следующие виды СДТУ: инженерная инфраструктура кабельных линий связи (кабельная канализация, ЛКС подземных кабелей связи, ЛКС ВОЛС-ВЛ);

- кабельные линии связи;
- волоконно-оптические линии связи;
- волоконно-оптические линии связи, смонтированные на ВЛ;
- радиорелейные линии связи (полукомплекты);
- УКВ радиостанции;
- оборудование ВЧ-связи по ВЛ;
- канал ТЧ 0,3 – 3,4 кГц аналоговых систем передачи;
- основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью 64 кбит/с ЦСП ПЦИ;
- автоматические телефонные станции;
- диспетчерские коммутаторы;
- устройства телемеханики;
- устройства бесперебойного питания;
- основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью 64 кбит/с ЦСП ПЦИ;

Пример оценки средств ДТУ приведён ниже, в таблице 4.10.

Т а б л и ц а 4.10. Паспорт технического состояния кабельной линии				
Инструментальное обследование герметичности кабеля				
Снижение избыточного воздушного давления 0,05 МПа на ЭКУ, МПа	больше 0,1	0,01	0,005	0
Инструментальное обследование электрических параметров кабеля				
Сопротивление изоляции защитных шлангов, кОм·км	меньше 10	10 - 100	100 - 5000	5000
Сопротивление изоляции рабочих цепей на ЭКУ, МОм·км	меньше 1	не меньше 1	не меньше 100	10000
Снижение защищенности цепей на дальнем конце ЭКУ, дБ	больше 10	10	5	0
Обследование повреждаемости кабеля				
Плотность повреждений кабеля на 100 км трассы в год	больше 1,0	1,0	0,6	0,4
Анализ оперативности устранения аварий				
Среднее время восстановления кабеля, час	больше 16	меньше 16	меньше 10	меньше 8
Обеспечение эксплуатационной документацией (нужное подчеркнуть)				
Полный комплект	НЕТ			ДА
Оценка в баллах	0	1	2	3

Комплексная оценка технического состояния кабельной линии:

$$K = \{(3 \times 1 \times 2 \times 3 \times 3 \times 1 \times 3)^{1/7}\} = \{162^{1/7}\} = \{2,0685\} = 2,$$

где фигурная скобка означает округление до меньшего целого числа.

7). При оценке технического состояния кабельной канализации анализируются следующие характеристики:

- наличие свободного канала;
- диаметр канала, %;
- количество аварий;
- эксплуатационная документация;
- акты отвода земельных участков, %.

8). При оценке технического состояния линейно-кабельных сооружений ВОЛС-ВЛ анализируются следующие характеристики:

- отклонение стрелы провеса ОКГТ (ОКСН) от проектной на любом пролёте ВЛ, %;
- уменьшение общего сечения металлической части ОКГТ за счёт обрыва проволок;
- наличие коррозии и повреждений натяжной и поддерживающей арматуры;
- количество аварий;
- среднее время восстановления, час, при доступности трассы ВЛ: легко доступная и труднодоступная;
- состояние эксплуатационной документации.

9). При оценке технического состояния кабельной линии связи анализируются следующие характеристики:

- снижение избыточного воздушного давления 0,05 МПа на ЭКУ, МПа;
- сопротивление изоляции защитных шлангов, кОм·км;
- сопротивление изоляции рабочих цепей на ЭКУ, МОм·км;
- снижение защищенности цепей на дальнем конце ЭКУ, дБ;
- плотность повреждений кабеля на 100 км трассы в год;
- среднее время восстановления кабеля, час;
- состояние эксплуатационной документации.

10). При оценке технического состояния волоконно-оптической линии связи анализируются следующие характеристики:

- эксплуатационный запас в бюджете мощности на ЭКУ, дБ;
- сопротивление изоляции защитных шлагов, кОм·км;

- сопротивление изоляции цепей дистанционного питания на ЭКУ, МОм·км;
- поляризационно-модовая дисперсия на участке регенерации L, пс;
- плотность повреждений кабеля на 100 км трассы в год;
- среднее время восстановления кабеля, час;
- среднее время восстановления аппаратуры, час: в обслуживаемом и необслуживаемом узле связи (без учёта времени подъезда);
- срок службы оптического кабеля, лет;
- состояние эксплуатационной документации.

11). При оценке технического состояния волоконно-оптической линии связи ВОЛС-ВЛ анализируются следующие характеристики и явления:

- эксплуатационный запас в бюджете мощности на ЭКУ, дБ;
- поляризационно-модовая дисперсия на участке регенерации L, пс;
- плотность повреждений кабеля на 100 км трассы в год для ВЛ: 110, 220, 330 и 500 кВ;
- среднее время восстановления кабеля, час;
- среднее время восстановления аппаратуры, час: в обслуживаемом и необслуживаемом узле связи (без учета времени подъезда);
- срок службы, лет, для кабеля ОКГТ, для кабеля ОКСН;
- состояние эксплуатационной документации.

12). При оценке технического состояния радиорелейной линии связи (полукомплекты) анализируются следующие характеристики:

- конфигурация постанционного резервирования;
- запас бюджета мощности на замирания при Кош = 10^{-6} , дБ;
- среднее время восстановления аппаратуры, час: в обслуживаемом и необслуживаемом узле связи (без учета времени подъезда);
- наличие разрешения ГКРЧ на использование спектра частот;
- состояние эксплуатационной документации.

13). При оценке технического состояния УКВ радиостанций анализируются следующие характеристики:

- рабочий диапазон частот, МГц;

- дальность связи, км;
- запасная возимая радиостанция;
- полнота комплекта ЗИП;
- срок службы, лет;
- состояние эксплуатационной документации.

