

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет Радиотехники и телекоммуникаций
Кафедра Телекоммуникационные системы
Специальность 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистрантке Маметовой Замира Жарылкасымовне
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование вопросов резервирования в телекоммуникационных системах»

утверждена Ученым советом института № от « » 2014 г.

Срок сдачи законченной диссертации « » 2015 г.

Цель исследования определения параметров и модели надежности с применением различных схем резервирования

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

- 1 Информационный обзор существующих методов резервирования;
- 2 Моделирование надежности базовой станции методом резервирования;
- 3 Расчет безотказности базовой станции при наличии резервирования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- 1 Рисунок 1.2 –Характеристики надежности телекоммуникационной системы;
- 2 Таблица 1.2 – Классы готовности телекоммуникационных систем;
- 3 Таблица 2.1 – Статистика отказов базовой станции в г.Алматы;
- 4 Рисунок 2.1 –Структурная схема базовой станции;
- 5 Рисунок 2.2 –Алгоритм определения показателей надежности базовой станции.

Рекомендуемая основная литература

1. Крухмалев В.В. и др. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. М. Горячая линия – Телеком, 2011 – 424 с..
2. Малкин В.С. Надежность технических систем – Ростов н/Д: Феникс, 2010; – 432 с

3. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.

4. Егунов М.М., Минина Е.А., Шувалов В.П., Трибунский Д.С. Структурная надёжность сетей связи. Учебное пособие. – Екатеринбург, УрТИСИ, 2011. – 51 с.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Информационный обзор телекоммуникационных систем с резервированием		
2 Анализ резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях		
3 Моделирование надежности базовой станции методом резервирования		
4 Аналитическая оценка надежности телекоммуникационной системы при резервировании		
5 Расчет надежности системы		
6 Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных		

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Байкенов А.С.)
(подпись) (Ф.И.О)

Руководитель диссертации _____ (Шагиахметов Д.Р.)
(подпись) (Ф.И.О)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (Маметова З.Ж.)
(подпись) (Ф.И.О)

Аңдатпа

Берілген магистрлік диссертацияда телекоммуникациялық құрылғының (оның ішінде сымсыз желінің базалық станциясы) сенімділігін арттыру сұрақтары қарастырылады. Жұмыстың мақсаты – әртүрлі резервілеу сұлбаларын қолдану арқылы сенімділік модельдері мен жолдарын зерттеу. Бұл жұмыста базалық станцияның сенімділік параметрлерін анықтау алгоритмі бойынша құрастырылған бағдарлама көрсетілген. Сонымен қатар берілген резервілеу режимдерде базалық станцияның сенімділігін бағалау бойынша теориялық есептеулер жүргізілді. Алынған нәтижелер бойынша қорытынды жасалынды.

Аннотация

В данной магистерской диссертации рассматриваются вопросы повышения надежности телекоммуникационной системы – базовой станции беспроводной сети. Целью работы является исследование методов и модели надежности с применением всевозможных схем резервирования. В работе представлена программа разработанная по алгоритму определения параметров надежности базовой станции. Были произведены теоретические расчеты по нахождению оценки надежности базовой станции при разных режимах резервирования. После полученных результатов были сделаны выводы.

Abstract

In this master thesis questions of increase of reliability of telecommunication system – a base station of a wireless network are considered. The purpose of work is research of methods and model of reliability with application of various schemes of reservation. In work the program developed on algorithm of determination of parameters of reliability of a base station is submitted. Theoretical calculations for finding of an assessment of reliability of a base station at the different modes of reservation were made. After the received results conclusions were drawn.

Содержание

Введение	6
1 Анализ надежности и резервирования телекоммуникационных систем	7
1.1 Причины отказов и показатели надежности в телекоммуникационных системах	7
1.1.1 Основные понятия надежности и их показатели	21
1.2 Методы повышения надежности ТКС	21
1.2.1 Виды резервных элементов в телекоммуникационных системах в зависимости от режима работы	24
1.2.2 Мажоритарное и комбинированное резервирование	24
1.3 Резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях	26
2 Экспериментальная часть	30
2.1 Моделирование надежности базовой станции методом резервирования	30
3 Расчетная часть	35
3.1 Аналитическая оценка надежности телекоммуникационной системы при резервировании	35
3.2 Анализ безотказности базовой станции при наличии резервирования (нагруженный резерв)	39
3.3 Анализ безотказности базовой станции при наличии резервирования (облегченный режим)	41
3.4 Анализ безотказности базовой станции при наличии резервирования (ненагруженный режим)	42
3.5 Модель надежности телекоммуникационной сети в зависимости от отказов	43
Заключение	48
Список литературы	49
Приложение А	50
Приложение Б	51
Приложение В	52
Приложение Г	53

Введение

Надежность телекоммуникационных сетей имеет важную значение на сегодняшний день и становится все более и более важной, так как сеть с каждым днем возрастает. Фактически все исследования показывают, что надежность коммуникационной сети основаны на предположении, что линии могут отказаться независимо от сети. Также надежность сетей зависит от устойчивости аппаратных устройств и программных обеспечений.

Для повышения надежности телекоммуникационных систем необходимо использовать методы резервирования и возобновления связи между узлами и средствами повышения надёжности самих узлов, в первую очередь блоков самой системы.

Совершенством метода резервирования является быстрое возобновление связи. Метод возобновления потребует немалых затрат времени на возобновление связи, кроме того, возникает риск нестабильности работы системы и сети, особенно в случае частых случаях самоустранение сбоев.

Для установления уровня надежности работы системы, требуемой для определенного узла телекоммуникационной сети, надо учесть возможность отказа устройств и полагаемые воздействия на трафик.

Новизна предполагаемых результатов. Новизной является моделирование, резервирования одного из важнейших узлов беспроводной сети – базовой станции. В работе представлен алгоритм определения параметров надежности базовой станции.

Практическая ценность результатов работы заключается в использовании более результативных методов повышения надежности блоков системы передачи данных телекоммуникационной сети при проектировании и эксплуатации.

Для основания результативной восстановления системы необходимо исследовать разные модели повышения надежности относительно использования схем резервирования и возобновления и решить следующие задачи:

- Определить важнейшие источники отказов и вероятные пути повышения надежности телекоммуникационной системы.
- Разработать модели резервирования телекоммуникационной системы.
- Провести выбор методов резервирования и избыточности оборудования базовой станции.
- Определить воздействия механизма на помехоустойчивость при резервировании узлов телекоммуникационной системы.
- Определить наиболее результативных методов повышения надежности базовой станции.

1 Анализ надежности и резервирования телекоммуникационных систем

1.1 Причины отказов и показатели надежности в телекоммуникационных системах

Надежность телекоммуникационной системы является основным показателем любой телекоммуникационной сети. На сегодняшний день все провайдеры заинтересованы в безотказной работе их сети, и конечно же на надежность сетей предъявляются очень высокие требования.

Телекоммуникационные сети являются одним из важнейших представителями таких систем. Безусловно они во всех сферах играют очень значимую роль. Задачи рассмотрения надежности телекоммуникационных сетей, как и любых структурно сложных технических систем, а также имеющиеся методы их решения различаются значительным многообразием. Задачи появляются на всех стадиях жизненного цикла сетей в связи с необходимостью всестороннего анализа и обеспечения надежности систем. При проектировании необходимо нормировать надежность систем, то есть находить и аргументировать требуемое значение найденных показателей надежности для любого элемента и систем в целом, что позволяет заложить основу надежности сетей. На этапе проектирования и эксплуатации систем нужно выяснять фактически достигнутую надежность, чтобы сравнивать с ее требуемой, а также реализовывать нужные уточнения и прогнозы относительно надежности. Анализ надежности телекоммуникационных систем часто осложняется тем, что во многих случаях система может в определенной степени модифицироваться после ввода ее в эксплуатацию [1].

