ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМ УЧЕТА ОБЪЕКТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СЕТЕВОЙ ТОПОЛОГИИ

Махсум Махмудов
Director, PhD, LLC UNICON.UZ
Tashkent, Uzbekistan
ORCID: 0009-0002-8838-5277

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы обеспечения надёжности систем учета объектов телекоммуникаций, предназначенных для учёта, хранения и актуализации сведений о распределённых объектах телекоммуникационной инфраструктуры. Показано, что уровень доступности кадастровой информации определяется не только состоянием серверов и каналов связи, но и выбранной сетевой топологией передачи данных. Выполнен анализ топологий «звезда», «дерево», «кольцо» и mesh с позиции их влияния на коэффициент готовности, вероятность безотказной работы, среднее время наработки на отказ и среднее время восстановления. Сохранены базовые аналитические зависимости для оценки надёжности и показано их применение на расчётном примере для различных архитектурных решений. Полученные результаты свидетельствуют, что для распределённых систем учета объектов телекоммуникаций наибольший эффект по критерию надёжности обеспечивают mesh- и гибридные топологии, тогда как топологии «звезда» и «дерево» остаются рациональными при ограниченной территориальной распределённости и наличии централизованного управления.

Ключевые слова: надёжность, система учета объектов телекоммуникаций, телекоммуникационная инфраструктура, сетевая топология, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы, среднее время наработки на отказ, среднее время восстановления, топология звезда, топология дерево, топология кольцо, топология mesh, передача данных.

Annotatsiya. Maqolada telekommunikatsiya obyektlarini hisobga olish tizimlarining ishonchliligini ta’minlash masalalari ko‘rib chiqilgan bo‘lib, ushbu tizimlar telekommunikatsiya infratuzilmasining taqsimlangan obyektlari haqidagi ma’lumotlarni hisobga olish, saqlash va yangilab borishga xizmat qiladi. Kadastr ma’lumotlarining mavjudlik darajasi nafaqat serverlar va aloqa kanallari holatiga, balki ma’lumot uzatish uchun tanlangan tarmoq topologiyasiga ham bog‘liq ekani ko‘rsatib berilgan. “Yulduz”, “daraxt”, “halqa” va mesh topologiyalari ularning tayyorlik koeffitsienti, uzluksiz ishlash ehtimoli, o‘rtacha nosozlikkacha ishlash vaqti hamda o‘rtacha tiklanish vaqti kabi ko‘rsatkichlarga ta’siri nuqtai nazaridan

ISSN 3030-3907

tahlil qilingan. Ishonchlilikni baholash uchun asosiy analitik bog‘liqliklar saqlanib qolingan va turli arxitektura yechimlari uchun hisobiy misolda ularning qo‘llanilishi ko‘rsatilgan. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, taqsimlangan telekommunikatsiya obyektlarini hisobga olish tizimlarida ishonchlilik mezoni bo‘yicha eng yuqori samaradorlik mesh va gibrid topologiyalar orqali ta’minlanadi, “yulduz” va “daraxt” topologiyalari esa hududiy cheklanganlik va markazlashgan boshqaruv mavjud bo‘lgan sharoitlarda maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: ishonchlilik, telekommunikatsiya obyektlarini hisobga olish tizimi, telekommunikatsiya infratuzilmasi, tarmoq topologiyasi, tayyorlik koeffitsienti, uzluksiz ishlash ehtimoli, o‘rtacha nosozlikkacha ishlash vaqti, o‘rtacha tiklanish vaqti, yulduz topologiyasi, daraxt topologiyasi, halqa topologiyasi, mesh topologiyasi, ma’lumot uzatish.

Abstract. The article examines issues related to ensuring the reliability of telecommunication object accounting systems designed for recording, storing, and updating information about distributed telecommunication infrastructure objects. It is shown that the level of availability of cadastral information depends not only on the condition of servers and communication channels but also on the chosen network topology for data transmission. The topologies “star,” “tree,” “ring,” and mesh are analyzed in terms of their impact on availability coefficient, probability of failure-free operation, mean time to failure, and mean time to repair. Basic analytical relationships for reliability assessment are preserved and their application is demonstrated through a computational example for various architectural solutions. The results indicate that for distributed telecommunication accounting systems, mesh and hybrid topologies provide the highest reliability performance, whereas “star” and “tree” topologies remain reasonable for systems with limited geographical distribution and centralized management.