14). При оценке технического состояния аппаратуры ВЧ-связи по ВЛ анализируются следующие характеристики:

- запас по норме сопротивления изоляции устройств присоединения, %;
- запас по норме электрической прочности устройств присоединения, %;
- время передачи команд противоаварийной автоматики, мс;
- вероятность ложного действия в случае скачка затухания ВЧ тракта на 22 дБ и воздействия белого шума с отношением сигнал/помеха 6 дБ в полосе 4 кГц;
- коэффициент готовности на 100 км линии;
- среднее время восстановления аппаратуры, час;
- полнота комплекта ЗИП;
- срок службы, лет;
- состояние эксплуатационной документации.

15). При оценке технического состояния канала ТЧ 0,3 – 3,4 кГц аналоговых систем передачи анализируются следующие характеристики:

- схема резервирования;
- модуль отклонения остаточного затухания от уровня 7 дБ в диапазоне частот 0,6 – 2,4 кГц, дБ
- отклонение группового времени передачи от его значении на частоте 1900 Гц, мс, в поддиапазонах: 1,4 – 2,7, 0,6 – 3,15 и 0,4 – 3,3 кГц;
- коэффициент по сбоям и отказам, приведённый к длине 100 км (без резервирования);
- время восстановления, час, по сбоям, по отказам;

- напряжение помех в точке относительного нулевого уровня в канале на одном переприёмном участке длиной 2500 км, мВ псоф.;
- состояние эксплуатационной документации.

16). При оценке технического состояния основного цифрового канала со скоростью 64 кбит/с ЦСП ПЦИ анализируются следующие характеристики:

- схема резервирования;
- коэффициент битовых ошибок для четырёхпроводного режима «цифра – цифра»;
- модуль величины амплитудно-частотных искажений остаточного затухания относительно частоты 1020 Гц для четырёхпроводного режима «аналог – аналог» в диапазоне частот от 300 до 3000 Гц, дБ;
- величина амплитудно-частотных искажений остаточного затухания относительно частоты 1020 Гц для двухпроводного режима «аналог – аналог» в диапазоне частот от 600 до 2400 Гц, дБ;
- частотная зависимость искажения группового времени задержки для четырёхпроводного режима, мс, в диапазоне частот от 1000 до 2600 Гц;
- частотная зависимость искажения группового времени задержки для двухпроводного режима, мс, в диапазоне частот от 1000 до 2600 Гц;
- коэффициент по сбоям и отказам, приведённый к длине 100 км (без резервирования);
- время восстановления, час, по сбоям, по отказам;
- отношение сигнал-шум квантования, дБ, в диапазонах уровней сигнала, дБ: 0...-30, -30...-42 и -42...-45 дБ;
- состояние эксплуатационной документации.

17). При оценке технического состояния АТС (диспетчерского коммутатора) анализируются следующие характеристики:

- средняя суммарная (исходящая и входящая) телефонная нагрузка на одну абонентскую линию, Эрл;

- средняя суммарная (исходящая и входящая) телефонная нагрузка на одну соединительную линию, Эрл;
- нагрузка на линию связи с АТС сети связи общего пользования, Эрл;
- потери при повышенной нагрузке для соединений: внутристанционное, исходящее, входящее и транзитное
- базовые услуги: автоматическая внутренняя связь между всеми абонентами станции; автоматическая входящая и исходящая местная связь с абонентами других станций сторонних УС ПС; транзитная связь между входящими и исходящими линиями и каналами; автоматическая исходящая и транзитная связь к вспомогательным и справочно-информационным службам; исходящая и входящая связь на ГАТС; автоматическая и полуавтоматическая междугородная и международная связь, осуществляемая через ГАТС; связь в режиме полупостоянной коммутации; связь с Центром технической эксплуатации (ЦТЭ) или с системой управления;
- дополнительные услуги;
- схема резервирования управляющего устройства и коммутационного поля диспетчерской подсистемы;
- состояние эксплуатационной документации.

18). При оценке технического состояния устройств телемеханики анализируются следующие характеристики:

- сопротивление изоляции цепей питания, Мом;
- сопротивление изоляции цепей, включающих межаппаратные кабельные связи;
- изоляция линий связи от аппарата УТМ до устройств кабельных, воздушных каналов телемеханики:
- наработка между отказами, час, для классов надёжности: R1, R2, R3;
- коэффициент готовности для классов готовности: A1, A2, A3;
- среднее время восстановления, час, для классов ремонтопригодности: RT1, RT2, RT3, RT4;
- частота необнаруживаемых ошибок для классов достоверности: I1, I2, I3.

- разрешающая способность по очерёдности, мс, для классов: SR1, SR2, SR3, SR4;
- разрешающая способность по времени, мс, для классов: TR1, TR2, TR3, TR4;
- общая погрешность, %, для классов: A1, A2, A3, A4,
- полнота комплекта ЗИП;
- срок службы, лет;
- состояние эксплуатационной документации.

19) При оценке технического состояния устройств бесперебойного питания анализируются следующие характеристики:

- напряжение бесперебойного питания сети постоянного тока, В, с заземленным положительным полюсом: номинальное, минимальное, максимальное;
- номинальное напряжение бесперебойного питания сети переменного тока, В;
- бесперебойное функционирование УБП при допустимых изменениях характеристик внешнего источника переменного тока: диапазона напряжения, В; диапазона частоты, В; коэффициента нелинейных искажений, %; кратковременного (до 3с) изменения напряжения относительно номинального значения, %; импульсного перенапряжения длительностью до 10 мкс, В;
- длительность обеспечения электропитания при пропадании внешней сети, час: обслуживаемые узлы связи, необслуживаемые узлы связи;
- наличие устройств управления, контроля, сигнализации;
- состояние эксплуатационной документации.