Представленные задачи нельзя решить без построения комплексной системы рассмотрения надежности сетей, для этого необходимо исполняться систематизация сведений о соответствующих задачах, методах их решения, факторах, влияющих на надежность, а также нахождение применимости наблюдающихся и разработка новейших методов решения задач в тех или иных ситуациях. Для построения такой системы необходима идентификация и классификация основных содержательных ее сущностей, в частности, факторы влияющие на надежность сетей. Значимость классификации факторов определена тем, что она разрешает выявить ряд основных признаков надежности, на основе которых раскрывают сходства и отличия между факторами надежности, исполняют поиск и обоснование применимости методов учета, а также определяют соответствия между конкретными задачами, методами, показателями и факторами надежности.

Под факторами влияющих на надежность сетей далее понимается итог воздействия отдельной основы на надежность анализируемого технического объекта или системы, регламентированный требованиями к обстановкам их эксплуатации. Так как понятие надежности касается к штатным ситуациям функционирования объекта, то эти факторы, как

правило, оказывают прогнозируемое, ожидаемое влияние на его надежность. Но осуществление вероятности определения значений одного и того же показателя на различных этапах жизненного цикла сетей вполне может являться (и часто является) нетривиальной задачей.

На каждом этапе жизненного цикла сетей можно идентифицировать и сгруппировать факторов влияющих на надежность элемента, подсистемы или системы в целом. Потому что факторы идентифицируются причинами, но не объектами воздействия, один фактор может оказывать свое влияние, в частности, единовременное, на надежность элементов сетей различного масштаба.

Идентификация и классификация факторов надежности может быть реализована разными способами на основании многообразных классификационных признаков, с выделением разнообразных категорий. Выбор или построение разных вариантов классификации факторов обязан совершаться в зависимости от цели ее исполнения на основании порядка критериев, в качестве которых выдвигаются, как правило, логическая согласованность, удобство дальнейшего учета факторов которые влияют на надежность и управления их воздействием, уровень соответствия классификационной структуре подлежащих объектов сетей или ее модели. Следует отметить, что часто грань между образуемыми классами факторами не выражается четким, а классификация – совершенной и полной. В обусловленных случаях могут обнаруживаться факторы, имеющие чертами нескольких классов, а также факторы, для которых не выделено подходящих классов (в результате недостатков процедуры классификации или преднамеренно, например, при анализе малозначительных факторов надежности). Классификация факторов надежности, как и любая другая, может быть одно – или многоуровневой, образуя в последнем случае иерархическую структуру обобщения – конкретизации [2].

При построении иерархической классификации факторов одним из начальных классификационных признаков часто выдается соответствие факторами обусловленным ступеням жизненного цикла телекоммуникационной сети. Это определено тем, что в любом этапе надежность сетей определяется своими основаниями и предпосылками, которые объединены с задачами рассмотрения и обеспечения надежности. В соответствии с этим подходом выделяют три категории факторов влияющих на надежность сетей: проектные, производственные и эксплуатационные. Такое деление имеет тот несомненный значение, что ФВН любого из таких видов определяются и распоряжаются в большинстве своем самостоятельно друг от друга, посредством своих методов, учитывающих должную специфику [1].

Проектные (или конструктивные) факторы устанавливают вероятную надежность сетей. В этом значении они являются стабилизирующими, потому что непосредственно объединены с критериями повышения и обеспечения надежности телекоммуникационных систем. К предоставленной

категории также относятся факторы, которые учитываются при осуществлении прогноза относительно надежности, которой будет обладать сети после ее изготовления и введения в эксплуатацию [1].

К проектным факторам надежности телекоммуникационных сетей относятся, в частности, выбор логической и физической топологии сетей, ее функциональной схемы, выбор аппаратных механизмов, способов их резервирования и проверки, порядков и обстоятельств их работы в телекоммуникационных сетях, предназначение параметров установки и исправления и др.

К производственным факторам относятся технологические факторы производства, монтажа и исправления оборудования систем, в подробности: входной контроль качества используемых элементов систем, объединение процесса изготовления и проверка качества оборудования систем, снабжение качества и проверка монтажа и исправления аппаратных блоков и систем телекоммуникационной сети и др.

К эксплуатационным факторам надежности относятся факторы, которые оказывают влияние в процессе эксплуатации телекоммуникационных систем. В основном, эти факторы находят регламентированными обстановками эксплуатации, такими как, климатические факторы, обстоятельствами сервиса, а также процессами устаревания и износа элементов систем.

Отметим, что предел между показанными категориями факторов несколько размывается тем условием, что на стадиях рассмотрения запросов и проектирования систем могут быть учитываться все факторы влияющие на надежность, в том числе производственные и эксплуатационные, на основе существующих, накопленных ранее предоставленных об обстоятельствах работы и особенностях эксплуатации аналогичных систем. На последующих периодах жизненного цикла систем, конечно же, эти предоставленные данные сначала определяются.

По мере естественности влияния факторов влияющих на надежность систем можно подразделить на объективные – влияния внешней среды, и субъективные – влияние обслуживающего персонала. Такое разделение разрешает отчетливее проследивать основания, соответственные источнику возникновения отказов телекоммуникационных систем, и сформировать на основании этих наблюдений должные группы методов рассмотрения и предотвращения отказов. Обозначим, все-таки, что предоставленные методы могут не иметь принципиальных отличий в той части, которая касается анализа воздействия погрешностей обслуживающего персонала с учетом его случайной, недетерминированной естества.

Факторов можно группировать по локализации источника возникновения сравнительно пределов системы на две группы: внутренние и внешние. Внутренние факторы обуславливают влияния, которые появляются внутри телекоммуникационных систем, а внешние, соответственно, вне ее. Внешние факторы определены воздействием внешней среды и обстоятельствами использования телекоммуникационных сетей;

к ним относятся климатические факторы, механические влияния, электромагнитное и радиационное излучения, агрессивная среда и др. Внутренние факторы объединенные с модифицированием параметров самих объектов сетей, в подробности, конструкционных материалов, из которых они произведены. Эти факторы устанавливают надежность, закладываемую в систему еще на этапе проектирования, и могут быть подразделены на категории в соответствии с составляющими интегрального представления надежности безотказностью, долговечностью.

Целесообразность раздела факторов на внутренние и внешние определена тем, что лица, ответственные за правление каждой из этих групп, и, соответственно, способы такого управления, как правило, многообразны. Здесь заметим лишь тот факт, что возможно откладывание одних и тех же факторов к внутренним или внешним в зависимости от пределов анализируемой системы, которые в последовательности происшествий могут не задаваться исконно, а находить каждого или на основе обусловленных субъективных.

Отказы, которые случаются в рамках влияния внутренних факторов, можно с некоторой частью условности подразделить по уровню закономерности влияния на случайные и систематические (закономерные).

Нужно учесть, что модифицирования внутренних параметров объектов телекоммуникационных систем, обуславливающие внутренние факторы надежности, случаются с направлением периода под воздействием внешних факторов, и, таким образом, внутренних факторов нельзя полагать совершенно самостоятельными. Также нужно отметить, что все перечисленные факторы влияют на надежность рассматриваемого объекта сетей в комплексе, что затруднит уточненное моделирование их влияния.

Еще один вариант классификации эксплуатационных факторов основан на учете природы исполнении объектов сети: аппаратурные и не аппаратурные. К конечным можно отнести характеристики, обстоятельства работы, антропогенный фактор.

При первичной классификации факторов, то есть при выделении категорий факторов первого степени конкретизации, в качестве классификационного знака также может применяться локализация соответственных источников влияния (в частности, источников отказа) сравнительно обстоятельств функционирования систем [2]. При таком подходе на верхнем степени отличаются факторы, которым отвечают те или иные обстоятельства, вызывающие источники влияний на надежность объекта рассмотрения:

а) системные условия – вызывают источники влияний внутри объекта на каждом стадии его жизненного цикла;

б) условия эксплуатации – вызывают источники отказов, которые начинаются во время эксплуатации объекта;

в) условия технического обслуживания – вызывают источники отказов, которые начинаются в объекте во время проведения технического

обслуживания.

г) надо заметить, что предоставленные источники отказов могут взаимодействовать между собой.

Независимо от найденного метода первичной классификации, факторы верхнего степени носят обобщенный характер и, в полном могут быть причислены к каждому разделам индустрии.

Факторов также можно подразделять на стабилизирующие и дестабилизирующие, допустимые и недопустимые и т. п.