Keywords: reliability, telecommunication object accounting system, telecommunication infrastructure, network topology, availability coefficient, probability of failure-free operation, mean time to failure, mean time to repair, star topology, tree topology, ring topology, mesh topology, data transmission.

ВВЕДЕНИЕ.

Современные системы учета объектов телекоммуникаций (кадастровые системы телекоммуникаций) представляют собой специализированные информационные среды, в которых аккумулируются и постоянно актуализируются сведения о распределённых объектах отрасли: антенных сооружениях, кабельных трассах, узлах волоконно-оптических линий связи, распределительных шкафах, колодцах кабельной канализации, базовых станциях и других элементах инфраструктуры. Эффективность

ISSN 3030-3907

функционирования таких систем определяется не только полнотой и достоверностью данных, но и возможностью их непрерывного получения, передачи, обработки и хранения.

В распределённых телекоммуникационных кадастрах канал передачи данных перестаёт быть лишь вспомогательным компонентом. Он становится частью функционального контура, от которого зависит своевременность обновления сведений об объектах, доступность базы данных для пользователей, устойчивость мониторинга и целостность информационного массива. При отказе критических узлов или линий связи возникает не только риск снижения производительности, но и вероятность нарушения актуальности учётных записей, задержки синхронизации между уровнями системы и временной недоступности данных для инженерных, эксплуатационных и управленческих служб.

Одним из факторов, определяющих устойчивость работы таких систем, является сетевая топология. Выбор между централизованной, иерархической, кольцевой, ячеистой либо гибридной архитектурой влияет на резервирование маршрутов, чувствительность системы к одиночным и множественным отказам, время восстановления, масштабируемость и эксплуатационные затраты. В инженерной практике именно сетевое построение во многом задаёт потенциальный уровень отказоустойчивости, а затем уже определяется состав средств резервирования и политики восстановления.

1. Система учета объектов телекоммуникаций как объект анализа надёжности

Система учета объектов телекоммуникаций функционирует в условиях территориальной распределённости объектов, неоднородности каналов связи и неодинаковой критичности различных элементов инфраструктуры. С одной стороны, в системе присутствует центральная либо распределённая база данных, где хранятся сведения об объектах. С другой стороны, имеется множество точек генерации и передачи информации: региональные узлы, локальные серверы, датчики мониторинга, шлюзы IoT, элементы телеметрии и пользовательские терминалы. В такой системе отказ может проявляться не только как физическое отключение оборудования, но и как потеря связности, задержка обновления записей, невозможность синхронизации или частичная недоступность информации на одном из уровней.

С точки зрения надёжности система учета объектов телекоммуникаций телекоммуникаций должна обеспечивать устойчивый приём и передачу данных от распределённых объектов, сохранение доступности центральных

ISSN 3030-3907

и региональных информационных ресурсов, возможность восстановления после отказа в допустимое время, минимизацию последствий одиночных и групповых сбоев, а также масштабируемость без резкого ухудшения показателей готовности.

Эти требования напрямую связаны с архитектурой сети. Если система строится по принципу строгой централизации, то отказ центрального узла становится доминирующим фактором деградации. Если используется иерархическая модель, то особую роль начинают играть магистральные и промежуточные узлы. При ячеистой организации повышается устойчивость к локальным повреждениям, но возрастает сложность управления. Кольцевая топология даёт резервирование на магистральном уровне, однако при наращивании числа узлов может приводить к увеличению задержек. Именно эта взаимосвязь топологии и надёжности составляет основу дальнейшего анализа.

2. Основные показатели надёжности систем учета объектов телекоммуникаций

Для оценки надёжности систем учета объектов телекоммуникаций целесообразно использовать коэффициент готовности $K_Г$, вероятность безотказной работы $P(t)$, среднее время наработки на отказ $T_{СР}$, среднее время восстановления $T_В$. Указанные показатели образуют компактный, но достаточно содержательный набор критериев, позволяющий сопоставлять различные топологии передачи кадастровой информации.

Коэффициент готовности $K_Г$ отражает долю времени, в течение которого система находится в работоспособном состоянии:

$$K_Г = \frac{T_{СР}}{T_{СР} + T_В}, \quad (1)$$

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где $\lambda = \frac{1}{T_{СР}}$ — интенсивность отказов.