20) При оценке состояния системы технической эксплуатации анализируются следующие характеристики:

- оснащённость объекта электроэнергетики средствами ДТУ;
- пригодность помещения для СДТУ;
- материально-техническое обеспечение эксплуатации СДТУ;

- электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость;
- система синхронной передачи голосовой оперативной информации с подстанций ЕНЭС;
- топология сети связи;
- наличие исполнительной и нормативной документации;
- квалификация персонала;
- система менеджмента качества.

Выводы по результатам исследований Главы 4

1. Исследование временных изменений коэффициента затухания 8 оптических волокон G.652 на отдельном усилительном участке регенерационного участка Кадала – Сковородино за 21 год эксплуатации показало, что средние выборочные значения коэффициента затухания (0,190 – 0,197 дБ/км) находятся внутри доверительного интервала математического ожидания 0,184 – 0,202 дБ/км, заданного с доверительной вероятностью 0,95 [131]. Поскольку известно, что коэффициент затухания оптического волокна носит случайный характер в диапазоне от 0,14 до 0,22 дБ/км и подчиняется нормальному закону Лапласа-Гаусса с математическим ожиданием 0,193 и средним квадратическим отклонением 0,013 дБ/км, проведенные исследования свидетельствуют о высокой временной стабильности коэффициента затухания оптического волокна G.652.

2. Результаты статистической обработки экспериментальных данных показали [125], что дисперсионные параметры оптического волокна G.652 стабильны во времени: среднее максимальных значений поляризационно-модовой дисперсии (ПМД), приведенных к длине 1 км, (0,235 пс/ $\sqrt{\text{км}}$) существенно меньше нормируемого квантиля (0,5 пс/ $\sqrt{\text{км}}$); при таком значении приведенного ПМД, ожидаемое значение ПМД на всем регенерационном участке Кадала – Сковородино (1027,3 км) будет не более 7,5 пс.

3. Волоконно-оптические кабели – основа информационной

инфраструктуры страны. Эти кабели широко применяются на сетях доступа и транспорта фиксированных сетей связи и сетей подвижной связи перспективных технологий 5G/6G/7G. Теория надежности относит оптические волокна и кабели в целом к стареющим объектам. Отечественными и зарубежными учёными разработаны достаточно совершенные теоретические модели их старения. По объективным причинам погрешность определения предельного срока службы оптических волокон и кабелей достаточно велика. При этом производители кабеля, как правило, дают нижнюю границу оценки срока службы.

4. С достаточными основаниями показано [140], что за чертой паспортного срока службы можно обеспечить требуемый эксплуатационный показатель надёжности кабелей путём оптимизации размещения аварийного запаса и, соответственно, уменьшения времени устранения отказов.

5. Разработан метод оценки технического состояния сетей и средств связи [133,134], обладающий следующими необходимыми свойствами:

- обобщенный – сводит все показатели средств связи к одному безразмерному числу;
- комплексный – обеспечивает возможность оценивать разнообразные показатели средств связи;
- иерархический – даёт необходимый минимум информации высшему руководству предприятия, большее количество информации руководителям среднего звена и полную информацию специалистам;
- чувствительный – обобщённая оценка заметно изменяется при изменении каждого показателя в отдельности;
- официальный – использует данные, приводимые в нормативно-технической документации средства связи;
- динамичный – отражает тренд изменения технического состояния средства связи;
- независимый – не зависит от количества оцениваемых параметров (одни индивидуальные показатели не маскируют другие).

Заключение

1. Анализ глобальных тенденций инновационного развития сетей, систем и устройств телекоммуникаций показал зависимость функциональной устойчивости сетей связи от мер нормативного и технологического регулирования и их соответствия с реально действующей сетевой инфраструктурой, используемыми и перспективными технологиями.
2. Назревшие мероприятия по совершенствованию лицензионного регулирования целесообразно проводить в соответствии с практикой стран с передовой технологической основой связной отрасли, использующих трёхзвенную структуру лицензирования.
3. Использование для организации телефонных соединений пакетных сетей передачи данных требует дополнительного нормирования в части обеспечения идентификации абонентов при взаимодействии сетей передачи данных и телефонных сетей общего пользования.
4. Разработанный метод расчета запасных частей позволяет с заданным периодом прогнозирования определять параметры надежности работы оборудования и оптимальный период восполнения запасов технических средств для обеспечения бесперебойной работы сети в целом. Это достигается за счет распространения теоремы К. Камбура и Л. Ламберсона на определение доверительного интервала остаточного срока службы сетевых элементов при аппроксимации распределения Пуассона для количества отказов нормальным распределением Лапласа-Гаусса.
5. Разработана ступенчатая методика расчета группового ЗИП, учитывающая вероятность выхода из строя новых сменных частей ЗИП.
6. На основании проведенных исследований установлено: нормативы ЗИП зависят от заданных параметров доступности сети связи и не зависят от принятых способов топологического и аппаратного

резервирования.