После качественной и количественной оценки показанных факторов общего характера могут быть идентифицированы подробные факторы которые влияют на надежность сетей, показывающие характерными в любом конкретном происшествии. При этом нужно учитывать, что состав систем как объекта рассмотрения также может быть найден по – разному. Здесь опять – таки обязаны задействоваться меры логической стройности и управляемости, то есть рационального соответствия объектам управления.

Классификация факторов должна поддержать в идентификации тех конкретных факторов, которые будут проявляться объектами прямого рассмотрения и управления. Результативный учет факторов вероятен только при незначительном их количестве, вследствие этого после идентификации конкретных факторов нужно обнаружить наиболее значимые из них. другими словами, нужно отделить главные факторы от второстепенных и косвенных (результатов). Одним из основных свойств выделяемых факторов также является прогнозируемость, потому что непрогнозируемые факторы не могут быть заложены в оценку надежности телекоммуникационных сетей.

Проведение исследования в сфере обнаружения оснований отказов удостоверяют о том, что одним из основных аспектов в комплексном процессе управления надежностью сетей является человеческий фактор. Причисление человеческого фактора к внешним или внутренним, обусловливаемое постановлением о введении человека в рассматриваемую систему не принципиально: значительнее сама по себе нужда его учета. По итогам изучения, можно выделить три основных факторов которые влияют на надежность телекоммуникационных систем.

Все выделенные факторы неперенные, хотя каждый из них можно понизить, обеспечив повышенную надежность.

Отказы системы – события, которые проявляются последствием влияния разных факторов влияющих на надежность сетей: климатических (таких как влажность, который приводит к повышению температуры, последствием влияния которой является ухудшение гибкости изоляции), электромагнитных (пробуждающих помехи), механических (трение, повергающее к износу материалов) и др. В зависимости от того, какая часть системы выходит из строя, отказы могут отличаться по масштабу, уровню критичности, длительности, другим особенностям [3].

На рисунке 1.1 представлена схема, отображающая варианты классификации факторов. Обнаружение более подробных факторов вероятно выполнить путем дальнейшего анализа каждого общего фактора надежности.

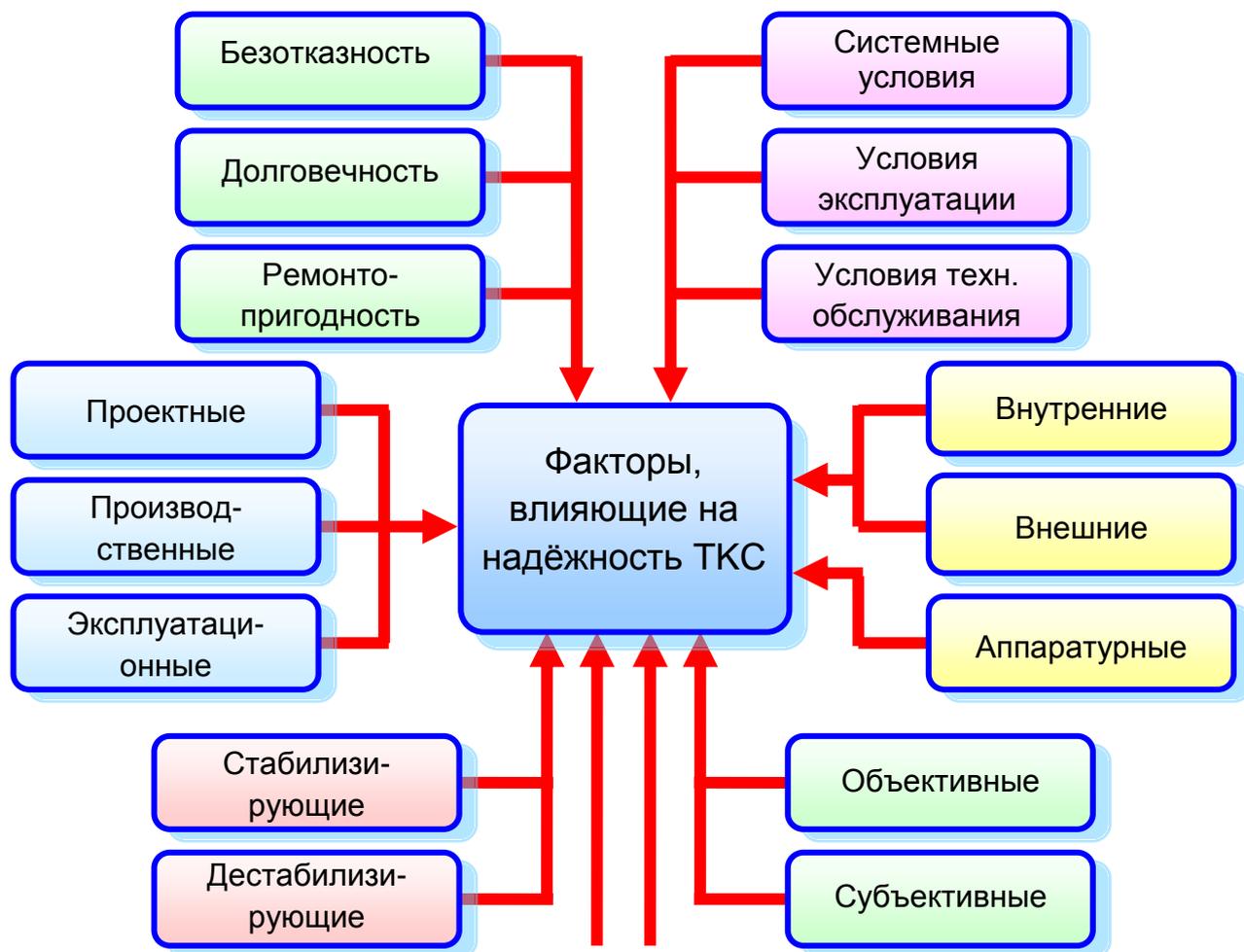


Рисунок 1.1 – Варианты классификации факторов, влияющих на надежность телекоммуникационных сетей

Ошибки персонального обслуживания – обладают свою специфику, на нижнем степени воздействуют на логику работы прямо управляемого оборудования, на верхнем – на логику всей системы управления. Соответственно ошибки на верхнем уровне могут дестабилизировать полные участки разделенной системы или даже всю систему, если управление централизованное.

Ошибки специалистов – могут привести к физическим повреждениям (и отказам) техники, а также ошибкам в управлении. При поэлементном структурировании телекоммуникационных сетей как системы анализа надежности нужно учесть уровень воздействия надежности любого элемента на надежность сетей, вероятность объективного проверки надежности элементов в производстве и эксплуатации, а также достоверность сведений о техническом состоянии элемента, зачисляющихся с разнообразных стадий

технического проверки [4].

Среди определенных данных, имеющих отношение к надежности функционирования телекоммуникационных сетей и соответственных им факторов, можно показать следующие:

а) внутренняя структура узла связи с параметрами отдельных аппаратных блоков сетей; соответствующий факторам – внутренние отказы аппаратуры, надежность которой характеризуется показателями бесперебойностью (возможность безотказной работы, наработка на отказ, интенсивность отказов и восстановлений, коэффициент готовности и др.);

б) характеристики используемого персонального обслуживания узла, подсистемы или системы в целом: надлежащий факторам – отказы персонального обслуживания;

в) методы и особенности осуществлении линии связи, включая параметры окружения передачи, строительных сооружений и пр.; соответственные факторы – повреждения линий связи, непосредственные помехи;

г) характер создания и передачи сетевого трафика (включая алгоритмы основания и управления, объемы, способ коммутации и кодирования фрагментов и пр.); соответственный факторам – временные перегрузки некоторых участков сети, повергающие к nepoзвoлитeльнoму понижению пропускной способности;

д) режимы работы и условия эксплуатации объектов сети (узлов, каналов, путей, связей), в том числе непосредственные помехи, режимы нагруженности и пр.;

е) информация о сравнительной важности объектов в рамках всей сети; возможный фактор – модифицирование информации о важности со временем и в зависимости от конкретных условий;

ж) особенности объединении системы технического обслуживания и ремонта объектов телекоммуникационных сетей (узлов и каналов); соответственный фактор – возобновления отказавших элементов, характеризуемые показателем интенсивности восстановления;

з) характеристики специалистов, обслуживающего объекты сетей; соответственный фактор – ошибки специалистов, невыполнение нужных функций.