Чем выше коэффициент готовности $K_Г$, тем меньше суммарный простой системы. Для учета объектов телекоммуникаций платформ данный показатель характеризует не только исправность оборудования, но и фактическую доступность данных для эксплуатационных и аналитических служб.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ показывает вероятность того, что система будет функционировать без отказа в течение времени t при интенсивности отказов λ. Для систем учета объектов телекоммуникаций этот

ISSN 3030-3907

показатель важен потому, что непосредственно отражает вероятность непрерывного доступа к данным на рассматриваемом интервале наблюдения. Среднее время наработки на отказ определяется зависимостью:

$$T_{CP} = \frac{1}{\lambda}. \qquad (3)$$

Этот показатель отражает ожидаемую продолжительность работы системы до возникновения первого отказа. В телекоммуникационном кадастре он зависит от надёжности серверов, каналов связи, коммутаторов, маршрутизаторов и от топологии сети, влияющей на вероятность перехода системы в отказовое состояние.

Среднее время восстановления определяется как среднее арифметическое продолжительности устранения отказов:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^{n} T_{ВОССТ,\,i}}{n}, \qquad (4)$$

где $T_{ВОССТ,\,i}$ -время восстановления при i-м отказе;

n - общее количество отказов за рассматриваемый период.

Если известна общая сумма времени восстановления всех отказов ($T_{ОБЩ}$) и число отказов n, то

$$T_B = \frac{T_{ОБЩ}}{n}. \qquad (5)$$

В реальных системах учета объектов телекоммуникацийах в состав T_B входят диагностика, локализация повреждения, переключение маршрута, замена либо перезапуск оборудования, восстановление целостности базы данных и повторное предоставление доступа пользователям. Поэтому две системы с близкой интенсивностью отказов могут существенно различаться по готовности именно за счёт различного времени восстановления.

3. Анализ топологий передачи кадастровой информации с позиции надёжности

3.1. Топология «звезда»

Топология «звезда» характеризуется тем, что все периферийные узлы подключаются непосредственно к центральному узлу, который осуществляет сбор, обработку и хранение данных (рис.1). Для систем учета объектов телекоммуникаций такая архитектура удобна тем, что обеспечивает централизованный учёт распределённых объектов, упрощает интеграцию с IoT- и LPWAN-решениями и снижает вероятность рассинхронизации записей, поскольку данные сходятся в единую центральную базу.

ISSN 3030-3907

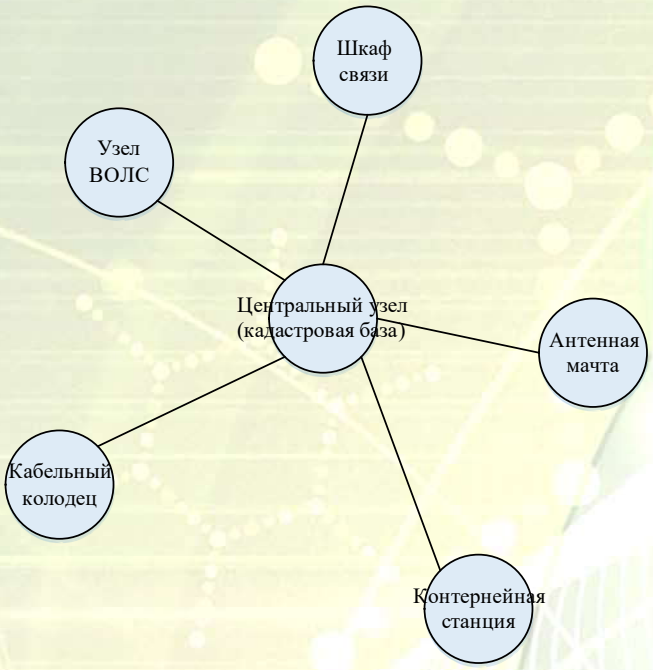


Рис.1. Топология сети «звезда»

С точки зрения надёжности преимуществом данной топологии является простота структуры и предсказуемость режимов обмена. Для периферийных узлов вероятность корректной доставки данных при исправном центре достаточно высока. Однако центральный узел становится единственной критической точкой отказа. Это означает, что высокий локальный уровень надёжности периферийных подключений не гарантирует высокой системной готовности. Если центральный сервер, его интерфейсы либо примыкающий канал связи выходят из строя, теряется доступность всей кадастровой подсистемы.