7. Разработанная методика расчета группового ЗИП обеспечивает возможность планирования номенклатуры составных частей ЗИП, осуществлять финансовое планирование закупок составных частей ЗИП с заданным периодом прогнозирования, постепенной замены устаревающего оборудования более перспективными аналогами, определять параметры надежности работы оборудования с учетом данных производителей и оптимальный период восполнения запасов технических средств.
8. Разработан метод оценки технического состояния средств связи, обладающий следующими необходимыми свойствами: обобщенный, иерархичный, чувствительный, официальный, динамичный, независимый; - что даёт возможность обоснованного контроля текущего состояния сети связи, исключающего маскирующие факторы отдельных показателей.
9. Предложенный алгоритм расчёта допустимого продления срока службы волоконно-оптических кабелей за их гарантийными пределами на основе разработанного метода расчета нормативов ЗИП с учетом изученной стабильности коэффициента затухания и поляризационно-модовой дисперсии оптического волокна G.652 позволяет сохранить требуемые показатели качества линий связи в целом, что оптимизирует процесс модернизации сетевой инфраструктуры.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетный направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».
2. ИТ и связь стали самым быстрорастущим сектором российской экономики.https://www.cnews.ru/news/top/2023-06-19_it_i_svyaz_stala_samyem_dohodnym?ysclid=lpv3gdu418196826601
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2023 года № 3339-р «Об утверждении Стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года».
4. Капранов О., Бобров Б. «Правительство определило пять главных направлений развития отрасли связи и информационной инфраструктуры страны». Российская газета, Федеральный выпуск № 248 (8896), 02.11.2022.
5. Боккарди Ф., Хелт-мл. Р., Лозано А., Марцетта Т., Поповски П. - Пять прорывных технологий 5G. Часть 1. Архитектура, частотный диапазоны, МИМО. «Беспроводные технологии», 2016, № 3, с. 14-18.
6. Боккарди Ф., Хелт-мл. Р., Лозано А., Марцетта Т., Поповски П. - Пять прорывных технологий 5G. Часть 2. Интеллектуальные устройства и встроенная поддержка M2M. «Беспроводные технологии», 2016, № 4, с. 7-9.
7. Хофизов С.А., Долбич Ю.М. – Оценка коммуникаций будущего: от 5G до 6 G. «Экономика и качество систем связи», 2022, № 2, с. 24-31.
8. Пшеничников А.П., Короткова В.И., Поскотин Л.С. Перспективные инфокоммуникационные технологии и сетевые услуги // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 3. С. 57-64.
9. Федеральный Закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи» (с изменениями и дополнениями).

10. ГОСТ Р 53111-2008. «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки».
11. Росляков А.В. Сеть 2030: архитектура технологии, услуги.- М.: ООО «ИКЦ «Колос-с», 2022,-278 с.
12. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 27.102-2021 "Надежность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения" (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2021 г. N 1104-ст).
13. Нетес В.А. *Ethernet* операторского класса. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 128 с.
14. Баркова И.В. Математические модели оценки надежности кольцевых структур в сетях SDH / И.В. Баркова // Электросвязь. – 2001. – № 11. – С. 36-38.
15. Лопухов, И. Концепция параллельного и кольцевого резервирования / И. Лопухов // Современные технологии автоматизации. – 2012. – № 1. – С. 18-25.
16. Старцев, Ю.В. Автоматизированный мониторинг и резервирование оптических линий связи / Старцев Ю.В., Приходько В.Е., Гришанова Н.А. // Аллея Науки. – 2023. – Т. 1, №5(80). – С. 397-407.
17. Government of India, Ministry of Communications, Department of Telecommunications // Guidelines for grant of Unified license No.20-577/2016 AS-I (Vol.-III), dated 17 January 2022.
18. Government of India, Ministry of Communications, Department of Telecommunications// Guidelines for grant of Unified license (Virtual network operators) No.20-577/2016 AS-I (Vol.-III), dated 17 January 2022.
19. DIRECTIVE (EU) 2018/1972 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 establishing the European Electronic Communications Code.
20. Communications Act of 1934 (Federal Communications Commission Act, Act of June 19, 1934), Enacted by: the 73rd United States Congress

21. Telecommunications Act of 1996 (Communications Decency Act of 1996), Enacted by: the 104th United States Congress, Effective: February 8, 1996
22. The Code of Federal Regulations, Discipline: Administrative law, Publisher: Office of the Federal Register (United States)
23. Code of Federal Regulations, Title 47 – Telecommunication, Chapter I – Federal Communications Commission (Subchapters A - D)
24. HOW TO SET UP AN ICT COMPANY IN RWANDA//
<https://koriatlaw.com/how-to-set-up-an-ict-company-in-rwanda/>.
25. RURA, REGULATION № 013/R/EC-ICT/RURA/2021 OF 25/02/2021 GOVERNING LICENSING IN ELECTRONIC COMMUNICATION.
26. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2020 № 2385 «О лицензировании деятельности в области оказания услуг связи и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации».
27. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.02.2005 № 87 «Об утверждении перечня наименований услуг связи, вносимых в лицензии, и перечней лицензионных условий».
28. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.01.2021 № 11 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
29. Постановление Правительства Российской Федерации от 26.02.2022 № 236 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2020 № 2385».
30. Письмо Министерства цифрового развития связи и массовых коммуникаций РФ от 5 сентября 2022 года № НЯ-П14-4-070-54126 «О порядке предоставления статистической отчетности».
31. «СП 133.13330.2012.Свод правил. Сети проводного радиовещания и оповещения в зданиях и сооружениях. Нормы проектирования» (утв.

Приказом Минрегиона России от 05.04.2012 № 159 (ред. от 17.04.2017).

32. Приказ Минцифры России от 13.08.2021 № 832 «Об утверждении требований к построению телефонной сети связи общего пользования».
33. Решение ГКРЧ от 24.04.2000 г. № 22/3 «Об использовании полос радиочастот в диапазоне 800 МГц радиосредствами гражданского назначения».
34. Федеральный закон от 02.07.2021 г. № 319-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О связи».
35. <https://taganrog.pg19.ru>
36. <https://elit-tv.ru>
37. Постановление Правительства РФ от 22.11.2022 № 2106 «О порядке недискриминационного доступа к инфраструктуре для размещения сетей электросвязи».
38. Otterstedt, K.B. Risk analysis on VoIP systems: 30 ECTS thesis submitted in partial fulfilment of a Magister Scientiarum degree in Industrial Engineering / Knútur Birgir Otterstedt. – Reykjavík, 2011. – 69 p.
39. Постановление Правительства РФ от 29.06.2021 г. № 1045 "Положение о федеральном государственном контроле (надзоре) в области связи".
40. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 января 2022 г. № 29 «Об утверждении Правил присоединения сетей электросвязи и их взаимодействия и признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации».
41. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2005 г. № 627 «О государственном регулировании цен на услуги присоединения и услуги по пропуску трафика, оказываемые операторами, занимающими существенное положение в сети связи

общего пользования, и о регулировании тарифов на услуги присоединения и услуги по пропуску трафика, оказываемые с использованием инфраструктуры связи (средств связи, линий связи и сооружений связи), предназначенной для оказания универсальных услуг связи» (ред. от 20.10.2021).

42. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2021 г. № 2606 «Об утверждении правил оказания услуг по передаче данных».
43. Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2014 г. №1342 «О порядке оказания услуг телефонной связи» (ред. от 18.01.2021).
44. Приказ Минцифры России от 07.02.2022 № 94 «Об утверждении требований к порядку пропуска трафика в телефонной сети связи общего пользования».
45. Приказ Минцифры России от 21.09.2021 года N 984 «Об утверждении требований к проектированию сетей электросвязи».
46. Приказ Минцифры России от 31 января 2022 № 75 «Об утверждении российской системы и плана нумерации».
- 47.I ETF RFC 6116. The E.164 to Uniform Resource Identifiers (URI). Dynamic Delegation Discovery System (DDDS) Application (ENUM).
48. Минцифры. Словарь OTT-терминов.
(<https://digital.gov.ru/ru/events/33396/>)
49. <https://www.spravportal.ru/PhoneCodes/Mobile/971>
50. Статистика отрасли. <https://digital.gov.ru/ru/pages/statistika-otrasli/#section-707>.
51. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
52. Приказ Минцифры России от 26 января 2022 г. № 44 «Об утверждении Требований к порядку пропуска трафика в сетях передачи данных».

53. Приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 10 января 2007 г. №1 «Об утверждении правил применения средств связи для передачи голосовой и видео информации по сетям передачи данных».
54. Приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 24 августа 2006 г. №112 «Об утверждении Правил применения оборудования проводных и оптических систем передачи абонентского доступа».
55. IETF RFC 3261. SIP: Session Initiation Protocol.
56. IETF RFC 1498. On the Naming and Binding of Network Destinations.
57. Росляков, А.В. Будущие сети (Future Networks). – А.В.Росляков, С.В. Ваняшин. – Самара, ПГУТИ, 2015. – 273 с.
58. ITU-T H.323 (12/2009). Packet-based multimedia communications systems.
59. Али Раад, А.М. Модель установления соединений с использованием платформы IMS при предоставлении услуг IPTV / А.М. Али Раад, Ю.В. Гайдамака, А.П. Пшеничников // Электросвязь. – 2013. – №10. – С. 46-51.
60. IETF RFC 3435. Media Gateway Control Protocol (MGCP).
61. Постановление Правительства РФ от 03.11.2022 № 1978 «Об утверждении требований к системе обеспечения соблюдения операторами связи требований при оказании услуг связи и услуг по пропуску трафика в сети связи общего пользования и Правил функционирования и взаимодействия системы обеспечения соблюдения операторами связи требований при оказании услуг связи и услуг по пропуску трафика в сети связи общего пользования с информационными системами и иными системами, в том числе с системами операторов связи».
62. Постановление Правительства РФ от 03.11.2022 № 1979 «Об утверждении Правил направления в систему обеспечения соблюдения

операторами связи требований при оказании услуг связи и услуг по пропуску трафика в сети связи общего пользования и получения из указанной системы сведений».

63. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ.
64. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей: Учебник. Изд. 8-е, испр. И доп. – М.: Едиториал УРСС, 2005. - 448 с.
65. Головин И.Н., Резиновский А.Я., Дзиркал Э.В. Расчёт и оптимизация комплектов запасных элементов радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
66. Головин И.Н., Чуварыгин Б.В., Шура-Бура А.Э. Расчёт и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем. М.: Радио и связь, 1984. – (Б-ка инженера по надёжности).
67. ГОСТ Р 50779.26-2007 Статистические методы. Точечные оценки, доверительные, предикционные и толерантные интервалы для экспоненциального распределения.
68. ГОСТ Р 27.013-2019 Надёжность в технике. Методы оценки показателей безотказности.
69. ГОСТ Р 27.102-2021 Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения.
70. ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике. Термины и определения.
71. ГОСТ 27.003-90 Надёжность в технике. Состав и общие правила задания требований по надёжности.
72. ГОСТ 27.301-95 Надёжность в технике. Расчёт надёжности. Основные положения.
73. ГОСТ Р 53111-2008 Национальный стандарт РФ. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки.
74. ГОСТ Р 55543-2013 Национальный стандарт РФ. Система национальных стандартов в области качества услуг связи. Управление

качеством услуг связи. Общие положения.

75. Жаднов В. В., Авдеев Д. К., Тихменев А. Н. Проблемы расчета показателей достаточности и оптимизации запасов в системах ЗИП// Надежность, – 2011. – №3. – с.53 – 60.
76. К. Камбур, Л. Ламберсон Надёжность и проектирование систем. Под ред. И.А. Ушакова. Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
77. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М., «Советское радио», 1975. – 472 с.
78. Надёжность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. проф. И.А.Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985.
79. ОСТ 4 Г0.012.021-71 Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Проектирование и комплектование ЗИП, 1972 г.
80. ОСТ 45.153-99 Надежность средств электросвязи. Термины и определения.
81. ОСТ 45.63-96 Стандарт отрасли. Обеспечение надежности средств электросвязи. Основные положения.
82. ОСТ 45.66-96 Стандарт отрасли. Запасные части, инструменты и принадлежности средств электросвязи. Общие требования.
83. Поляков А.П., Бильдин Д.В., Лепешкин Ф.Ф., Палей А.С. Теория и практика эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Том 3 Практические основы эксплуатации объектов космической инфраструктуры. Книга 1 Техническая эксплуатация объектов космической инфраструктуры и космических средств. СПб.: РИО и типография ВКА имени А.Ф. Можайского, 2008.
84. Приказ Минцифры от 25.11.2021 года № 1229 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования».
85. Приказ Минцифры от 10 сентября 2021 года № 940 «Об утверждении

требований к построению, управлению или нумерации, организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования, условиям взаимодействия, эксплуатации сети связи при оказании универсальных услуг связи».