Таблица 1.1 – Наиболее свойственные виды факторов влияющие на надежность телекоммуникационных систем

Вид факторов влияющих на надежность	Способ понижения влияния факторов
Отказы техники	Применение высоконадежной аппаратуры
Ошибки программного обеспечения	Применение неоднократно проверенных и хорошо протестированных программ
Ошибки специалистов	Высококвалифицированные работники

В таблице 1.1 приведены наиболее свойственные виды факторов влияющие на надежность телекоммуникационных систем.

По итогам данной классификации можно реализовать учет, оценку и распределение надежности на каждой степени иерархии факторов влияющие на надежность телекоммуникационных систем.

1.1.1 Основные понятия надежности и их показатели

Систематическое изложение понятий надежности состоит из трех частей: угрозы, признаки, и средства, которыми надежность достигнута, как показано на рисунке 1.2.

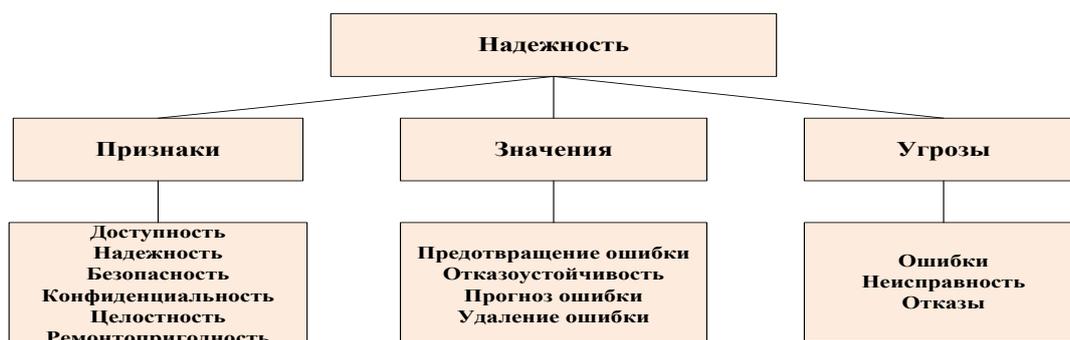


Рисунок 1.2 – Характеристики надежности ТКС

Телекоммуникационные системы характеризуются четырьмя фундаментальными свойствами: функциональность, работоспособность, стоимость и надежность.

Функция системы – то, что предназначена для системы и описана системной спецификацией

Угрозы, ошибки и отказы. Правильная услуга предоставлена, когда обслуживание осуществляет системную функцию. Системная неудача – случай, который происходит, когда предоставленная услуга отклоняется от правильного обслуживания. Система может потерпеть неудачу или не выполняет спецификацию, также спецификация не соответственно описывала свою функцию. Неудача – переход от правильного обслуживания до неправильного обслуживания, то есть, к не осуществлению системной функции. Переход от неправильного обслуживания к исправлению обслуживания является сервисным восстановлением. Временной интервал, во время которого предоставлена неправильная услуга, является приостановкой обслуживания. Ошибка состоит в том, что часть системной структуры, которое может вызвать последующие отказы: отказ системы происходит, когда ошибка достигает, обслуживание взаимодействуют. Ошибка активна, когда она производит ошибку, иначе это бездействует. Система путями может потерпеть неудачу и способы неудачи [5]. Как показано на рисунке 1.3 способы характеризуют неправильное обслуживание согласно трем точкам зрения:

- а) область отказа;
- б) восприятие неудач системными пользователями;
- в) последствия неудач на окружающую среду.

Ошибка первоначально вызывает ошибку в пределах режима одного (или больше) компонента, но системный отказ не будет происходить, пока ошибка не достигает сервисного интерфейса системы.



Рисунок 1.3 – Неисправность в телекоммуникационных системах

Последствия на окружающую среду. Система состоит из ряда взаимодействующих компонентов, поэтому системная структура – структура набора своих составляющих режимов. Удобная классификация ошибок должна описать их с точки зрения составляющих неудач, которые они вызывают, используя терминологию рисунка 1.3. Ценность против выбора времени ошибок; последовательный против непоследовательных ('византийских') ошибок, когда продукция идет в два или больше компонента; ошибки различного строгого обращения: незначительный против дежурного блока против катастрофических ошибок. Ошибка обнаружена, если ее присутствие в системе обозначено сообщением об ошибке или ошибочным сигналом, который происходит в пределах системы. Ошибки, которые присутствуют, но не обнаруженные, являются скрытыми ошибками [5].

Ошибки и их источники очень разнообразны. Их классификация согласно шести главным критериям представлена на рисунке 1.4. Они классифицированы как сознательно злонамеренные ошибки и включают злонамеренную логику (тройные кони, логические бомбы, лазейки – ошибки дизайна, в то время как вирусы и черви – эксплуатационные ошибки), вторжения (внешние эксплуатационные ошибки) и физические нападения на систему (физические эксплуатационные ошибки).

Признаки надежности. Надежность – интегральное понятие, которое охватывает следующие признаки: доступность – готовность для правильного обслуживания; надежность – непрерывность правильного обслуживания; безопасность – отсутствие катастрофических последствий на пользователя и окружающей среде; конфиденциальность – отсутствие несанкционированного разглашения информации; целостность – отсутствие неподходящей системы;

ремонтпригодность; способность подвергнуться ремонту и модификациям.

Безопасность – параллельное существование: а) доступность к зарегистрированным пользователям, б) конфиденциальность, в) целостность с 'неподходящим' 'несанкционированным' значением

Вышеупомянутые признаки могут быть подчеркнуты до большей или меньшей степени в зависимости от применения: доступность всегда требуется, хотя в различной степени, тогда как надежность, безопасность, конфиденциальность не могут требоваться. Степень, до которой система обладает признаками надежности, должна интерпретироваться в относительном, вероятностном, смысле, а не в абсолютном, детерминированном смысле: из-за неизбежного присутствия или возникновения ошибок, системы никогда не полностью доступны, надежны, безопасны, или безопасны.

Целостность – предпосылка для доступности, надежности и безопасности, но может для конфиденциальности не быть так (например, нападения через тайные каналы или пассивное слушание могут привести к потере конфиденциальности, не ослабляя целостность). Определение, данное для целостности – отсутствия неподходящих системных изменений режима – расширяет обычное определение следующим образом: а) когда система осуществляет политику разрешения, 'неподходящую', охватывает 'несанкционированный'; б) 'неподходящие изменения' охватывают действия, приводящие к предотвращению (правильных) модернизаций информации; в) 'системная структура' охватывает модификации аппаратных средств или убыток. Определение, данное для ремонтпригодности, идет вне корректирующего и профилактического обслуживания и охватывает две других форм обслуживания: адаптивный и обслуживание совершенного вида.

На рисунке 1.4 представлена объединенные классы ошибок, для которых должна быть создана обороноспособность.