3.2. Топология «дерево»

Топология «дерево» представляет собой иерархическую структуру, в которой центральный корневой узел связан с промежуточными узлами, а те - с конечными устройствами (рис.2). Для систем учета объектов телекоммуникаций объектов телекоммуникаций эта схема удобна при организации многоуровневой структуры: центральная база данных, региональные серверы, локальные узлы учёта и точки сбора сведений. Такая организация обеспечивает хорошую масштабируемость и позволяет распределить нагрузку между уровнями системы.

ISSN 3030-3907

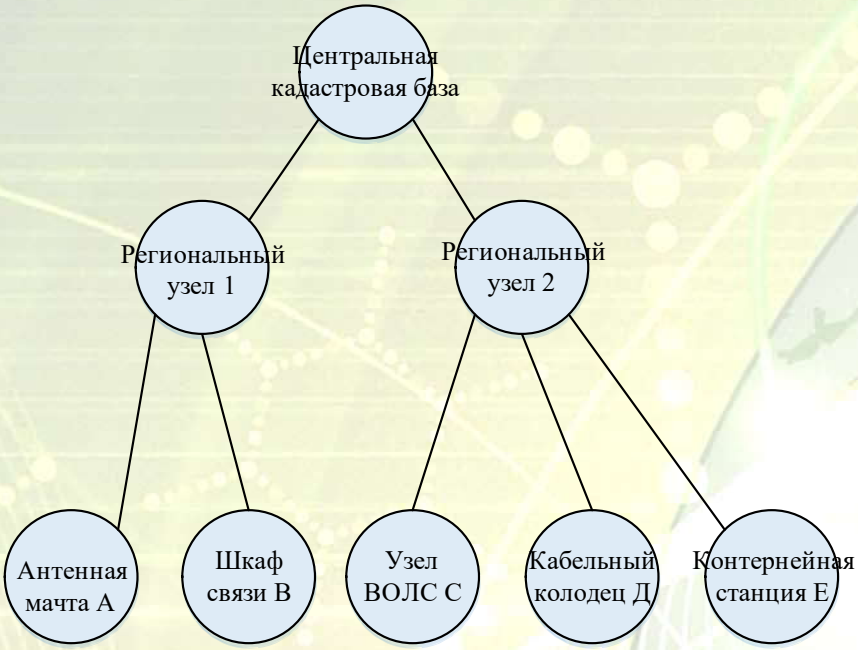


Рис.2. Топология сети «дерево»

С точки зрения надёжности топология «дерево» занимает промежуточное положение между полной централизацией и распределённой архитектурой. Отказ узла нижнего уровня, как правило, влияет только на ограниченный сегмент сети, однако повреждение промежуточного или магистрального узла приводит к потере связности целой ветви. Поэтому значение T_{CP} для такой системы в значительной мере определяется надёжностью узлов верхних уровней, а время восстановления может возрастать при сложной локализации иерархического сбоя.

3.3. Топология mesh

В ячеистой (mesh) топологии каждый узел может иметь несколько соединений с соседними узлами, формируя избыточные маршруты передачи данных (рис.3). Благодаря этому при выходе из строя отдельного канала или узла информация может быть перенаправлена альтернативным путём. Для систем учета объектов телекоммуникаций такая архитектура особенно привлекательна в условиях плотной городской застройки, промышленной инфраструктуры и развитых систем мониторинга, где требуется непрерывная актуализация данных от большого числа источников.