86. РД В 319.01.19-98 Радиоэлектронные системы военного назначения. Методика оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП.
87. РД В 50-503-84 Аппаратура радиоэлектронная. Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП.
88. Фомин М.С. Применение метода имитационного моделирования для расчёта оптимальных запасов в одиночных комплектах запасных частей, инструментов и принадлежностей радиотехнических изделий / Сборник докладов молодёжной научно-технической конференции «Направления совершенствования АСУ» – с.206 – 217.
89. Черкесов Г.Н. О проблеме расчёта надёжности восстанавливаемых систем при наличии запасных элементов. Часть 1. М.: Надёжность, №3, 2010. – С.29-39.
90. Черкесов Г.Н. Оценка надежности систем с учетом ЗИП: учеб. Пособие – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 480 с.
91. Ш. Одом, Х. Нотингем Коммутаторы Cisco / Coriolis / Пер. с англ. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 528 с.
92. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М.: «Советское радио», 1962. – 552 с.
93. Броншнейн И.Н., Семеняев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. Наука, Москва, 1981 г., 721 с.
94. Гордиенко В.Н., Коршунов В.Н., Шишова Н.В. Скоростные параметры оптических телекоммуникационных систем// Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт – 2015, том 9, № 11, с. 32-37.
95. Приказ Минцифры РФ от 25.11.2021 № 1229 «Об утверждении Требований в организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования».

96. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. Комплексная оценка качества продукции. В кн.: Измерение качества продукции. Вопросы квалиметрии. М.: Издательство стандартов, 1972.
97. Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие с примером для АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов»: Учеб. пособие/ Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Садовов. — М.: Высш. шк., 2011. — 143 с.
98. Recommendation ITU-T G.650.1 Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cable. Определения и методы измерения для линейных параметров оптических волокон и кабелей.
99. Recommendation ITU-T G.652 (11.2009) Characteristics of a single-mode optical fiber and cable. Характеристики одномодовых оптических волокон и кабелей.
100. Recommendation ITU-T G.655 Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable. Характеристики одномодового оптического волокна с несмещенной дисперсией в катушках и в кабеле
101. Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов: Пер. с англ. -М.: Радио и связь, 1987. - 656 с.
102. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи. - М.: Радио и связь, 1990. - 224 с.
103. Г. Корн и Т. Корн Справочник по математике. Для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы
104. Цым А. Ю. Расчёт мощности невнятных шумов при большом числе параллельных систем передачи К-60 // Электросвязь. - 1980. - № 10. - С. 22-23.
105. Цым А. Ю. Нормирование мощности невнятного шума // Электросвязь. - 1993. - № 5. - С. 33-35.

106. Su-Van Chung, Lian Ding. Stress-strein characteristics of selfsupporting aerial optical fibre cables // Proceeding of the Fortieth International wire and cable symposium (IWCS). - 1991. - P. 178-185.
107. Kontava I., Tanskanen I. A High speed coating process for optical fibre ribbon // Proseeding of the 40-th IWCS. - 1991. - P. 550-555.
108. Esposito F., Montalti F., Nanui F. O.F. Ribbon cable system technology: the italian expirience // Proseeding of the 40-th IWCS. -1991.- P. 749-757.
109. Мальке, Г. Волоконно-оптические кабели. Основы. Проектирование. Планирование систем / Г. Мальке, П. Гёссинг: Пер. с нем. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Новосибирск, «Лингва-9», 2001. – 346 с.
110. Цым, А.Ю. Оценка долговечности оптических кабелей в процессе производства и остаточного срока службы при эксплуатации / А.Ю. Цым // Электросвязь. – 2000. – №8. – С. 20-22.
111. Калмыков, В. В. Транспорт и доступ в инфокоммуникационных сетях. Серия «Инфокоммуникации XXI века», Т. VII / В.В. Калмыков, А.М. Меккель, Н.А. Соколов, Ю.С. Шинаков. – М.: Международная Академия Связи, 2006 г. – 264 с.
112. Меккель, А. М. Полностью оптическая транспортная сеть. Основные положения / А.М. Меккель – М.: ЦНИИС, 2008. – 104 с.
113. Recomendation ITU-T G.653. Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable.
114. Recomendation ITU-T G.654. Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.
115. Recomendation ITU-T G.656. Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.
116. Recomendation ITU-T G.657. Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable.

117. IEEE 802.3av-2009. IEEE Standard for Information technology – Local and metropolitan areas networks – Specific requirements – Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specification Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks.
118. Recommendation ITU-T G.987. 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms.
119. Recommendation ITU-T G.989. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Definitions, abbreviations and acronyms.
120. Цым, А.Ю. Статистическое нормирование затухания оптических волокон на элементарных кабельных участках сети связи общего пользования / А.Ю. Цым, И.Д. Деарт //Электросвязь. – 1994. – №3. – С. 16-19.
121. Крейнин, Р.Б. Спектральное уплотнение оптических кабелей на транспортной сети ОАО «Ростелеком» / Р.Б. Крейнин, А.Ю. Цым // Электросвязь. – 2000. – №8. – С. 12-16.
122. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. – М.: Минэнерго России, Минкомсвязи России, 1999. – 108 с.
123. Приказ Госкомсвязи РФ от 17.12.1997 №97. Нормы приемо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков волоконно-оптических линий передачи сети общего пользования.
124. Glaesemann, G.S. Optical Fiber Mechanical Reliability. Review of Research at Corning's Optical Fiber Strength Laboratory. White Paper. WP8002 / G.S. Glaesemann. – Corning Incorporated, 2017. – 62 p.
125. Цым, А.Ю. Разработаны Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередач / А.Ю. Цым, В.Х. Ишкин, В.Н. Тулинов, В.Г. Ходатай // Connect! Мир связи. – 1998. – №10. – С. 17-21.