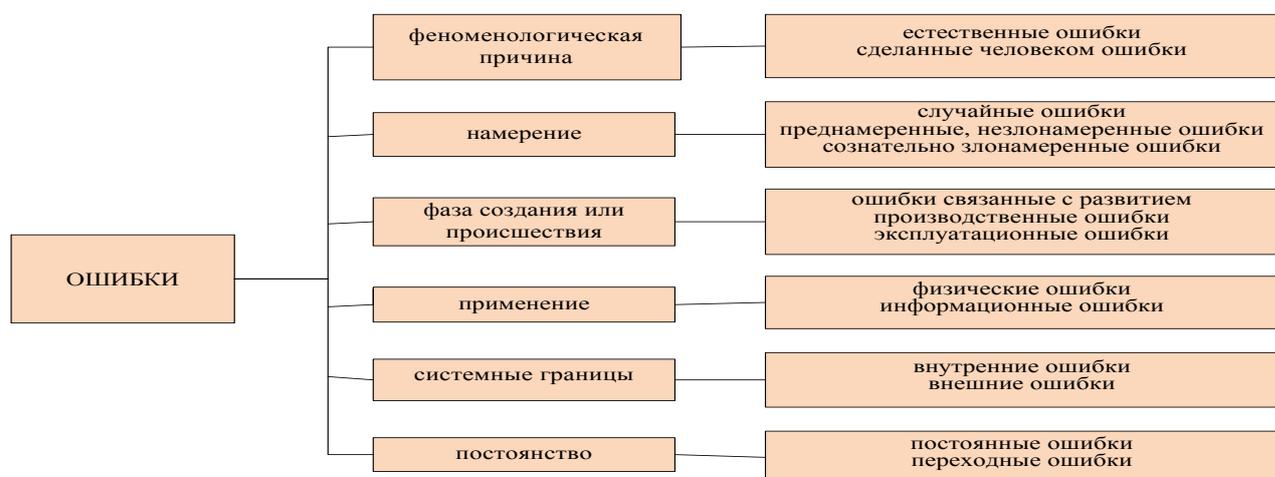


Рисунок 1.4 – Классификация характеристик ошибок

Патология ошибки, то есть, отношения между ошибками, ошибками и неудачами получена в итоге который показан на рисунке 1.5, который дает пояснения об угроз надежности. Стрелки в этой цепи выражают отношения причинной связи между ошибками, ошибками и неудачами. Они должны интерпретироваться в общем: распространением нескольких ошибок могут быть произведены прежде, чем отказ происходит:

Изменения в акценте на различные признаки надежности непосредственно затрагивают соответствующий баланс методов (предотвращение ошибки, терпимость, удаление), чтобы сделать получающуюся систему надежной. Эта проблема тем более трудная как часть конфликта признаков (например, доступность и безопасность) требует обменов дизайна.

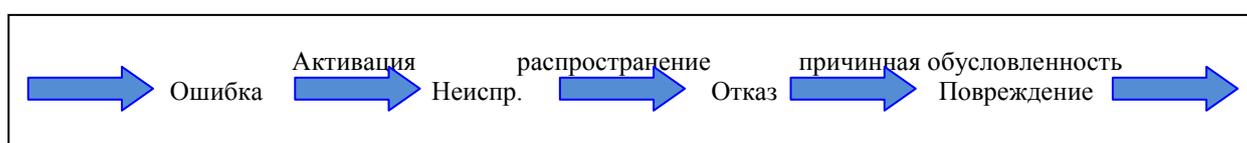


Рисунок 1.5 – Фундаментальная цепь угроз надежности

Безопасность не была введена как единственный признак надежности. Это в согласии с обычными определениями безопасности, которые рассматривают ее как сложное понятие, а именно, "комбинация

а) конфиденциальность (предотвращение несанкционированного разглашения информации);

б) целостность (предотвращение несанкционированной поправки или удаление информации);

в) доступность (предотвращение несанкционированного отказа информации)". Единственное определение для безопасности могло быть: отсутствие несанкционированного доступа или обработка системной структуры.

В их определениях доступность и надежность подчеркивают предотвращение отказов, в то время как безопасность подчеркивает предотвращение определенного класса неудач (катастрофические отказы, несанкционированный доступ или обработка информации). Таким образом надежность и доступность ближе друг к другу, чем они к безопасности; надежность и доступность могут группироваться, и коллективно определяться как предотвращение или приостановок обслуживания [6].

Средства достижения надежности. Развития надежных системных вызовов для объединенного использования ряда четырех методов: предотвращение ошибки: как предотвратить возникновение или введение ошибок; отказоустойчивость: как предоставить правильную услугу в присутствии ошибок; удаление ошибки: как сократить количество или серьезность ошибок; прогноз ошибки: как оценить существующее число,

будущий уровень и вероятные последствия ошибок. Предотвращение ошибки достигнуто методами контроля качества, используемыми во время проектирования и изготовления аппаратного и программного обеспечения. Они включают структурированное программирование, информационное сокрытие, для программного обеспечения и строгих правил дизайна для аппаратных средств. Эксплуатационные физические ошибки предотвращены, ограждая, радиационное укрепление, и т.д., в то время как ошибки взаимодействия предотвращены строгими процедурами обслуживания, "надежных" пакетов.

Злонамеренные ошибки предотвращены брендмауэрами и подобной обороноспособностью.

Удаление ошибки. Удаление ошибки выполнено во время этапа разработки, и во время эксплуатационной работы системы. Удаление ошибки во время этапа разработки системного работы цикла состоит из трех шагов: проверка, диагноз, исправление. Проверка – процесс проверки, который придерживается системой данных свойств, находит условия проверки. Если это не работает, тогда другие два шага следуют: диагностирование ошибки, которая препятствовала условиям проверки выполнения, и потом выполняет необходимые исправления.

Проверка спецификации обычно упоминается как ратификация. Открытые ошибки спецификации могут произойти на любой стадии развития, и во время самой фазы спецификации, и во время последующих фаз, также система не будет осуществлять свою функцию, или внедрение не может быть достигнуто способом эффективности затрат.

Методы проверки могут быть классифицированы вовлечению осуществления системы. Подтверждение системы без фактического выполнения является статической проверкой. Проверка системы посредством осуществления его составляет динамическую проверку; входы, поставляемые системе, могут быть или символическими в случае символического выполнения или фактическими в случае тестирования проверки, обычно просто названного тестирования. Важный аспект – проверка механизмов отказоустойчивости, особенно а) формальная статическая проверка, б) проверка, который требует ошибок частью испытательных образцов, которая обычно упоминается как инъекция ошибки. Проектирование системы, чтобы облегчить ее проверку, называют дизайном для верификации. Этот подход хорошо развит для аппаратных средств относительно физических ошибок, где соответствующие методы называют дизайном для контролируемости [6].

Удаление ошибки во время эксплуатационной работы системы – корректирующее или профилактическое обслуживание. Корректирующее обслуживание нацелено, чтобы удалить ошибки, которые произвели одну или более ошибок и были сообщены, в то время как профилактическое обслуживание нацелено, чтобы раскрыть и удалить ошибки прежде, чем они могли бы вызвать ошибки во время нормального функционирования. Последние ошибки включают а) физические ошибки, которые произошли начиная с последних профилактических действий обслуживания, которые

привели к ошибкам в других подобных системах. Корректирующее обслуживание для ошибок дизайна обычно выполняется шаг за шагом: ошибка может быть сначала изолирована (например, работой или участком) прежде, чем фактическое удаление будет закончено. Эти формы обслуживания относятся к не отказоустойчивым системам так же как ошибка – терпимые системы, которые могут быть ремонтируемые онлайн (не прерывая предоставление услуг) или офлайн (во время приостановки обслуживания).

Прогноз ошибки. Прогноз ошибки проводится, выполняя оценку системного поведения относительно возникновения ошибки или активации. У оценки есть два аспекта: качественная или порядковая оценка, которая стремится идентифицировать, классифицирует, оценивает способы неудачи или комбинации событий (составляющие неудачи или условия окружающей среды), который привел бы к системным отказам – количественная или вероятностная оценка, которая стремится оценивать с точки зрения вероятностей степень, до которой удовлетворены некоторые признаки надежности; те признаки тогда рассматриваются как меры надежности. Методы для качественной и количественной оценки или определенные (например, способ неудачи и анализ эффекта для качественной оценки, или цепи Маркова и сети Петри для количественной оценки), они могут использоваться, чтобы выполнить обе формы оценки (например, блок – схемы надежности).

Развития надежности по работе цикла системы характеризуется понятиями стабильности, роста, уменьшение, который может быть заявлен для различных признаков надежности. Эти понятия иллюстрированы интенсивностью отказа, то есть, число неудач за единицу времени. Это – мера частоты системных неудач, как замечено ее пользователем. Интенсивность отказа типично сначала уменьшается (рост надежности), затем стабилизируется (устойчивая надежность) после определенного периода операции, затем увеличивается (уменьшение надежности) цикл.