ISSN 3030-3907

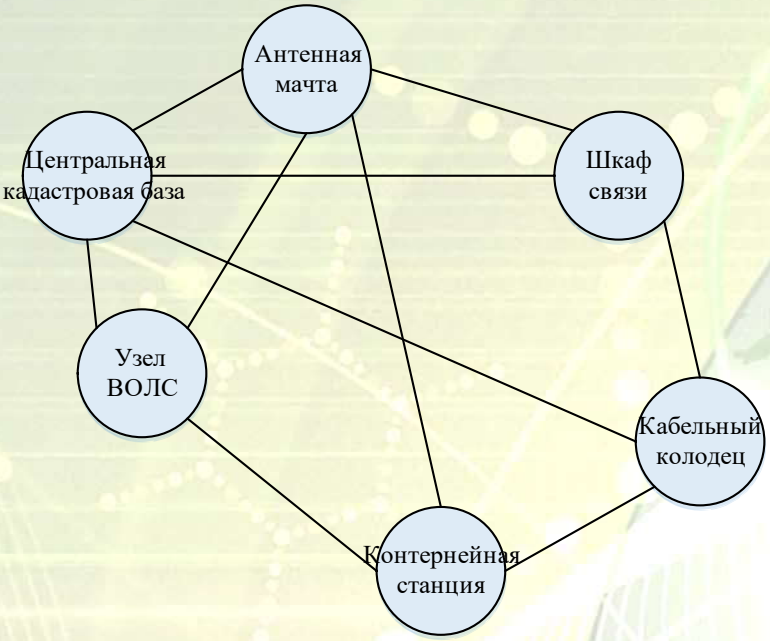


Рис.3. Топология сети «mesh»

Именно mesh обеспечивает наиболее высокую устойчивость к отказам среди рассмотренных «чистых» топологий. Наличие множественных маршрутов повышает вероятность безотказной доставки информации и способствует снижению среднего времени восстановления, поскольку отказавший элемент может быть изолирован без остановки всей системы. При прочих равных условиях для mesh-топологии ожидаются более высокие значения $K_Г$ и $P(t)$, а также более низкие значения T_B.

3.4. Топология «кольцо»

Кольцевая топология предполагает соединение узлов в замкнутую цепь, по которой данные передаются в одном или двух направлениях (рис.4). В телекоммуникационных системах такая схема традиционно применяется на магистральном уровне, поскольку обеспечивает резервирование: при повреждении одного участка трафик может быть направлен по альтернативной ветви кольца. Для систем учета объектов телекоммуникаций это особенно важно при обмене данными между региональными узлами и центральными серверами.

ISSN 3030-3907

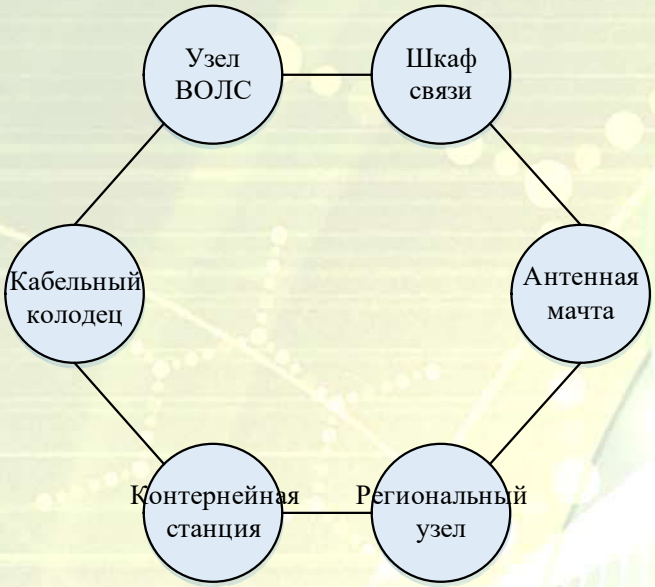


Рис.4. Топология сети «кольцо»

С позиции надёжности топология «кольцо» превосходит «звезду» при условии корректной реализации обхода отказового участка. Вместе с тем при увеличении числа узлов возрастают задержки, а множественные отказы в соседних сегментах могут приводить к серьёзному нарушению связности. Поэтому кольцевая структура наиболее рациональна для магистральных или межрегиональных соединений, где необходимо обеспечить резервирование, но число узлов и протяжённость сегмента остаются управляемыми.

4. Сравнительная интерпретация показателей надёжности

Сравнительный анализ показывает, что наибольшей надёжностью обладают mesh- и гибридные топологии, в то время как «звезда» и «дерево» в большей степени зависят от централизованных либо магистральных элементов. Кольцевая топология занимает промежуточное положение, обеспечивая резервирование на магистральном уровне, но уступая mesh по гибкости маршрутизации и устойчивости к множественным повреждениям.

С инженерной точки зрения это означает, что приоритет выбора архитектуры не должен определяться только простотой внедрения. Для системы учета объектов телекоммуникаций, где критична непрерывность обновления данных и доступность распределённых сведений, низкая стоимость начального развертывания может привести к более высоким потерям в период эксплуатации. Показатель готовности следует рассматривать как результат совместного действия двух процессов: частоты возникновения отказов и скорости их устранения.