126. Рекомендации по применению временных оптических кабельных вставок (ВОКВ). – М.: ЦНИИС, 1994.
127. Бадаев А.С. Физические основы микроэлектроники. Ч.1. Физические свойства твердых тел: учеб. пособие/ А.С.Бадаев, А.В.Чернышев. Воронеж. ФГУБОУВПО «Воронежский государственный технический университет» 2011, 255 с.
128. Оптические параметры волокон на усилительных и регенерационных участках ВОЛС с предельным сроком службы. Заключительный отчет по НИР 128/21-14. – М.: ЦНИИС, 2014.
129. Цым А.Ю., Деарт И.Д., Пальцин Д.А., Кузьмичев В.А. «Методика расчета нормативов группового ЗИП на ремонтно-эксплуатационное обслуживание оборудования связи». *Электросвязь*, 2015, № 6, с. 20-23.
130. Цым А.Ю., Деарт И.Д., Пальцин Д.А. «Методика расчета нормативов группового ЗИП для технического обслуживания оборудования связи», Сборник трудов X Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» 16-17 марта 2016 г., с. 396-397.
131. Пальцин Д.А. «Результаты исследования временной стабильности коэффициента затухания, хроматической и поляризационно-модовой дисперсии оптического волокна». Сборник трудов XII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» 14-15 марта 2018 г., том 2, с. 215-218.
132. Пальцин Д.А., Цым А.Ю. «К расчету нормативов ЗИП на ремонтно-эксплуатационное обслуживание средств связи». Сборник трудов XII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» 14-15 марта 2018 г., том 2, с. 219-222.

133. Пальцин Д.А., Цым А.Ю. «Мониторинг сетей связи при помощи комплексной оценки их технического состояния». Сборник трудов XII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества» 14-15 марта 2018 г., том 2, с. 223-226.
134. Пальцин Д.А., Фень А.С., Ступницкий М.М. «Анализ эффективности существующей системы оценки качества оказания услуг сотовой связи в современных условиях». REDS: Телекоммуникационные устройства и системы, 2022, т.12, № 3, с. 23-35.
135. Пальцин Д.А., Плахов В.В., Фень А.С. «Применение протоколов ENUM для гармонизации сетей связи с коммутацией пакетов и коммутацией каналов». Электросвязь, 2022, № 10, с. 47-55.
136. Д.А. Пальцин. Международный опыт применения протокола ENUM: проблемы и перспективы / Л.А. Козадаева, Д.А. Пальцин, В.В. Плахов, А.С. Фень // Электросвязь. – 2023. – № 1. – С. 44-51.
137. Пальцин Д.А., Фень А.С., Гусев В.М., Деарт И.Д. «Текущие проблемы лицензирования интернет-сервисов, осуществляющих голосовые вызовы в сеть ТфОП». Электросвязь, 2023, № 1, с. 63-71.
138. Пальцин Д.А., Фень А.С., Гусев В.М., Деарт И.Д. «Назревшие дополнения к правилам лицензирования интернет-сервисов, осуществляющих голосовые вызовы в сеть ТфОП». Электросвязь, 2023, № 1, с. 72-78.
139. Пальцин Д.А., Фень А.С., Горчаков А.П., Гусев В.М., Деарт И.Д., Цым А.Ю. «Проблемы идентификации абонентов, инициирующих голосовые соединения в сети передачи данных». Электросвязь, 2023, № 5, с. 53-62.

140. Пальцин Д.А. «Эксплуатационная надежность сетей связи при окончании срока службы оптических кабелей». Электросвязь, 2023, № 8, с. 42-48.
141. Пальцин Д.А., Пшеничников А.П. «Реформирование структуры лицензирования в сфере телекоммуникаций». Электросвязь, 2024, № 1, с.51-60.
142. Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. Сети связи пост-NGN. БХВ, С.-Петербург, 2013 г., 145 с.
143. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи. - СПб: Техника связи, 2012-432 с.
144. Бакланов И.Г., Технология измерений в первичной сети, т.1. «Системы El, PDH, SDH» "ЭКО-Трендз", Москва, 2000 г., 152 с.
145. Бурдин В. А. Развитие теории кусочно-регулярных волоконно-оптических линий передачи и её приложения на сетях связи : диссертация доктора технических наук : - Самара, 2002. - 403 с.
146. Андреев В.А.// "Теория многопроводных линий связи". //М., ИРИАС, 2006г.-162 с.

Список сокращений

1.	АВР	аварийно-восстановительные работы
2.	АР	аварийный резерв
3.	ВЛ	воздушная линия электропередачи
4.	ВОЛП	волоконно-оптическая линия передачи
5.	ВОЛС	волоконно-оптическая линия связи
6.	ВОЛС-ВЛ	волоконно-оптическая линия связи на ВЛ
7.	ВСЧ	восстанавливаемая (ремонтируемая) составная часть
8.	ВСЧ	восстанавливаемая составная часть
9.	ВСЧ	восстанавливаемая составная часть
10.	ЕТССЭ	единая технологическая сеть связи электроэнергетики
11.	ЗИП-Г	групповой комплект ЗИП
12.	ЗИП-О	одиночный комплект ЗИП
13.	ЗЧ	запасная часть
14.	ЛКС	линейно-кабельные сооружения
15.	НСЧ	невосстанавливаемая (неремонтируемая) составная часть
16.	НТД	нормативно-техническая документация
17.	ОК	оптический кабель
18.	ОКНН	оптический кабель навивной
19.	ОКСН	оптический кабель самонесущий
20.	СДТУ	средства диспетчерско-технологического управления
21.	СЧ	составная часть
22.	ТОиР	техническое обслуживание и ремонт
23.	ЭРИ	электро-радио изделие