Чередование правильно – неправильного предоставления услуг определено количественно, чтобы определить надежность, доступность и ремонтпригодность как меры надежности:

а) надежность – мера непрерывной поставки правильного обслуживания или, эквивалентно, времени к неудаче;

б) доступность – мера поставки правильного обслуживания относительно чередования правильного и неправильного обслуживания;

г) ремонтпригодность – мера времени, чтобы обслужить восстановление начиная с последнего возникновения отказа, или эквивалентно, мера непрерывной поставки неправильного обслуживания;

д) безопасность – расширение надежности. Когда режим правильного обслуживания и государства неправильного обслуживания из-за не катастрофической неудачи сгруппированы в безопасный режим (чтобы быть лишенным катастрофического повреждения, не опасности), безопасность – мера непрерывной безопасности, или эквивалентно, времени к

катастрофической отказа. Таким образом безопасность – надежность относительно катастрофических неудач.

Вообще, система предоставляет несколько услуг, часто есть два или больше способа качества обслуживания, например, в пределах от полной мощности к аварийной службе. Эти способы отличают все меньше и меньше от полного предоставления услуг.

Два главных подхода к вероятностной ошибке – прогноз, нацеленный, чтобы получить вероятностные оценки мер по надежности, моделируют (оценка) тестирование. Эти подходы дополнительные, начиная с моделирования данных о потребностях по основным смоделированным процессам (процесс отказа, процесс обслуживания, системный процесс активации, и т.д.), который может быть получен проверкой, или обработкой данных об отказах [4].

Оценивая отказоустойчивые системы предоставленная ошибкой и механизмами обработки ошибки, имеет решительное влияние на меры по надежности. Оценка освещения может быть выполнена посредством моделирования или посредством тестирования, то есть инъекции ошибки.

Связь работоспособности и надежности. Понятия надежности, обрисованные в общих чертах выше, являются результатами почти двадцати лет деятельности. Работоспособность может быть прослежена до конца шестидесятых – в начале семидесятых в военных стандартах, где это было определено как системная возможность сопротивляться враждебному окружению так, чтобы это могло выполнить свою миссию.

Надежность развилась из проблем надежности/доступности, наряду с техническими разработками вычисления и коммуникационной области, чтобы соответственно ответить на проблемы, поставленные все более и более сетевыми заявлениями, и увеличением необходимой уверенности, которую мы должны поместить в повсеместное вычисление.

С точки зрения структуры надежности работоспособность – надежность в присутствии активных ошибок, имея в виду все классы ошибок. Однако, надежность и работоспособность фактически очень близки друг к другу, особенно смотря на примитивы для того, чтобы осуществить работоспособность, то есть, “3 P”: сопротивление, признание и восстановление. Сопротивление, то есть, способность отразить нападения, имеет отношение, в условиях надежности, чтобы обвинить предотвращение. Признание, то есть, способность признать нападения и степень повреждения, вместе с восстановлением, то есть, способность восстановить важные услуги во время нападения и возратить полный сервис после нападения, имеет много общего с отказоустойчивостью. Ясно что надежность и работоспособность идут вне традиционных подходов, основанных на предотвращении ошибки, и признали потребность отказоустойчивости. Надежность и работоспособность, через независимое развитие, фактически сходились и они очень соглашаются [11].

Очевидно, что скоординированные максимальные усилия надежности и исследователей работоспособности и практиков будут необходимы, чтобы

создать обороноспособность против многих угроз системам для решения ответственных задач.

1.2 Методы повышения надежности ТКС

Для повышения надежности телекоммуникационных систем и элементов используют резервирование, созданное в применении того или иного вида избыточности.

Виды резервирования делятся на 4 частей: структурное, информационное, временное и программное. В информационном резервировании использует избыточную информацию. Временное резервирование – применение избыточного времени. Программное резервирование – избыточных программ [7].

Все эти виды резервирования в системе используются в целом либо отдельно.

На сегодня в практике наиболее распространяется вид структурного резервирования (рисунок 1.6).



Рисунок 1. 6 – Классификация резервирования компонентов ТКС

Виды резервирования по схеме включения элементов делятся на постоянное, раздельное и резервирование с замещением и на скользящее резервирование.

При постоянном резервировании резервные элементы работают вместе с основными и они являются очень надежными методами в телекоммуникационных системах (рисунок 1.7).

В постоянной резервировании в случае отказа основной системы не потребуются особые конструкции, для подключения резервных элементов в работу].

Раздельным резервированием называется метод повышения надёжности, при котором резервируются отдельно элементы системы (рисунок 2.3).

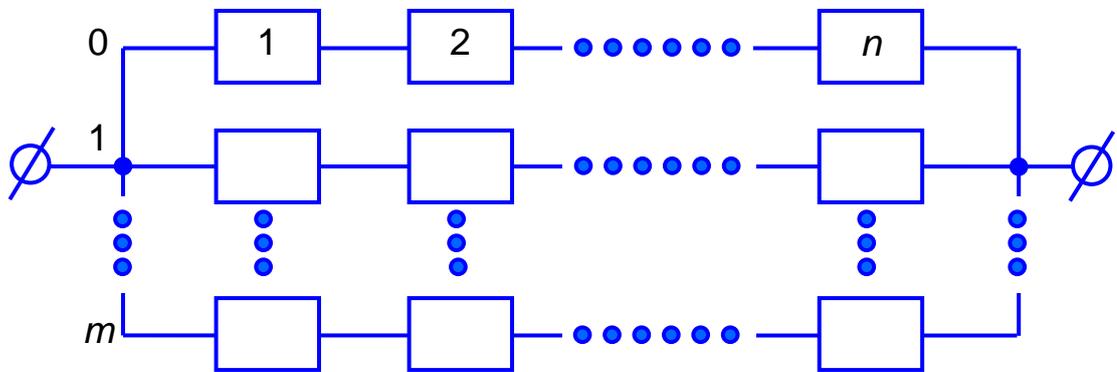


Рисунок 1.7 – Общее резервирование и постоянное включение резерва с постоянно включённым резервом.

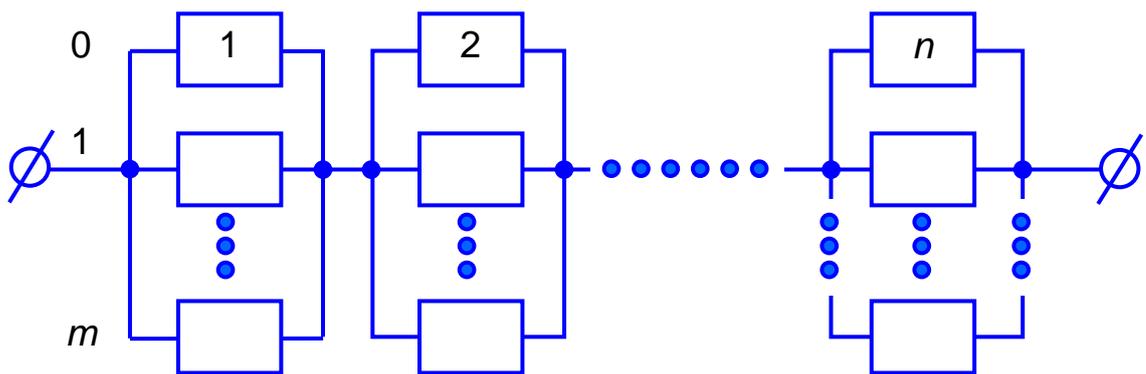
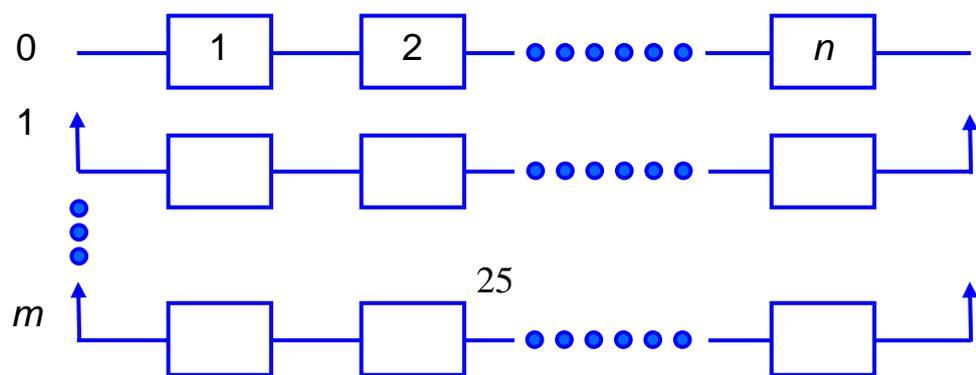