При построении крупных территориально распределённых кадастров телекоммуникаций наиболее перспективными являются гибридные схемы, в которых магистральные участки реализуются по принципу кольца или

ISSN 3030-3907

резервированного дерева, а локальные сегменты мониторинга - на основе mesh или звезды в зависимости от плотности объектов и требований к стоимости решения.

5. Пример применения предложенных формул

Для демонстрации практического использования формул (1)-(5) рассмотрим условный пример оценки надёжности четырёх вариантов кадастровой сети: «звезда», «дерево», «кольцо» и mesh. Предположим, что в результате эксплуатационных наблюдений получены следующие усреднённые значения интенсивности отказов λ и среднего времени восстановления T_B: для топологии «звезда» λ=0,0020 1/ч, T_B=6 ч; для топологии «дерево» λ=0,0016 1/ч, T_B=5 ч; для топологии «кольцо» λ=0,0012 1/ч, T_B=4 ч; для топологии mesh λ=0,0008 1/ч, T_B = 2 ч.

По формуле (3) определим среднее время наработки на отказ: $T_{СР.ЗВ}$=500 ч; $T_{СР.ДЕР}$=625 ч; $T_{СР.КОЛ}$=833,3 ч; $T_{СР.mesh}$=1250 ч. Далее по формуле (1) вычислим коэффициент готовности: $K_{Г.ЗВ}$=0,9881; $K_{Г.ДЕР}$=0,9921; $K_{Г.КОЛ}$=0,9952; $K_{Г.mesh}$=0,9984.

Оценим вероятность безотказной работы на интервале t=100 ч по формуле (2): $P_{ЗВ}(100)$=0,8187; $P_{ДЕР}(100)$=0,8521; $P_{КОЛ}(100)$=0,8869; $P_{mesh}(100)$=0,9231. Полученные результаты показывают (таблица 1, рис.1), что даже при сравнительно небольшом различии в интенсивности отказов и времени восстановления интегральный показатель готовности заметно улучшается при переходе от централизованной схемы к более резервированной архитектуре.

Таблица 1

Результаты расчётной оценки показателей надёжности

Топология	**λ, 1/ч**	**$T_{СР}$, ч**	**$T_В$, ч**	**$K_Г$**	**P(100 ч)**
Звезда	0,0020	500,0	6	0,9881	0,8187
Дерево	0,0016	625,0	5	0,9921	0,8521
Кольцо	0,0012	833,3	4	0,9952	0,8869
Mesh	0,0008	1250,0	2	0,9984	0,9231

ISSN 3030-3907

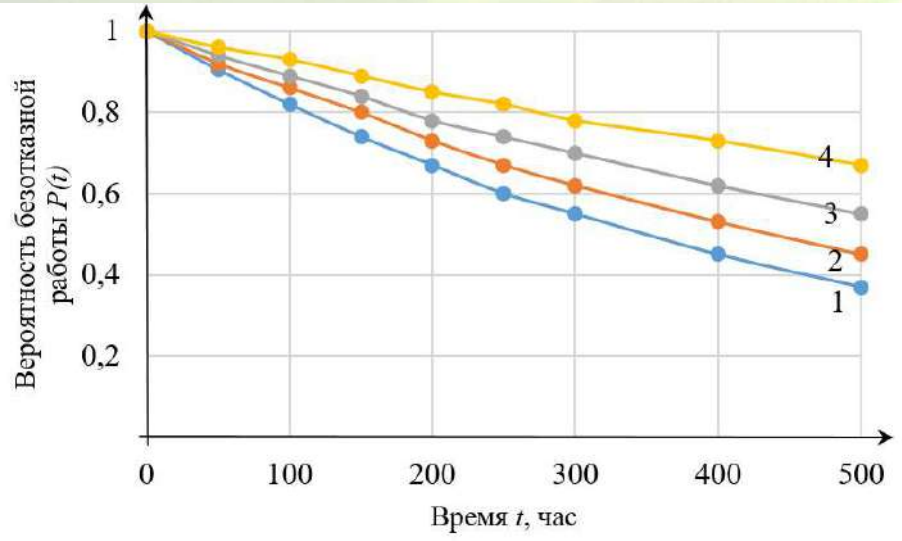


Рис. 1. Зависимость вероятности безотказной работы P(t) от времени для различных топологий: 1- «звезда»; 2 – «дерево»; 3 – «кольцо»; 4 - mesh

Из характера кривых (рис.1) видно, что при увеличении времени наблюдения наиболее быстро вероятность безотказной работы убывает для топологии «звезда», тогда как для mesh-сети снижение происходит медленнее, что отражает её большую устойчивость к отказам.