Обозначения

1.	a_i	—	среднее количество отказов составных частей i -го типа для одного изделия (средства связи) за расчётное время t_d
2.	$g_i(k)$	—	функция вероятности отказа и стоимости запасных частей, используемая при оптимизации комплекта ЗИП
3.	k	—	количество запасных составных частей i -го типа в комплекте ЗИП
4.	K_G	—	коэффициент готовности
5.	K_H	—	коэффициент интенсивности эксплуатации изделия
6.	K_{NG}	—	коэффициент неготовности
7.	m_i	—	количество одинаковых элементов с одним значением наработки до отказа в составной части i -го типа
8.	n_i	—	расчетное количество запасных составных частей i -го типа при формировании комплекта ЗИП
9.	$p_k(a_i)$	—	значение плотности вероятности отказа при k запасных составных частей i -го типа в комплекте ЗИП для a_i
10.	$P_k(a_i)$	—	значение интегральной функции распределения вероятности отказа при k запасных составных частей i -го типа в комплекте ЗИП для a_i
11.	P_{TP}	—	средний показатель обеспеченности изделия i -й невосстановляемой составной частью в комплекте ЗИП, - вероятность того, что в момент отказа запас соответствующей СЧ не будет равен нулю, требуемое значение
12.	q_{iTP}	—	средний показатель необеспеченности изделия i -й составной частью в комплекте ЗИП, вероятность того, что в момент отказа запас соответствующей СЧ будет равен нулю, требуемое значение
13.	S	—	количество составных частей в изделии
14.	t_d	—	период времени от начала эксплуатации изделия, для которого рассчитывается необходимое количество запасных составных частей в комплекте ЗИП
15.	T_0	—	наработка до отказа (между отказами)
16.	t_e	—	время восстановления
17.	λ_i	—	интенсивность потока отказов элементов i -го типа
18.	Λ_i	—	интенсивность потока отказов составных частей i -го типа
19.	ω_i	—	стоимость i -й составной части изделия

Приложение А. Документы, подтверждающие внедрение основных результатов диссертационной работы.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«РОССИЙСКАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ И РАДИОВЕЩАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ»
ФИЛИАЛ «МОСКОВСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР»



АКТ

использования результатов диссертационной работы Д.А. Пальцина, выполненной по теме «Разработка и применение статистических методов для повышения функциональной устойчивости перспективных сетей связи».

Настоящим Актом удостоверяется, что результаты диссертационных исследований Д.А. Пальцина используются в работе филиала федерального государственного унитарного предприятия «Российская телевизионная и радиовещательная сеть» Московский региональный центр для решения задач по оптимизации логистического обеспечения бесперебойного функционирования российской телерадиовещательной сети. Материалы выполненных диссертационных исследований в части оптимизации планирования запасов групповых комплектов ЗИП, а также расчетов вероятности выхода из строя новых сменных частей ЗИП, приняты для текущего применения и показали свою обоснованность и эффективность.

В процессе организации регламентных работ службы эксплуатации используются следующие новые научные результаты Д.А. Пальцина:

- ступенчатая методика расчета группового ЗИП;
- алгоритмы расчета периодов ревизии и пополнения составных частей комплектов ЗИП;
- алгоритмы планирования номенклатуры составных частей ЗИП с учетом прогнозирования замены оборудования и оптимального восполнения технических средств.

Применение указанных в работе методик и алгоритмов позволило существенно повысить эффективность функционирования сетей, снизить бюджетную нагрузку при подготовке и проведении регламентных и восстановительных работ, оптимизировать процесс планирования закупок с заданным периодом прогнозирования.

Начальник Службы ремонта и профилактики радиотелевизионных систем



А.В. Брюшков

Главный экономист,
Кандидат экономических наук



М.Ю. Рыбкин

Начальник Отдела комплектации



А.В. Лебедев



111141 Москва, ул. Плеханова, д.17, офис 509
Тел./ Факс.(495) 234-57-83, 730-29-26
e-mail: finance@algorcom.ru
www.algorcom.ru

Дата 29.01.25 г.

Общество с ограниченной ответственностью
«АЛГОРКОМ»
ИНН/КПП 7720206777/772001001
ОГРН – 1027739781850
111141 Москва, ул. Плеханова, д.17, офис 509

АКТ

использования результатов диссертационной работы Д.А. Пальцина, выполненной на тему «Разработка и применение статистических методов для повышения функциональной устойчивости перспективных сетей связи»

Настоящим Актом удостоверяется, что результаты диссертационных исследований Д.А. Пальцина используются для решения текущих задач обеспечения бесперебойного функционирования волоконно-оптических линий связи. Применение предложенных методик оценки устойчивости сетей волоконно-оптических линий связи за предельным сроком эксплуатации позволило сохранить в эксплуатации линии связи без ущерба для их надежности и избежать преждевременной замены дорогостоящих кабелей, что значительно уменьшило текущие эксплуатационные затраты.

В частности, применение разработанной методики расчета срока службы волоконно-оптических кабелей за пределами гарантийного срока службы при планировании регламентных работ позволило скорректировать прогнозируемые сроки замены линейных участков, что уменьшило затраты за счет снижения преждевременных закупок. Приводимые в диссертации научные результаты в части расчета периодов ревизии и оптимизации восстановительных работ снижают бюджетную нагрузку, сохраняя полностью обеспеченней устойчивость функционирования сети.

Генеральный директор
ООО «АЛГОРКОМ»
(наименование организации)
М.П.


(подпись)

Александровский М.И.
(расшифровка подписи)