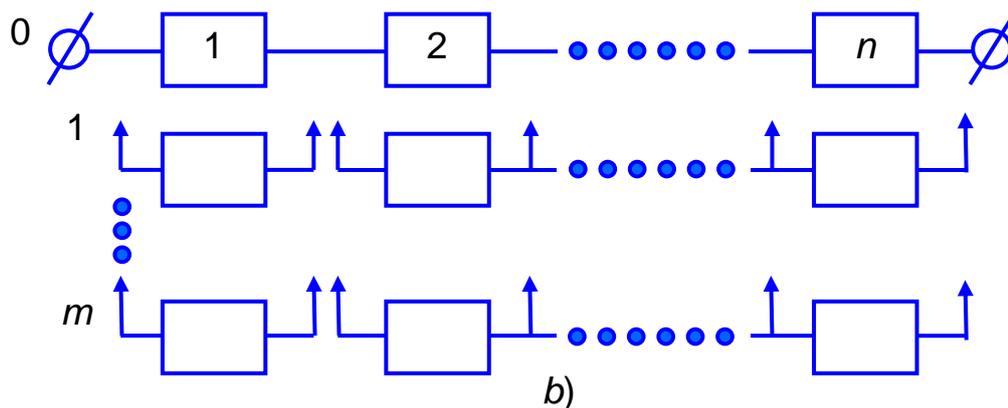
Рисунок 1.8 – Раздельное резервирование с постоянно включённым резервом

Главным параметром резервирования показывается его кратность (степень избыточности). Под кратностью резервирования m понимается отношение числа резервных элементов к числу резервируемых (основных).

Резервирование замещением – это резервирование, при котором функции основной системы передаются резервному только после сбоя основной системы (рисунок 1.9 а, б). При применении резервирования замещением нужны контролирующие и переключающие устройства для выявления факта отказа основного элемента и переключения его с основного на резервный [7].



а)



a – общее резервирование; *b* – раздельное резервирование
 Рисунок 1.9 – Резервирование с включением резерва замещением

При скользящим резервировании группа основных элементов могут резервироваться одним или несколькими резервными элементами, возможно можно сменить отказавшего элемента в любом из групп основной системы (рисунок 1.10).

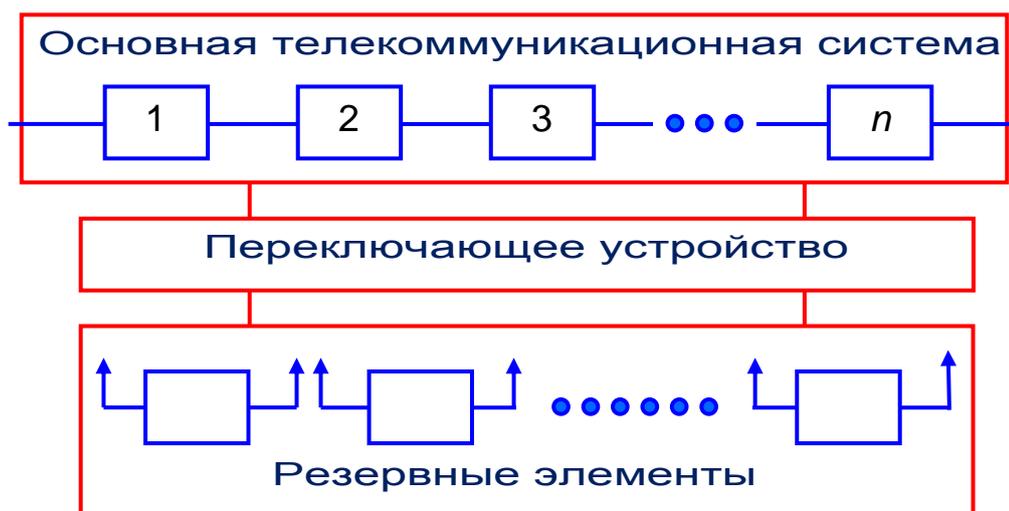


Рисунок 1.10 – Схема скользящего резервирования

Резервированием называют метод повышения надежности объекта путем введения избыточности. Задача включения избыточности – обеспечение нормального функционирование системы после возникновения отказов в ее элементах.

Структурное резервирование (или аппаратное) предусматривает использование избыточных элементов телекоммуникационных систем. Суть такого вида резервирования заключается в том, что в минимально необходимый вариант системы, элементы которой называют основными, вводятся дополнительные элементы, узлы, устройства либо даже вместо одной системы предусматривается использование нескольких идентичных систем [7].

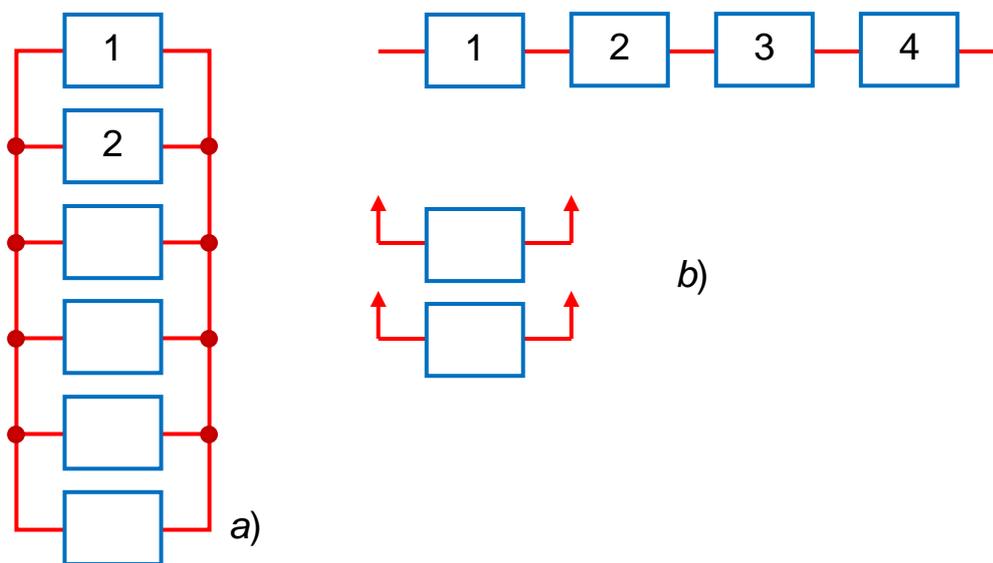
1.2.1 Виды резервных элементов в телекоммуникационных системах в зависимости от режима работы

В зависимости от режима работы различают:

Нагруженный резерв – резервный элемент находится в том режиме работы, что и основной. При этом принимается, что характеристики надежности резервных элементов в период их пребывания в качестве резервных и в период использования вместо основных после отказа последних, остаются неизменными.

Облегченный резерв – резервный элемент находится в менее нагруженном режиме, чем основной. Принимается, что характеристики надежности резервных элементов в период их пребывания в качестве резервных выше, чем в период их использования вместо основных после отказа последних [7].

Различают резервирование с целой и дробной кратностью. Для их различия на схеме указывают кратность резервирования m (рисунок 1.11(а, б)).



а) постоянное резервирование с кратностью ($m=4/2$); б) раздельное резервирование с кратностью ($m=2/4$)

Рисунок 1.11 – Резервирование с дробной кратностью

Для резервирования систем, состоящих из равных элементов, можно применять незначительное число резервных элементов вместо любых отказавших основных элементов (скользящее резервирование).

Ненагруженный резерв – резервный элемент почти не несет нагрузки. Такой резервный элемент, находясь в резерве, отказывать не должен, т.е. имеет в этот период совершенной надежностью. В период же применения этого элемента вместо основного после отказа последнего надежность становится равноправной надежности основного [7].