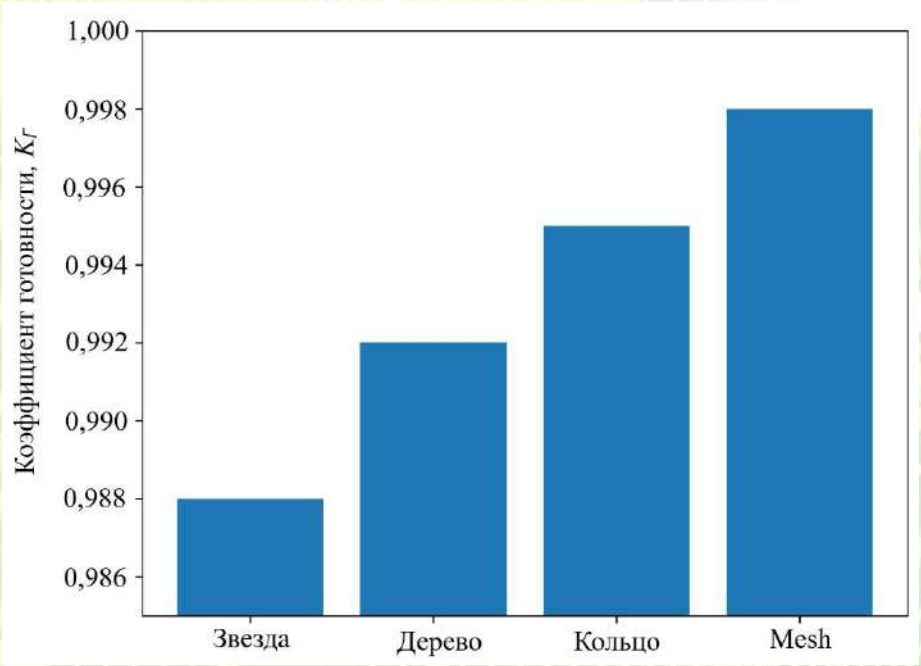


Рис. 2. Сравнительная оценка коэффициента готовности $K_Г$ для различных топологий

Столбчатая диаграмма (рис.2) наглядно показывает, что даже небольшое уменьшение интенсивности отказов и времени восстановления приводит к измеримому росту готовности системы. Для эксплуатационной практики это означает уменьшение совокупного времени простоя кадастровой платформы в течение года.

ISSN 3030-3907

6. Обсуждение результатов

Приведённый расчётный пример, хотя и основан на условных данных, позволяет достаточно ясно показать влияние архитектурного решения на итоговые показатели надёжности. Наибольшая эффективность mesh-топологии объясняется наличием альтернативных маршрутов, уменьшающих вероятность перехода всей системы в отказовое состояние. Кольцевая структура также демонстрирует высокие результаты, поскольку обеспечивает обход единичного повреждения на магистральном участке. В то же время иерархическая схема сохраняет приемлемый баланс между масштабируемостью и надёжностью, а звездообразная организация оправдана главным образом при небольшом числе узлов и наличии высоконадёжного центра.

Для реальных систем учета объектов телекоммуникаций это позволяет сформулировать несколько практических положений:

Во-первых, при проектировании системы следует выделять критические узлы, отказ которых вызывает системный эффект, и связывать их с резервированными каналами либо дублирующими серверами.

Во-вторых, для территориально распределённых кадастров наиболее рационально использовать многоуровневую гибридную архитектуру: локальный сбор данных может быть организован по принципу «звезда» или mesh, региональная агрегация - по схеме «дерево», а межрегиональный обмен - по кольцевой либо резервированной магистральной структуре.

В-третьих, при дальнейшем развитии таких систем, особенно в контексте интеграции IoT, LPWAN, 5G/6G и NTN, значение будут приобретать адаптивные архитектуры, способные изменять маршрутизацию и режимы обмена в зависимости от текущего состояния сети.

Это повышает значимость методов количественной оценки надёжности уже на стадии проектирования сети, когда выбор топологии предопределяет будущий уровень доступности кадастровой информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В статье проведена оценка надёжности систем учета объектов телекоммуникаций при различной сетевой топологии передачи данных. Показано, что надёжность таких систем определяется не только состоянием серверов и каналов связи, но и характером архитектурной организации сети, от которого зависят маршрутизация, резервирование, локализация отказов и время восстановления работоспособности.

Систематизированы базовые аналитические зависимости для оценки коэффициента готовности, вероятности безотказной работы, среднего

ISSN 3030-3907

времени наработки на отказ и среднего времени восстановления. На их основе продемонстрирован расчётный пример, подтвердивший, что по критериям надёжности наилучшие результаты обеспечивают mesh- и кольцевые решения, а в практических условиях наибольший интерес представляют гибридные архитектуры, сочетающие преимущества нескольких топологий.

Таким образом, при проектировании систем учета объектов телекоммуникаций объектов телекоммуникаций целесообразно переходить от использования изолированных «чистых» топологий к гибридным решениям, в которых архитектура сети подбирается дифференцированно по уровням системы. Такой подход позволяет обеспечить требуемую надёжность передачи кадастровой информации, уменьшить простои и повысить устойчивость функционирования телекоммуникационного кадастра в условиях роста масштабов и сложности инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ahmad W., Hasan O., Pervez U., Qadir J. Reliability modeling and analysis of communication networks // Journal of Network and Computer Applications. 2017. Vol. 78. P. 191-215. DOI: 10.1016/j.jnca.2016.11.008.
2. Colbourn C.J. Reliability Issues in Telecommunications Network Planning // Telecommunications Network Planning / eds. B. Sansò, P. Soriano. Boston: Springer, 1999. P. 135-146. DOI: 10.1007/978-1-4615-5087-7_8.
3. Jahanshahi M., Bistouni F. Reliable networking in Ethernet ring mesh networks using regular topologies // Telecommunication Systems. 2019. Vol. 72. P. 199-220. DOI: 10.1007/s11235-019-00566-8.
4. Trivedi K.S. Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2016. DOI: 10.1002/9781119285441.
5. Goyal N., Bhatia P.K., Arora S. An Approach to Investigating Reliability Indices for Tree Topology Network // Cybernetics and Systems. 2016. Vol. 47, No. 7. P. 570-584. DOI: 10.1080/01969722.2016.1209378.
6. Shi J.J., Fonseka J.P. Analysis and design of survivable telecommunications networks // IEE Proceedings - Communications. 1997. Vol. 144, No. 5. P. 322-330. DOI: 10.1049/ip-com:19971507.
7. Singh S., Singh S. A hybrid WDM ring-tree topology delivering efficient utilization of bandwidth over resilient infrastructure // Photonic Network Communications. 2018. Vol. 35, No. 3. P. 325-334. DOI: 10.1007/s11107-017-0755-3.

ISSN 3030-3907

8. Sinha R.S., Wei Y., Hwang S.-H. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT // ICT Express. 2017. Vol. 3, No. 1. P. 14-21. DOI: 10.1016/j.icte.2017.03.004.
9. Ali S.R. Next Generation and Advanced Network Reliability Analysis: Using Markov Models and Software Reliability Engineering. Cham: Springer, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-01647-0.
10. Zentani A., Zulkifli N., Ramli A. Network resiliency and fiber usage of tree, star, ring and wheel based wavelength division multiplexed passive optical network topologies: a comparative review // Optical Fiber Technology. 2022. Vol. 73. Article 103038. DOI: 10.1016/j.yofte.2022.103038.
11. Juraeva Nafisa, Davronbekov Dilmurod, Turdiev Ulugbek. Predicting failures in fiber optic information transmission systems with support of machine learning // Revista Cientifica de Sistemas e Informatica, 5(2), e907. – P. 1-11 https://doi.org/10.51252/rcsi.v5i2.907
12. H.Khujamatov, D.Davronbekov, A.Khayrullaev, M.Abdullaev, M.Mukhiddinov, J.Cho. ERIRMS Evaluation of the Reliability of IoT-Aided Remote Monitoring Systems of Low-Voltage Overhead Transmission Lines // Sensors 2024, 24, 5970. https://doi.org/10.3390/s24185970

ISSN 3030-3907