При резервировании с целой кратностью величина m есть целое число, при резервировании с дробной кратностью m есть дробное несокращаемое число. Например, $m=4/2$ означает наличие резервирования с дробной кратностью, при котором число резервных элементов равно 4, число основных 2, а общее число элементов равно 6. Сокращать дробь нельзя, так как если $m=4/2=2$, то это обозначает, что имеет место резервирование с целой кратностью, при котором число резервных элементов равно 2, а общее число 3.

1.2.2 Мажоритарное и комбинированное резервирование

Частным случаем резервирования с дробной кратностью является мажоритарное резервирование, часто применяемое в устройствах дискретного действия (рисунок 1.12). При мажоритарном резервировании вместо одного элемента (канала) подсоединяется три идентичных элемента, выходы, которых подаются на мажоритарный орган M (элемент голосования). Если все элементы этой резервной группы исправны, то на вход M поступают три одинаковых сигнала и такой же сигнал поступает во внешнюю цепь с выхода M .

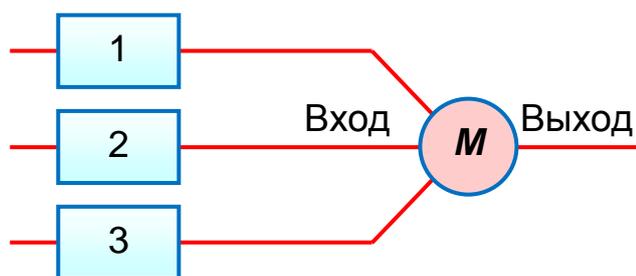


Рисунок 1.12 – Мажоритарное резервирование (выбор по большинству)

Если один из трёх резервных элементов отказал, то на вход M поступают два одинаковых сигнала (истинных) и один сигнал ложный. На выходе M будет сигнал, совпадающий с большинством сигналов на его входе, т. е. мажоритарный орган, осуществляет операцию голосования или выбора по большинству. Таким образом, условием безотказной работы системы при мажоритарном резервировании является безотказная работа любых двух элементов из трёх и мажоритарной системы в течении заданного времени [11].

Комбинированный резерв – на рисунке 1.13 показана резервированная группа, соединяющая преимущества нагруженного резерва (непрерывность работы) и ненагруженного резерва (обеспечение большого выигрыша в надёжности). В данном случае два элемента образуют дублирующую группу (нагруженный резерв), а третий находится ненагруженным резерве. Такой резерв называют комбинированным.

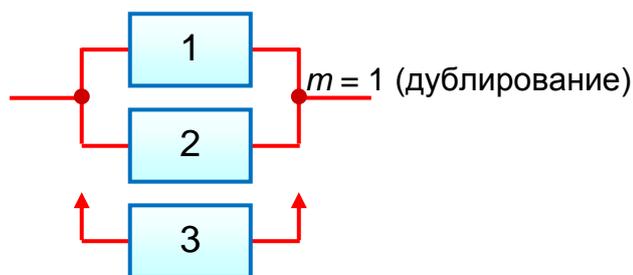


Рисунок 1.13 – Комбинированный резерв

В устройствах ТКС ответственного назначения могут быть применены все виды структурного резервирования (рисунок 1.14).

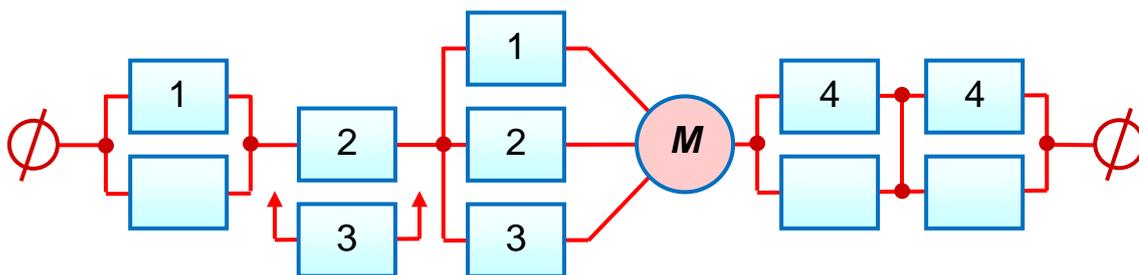


Рисунок 1.14 – Расчётно-логическая схема структурного резервирования подсистемы сложной ТС

Теоретически внедрением избыточности в структуру системы и выбором оптимальных режимов можно сформировать сколь угодно надёжную ТКС. Но не всегда это почти выполнимо.

Рассматривая все виды резервирования, следует сделать практический вывод: обеспечить высокую надёжность ТКС путём общего нагруженного резерва не представляется возможным по экономическим суждениям. Предельный эффект даёт поэлементное резервирование[12].

Сравнивая между собой виды резервирования с нагруженным и ненагруженным резервом, можно подметить, что при одинаковых условиях система с ненагруженным резервом надёжнее системы с нагруженным резервом.

1.3 Резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях

Надёжность телекоммуникационных систем непосредственно зависит от методов резервирования между сетевыми устройствами (маршрутизаторы, коммутаторы и другие). Комплекс технического оборудования и коммуникационных линий, предназначенных для формирования специализированной передачи источников информации называют как тракт информационной передачи.

Числовое вычисление сложных индексов надежности линейных трактов информационной передачи необходимо для дальнейшего исследования надежности. Для функционирования работы телекоммуникационной системы требуются несколько методов по повышению работоспособности: защита и восстановление.

В то время как эта работа фокусируется на восстановлении, полезно знать процесс восстановления системы. Данный процесс происходит быстрым переключением на резервный путь в случае отказа основного узла.

Основным преимуществом способа резервирования выражается скорое возобновление обслуживания, а недостатком нуждаемость в дополнительной пропускной способности. Совершенством метода восстановления является лучшее применение пропускной способности сети связи.

Вероятность отказа определенного узла телекоммуникационной сети определить на основании имеющей сведения об отказах. Начальное определение вероятности сбоев можно находить на основании статистики отказов.

Если вероятность отказа системы будет известным, то надо анализировать как сбой воздействует на трафик в сети. Для определения влияния отказа на систему необходимо уточнить качество обслуживания (QoS – качество обслуживания) трафика, которое находят двумя значениями: временем восстановления и количеством потерянных пакетов [8].

Время восстановления T_B находят циклом восстановления узла связи. Покажем, что данный цикл можно задавать следующими составляющими:

- а) временем обнаружения отказа T_1 ;
- б) временем удержания T_2 ;
- в) временем оповещения (т.е. отправления сообщения узлу, ответственному за переключение) T_3 ;
- г) временем для резервирования маршрута T_4 ;
- д) временем для переключения трафика T_5 с основного узла на резервный узел.

Количество потерянных пакетов $N_{ПП}$ соразмерно времени восстановления T_B и скорости передачи пакетов R , т.е. $N_{ПП} = RT_B$.

Сокращение времени уведомления T_B – вероятно при основном цикле при проектировании методов защиты для сети. Время уведомления зависит от времени распространения между узлами сигнала об отказе T_p и от расстояния $D(i, a)$, которое может быть определена как количество систем сети между узлом, раскрывшим отказ (узел a), и узлом, который отвечает за переключение (узел i).

$$T_{yB} = T_p \cdot D(i, a) \quad (1.1)$$

Проанализируем модели резервирования телекоммуникационных сетей (рисунок 1.15) и дадим их короткое определение. Физическая топология сети

заключается из узлов, соединенных каналами связи. При анализе цикла передачи информации от передатчика к приемнику включается понятие «путь». Различаются основные и резервные пути. Состоящий из нескольких звеньев отрезок пути называют сегментом (основной путь либо звено)

На рисунке 1.15, а показана модель защиты звена. В этом месте каждое звено защищается отдельно (локальная защита). Используя данный метод можно достичь быстрой перемаршрутизации, однако требует высоких сетевых ресурсов.

Защита пути (рисунок 1.15, б) осуществляет из начального узла связи до конечного узла, т.е. от отправителя до получателя. Тут сетевые ресурсы употребляются более расчетливо, но высчитывание пути из конца в конец является трудной задачей.

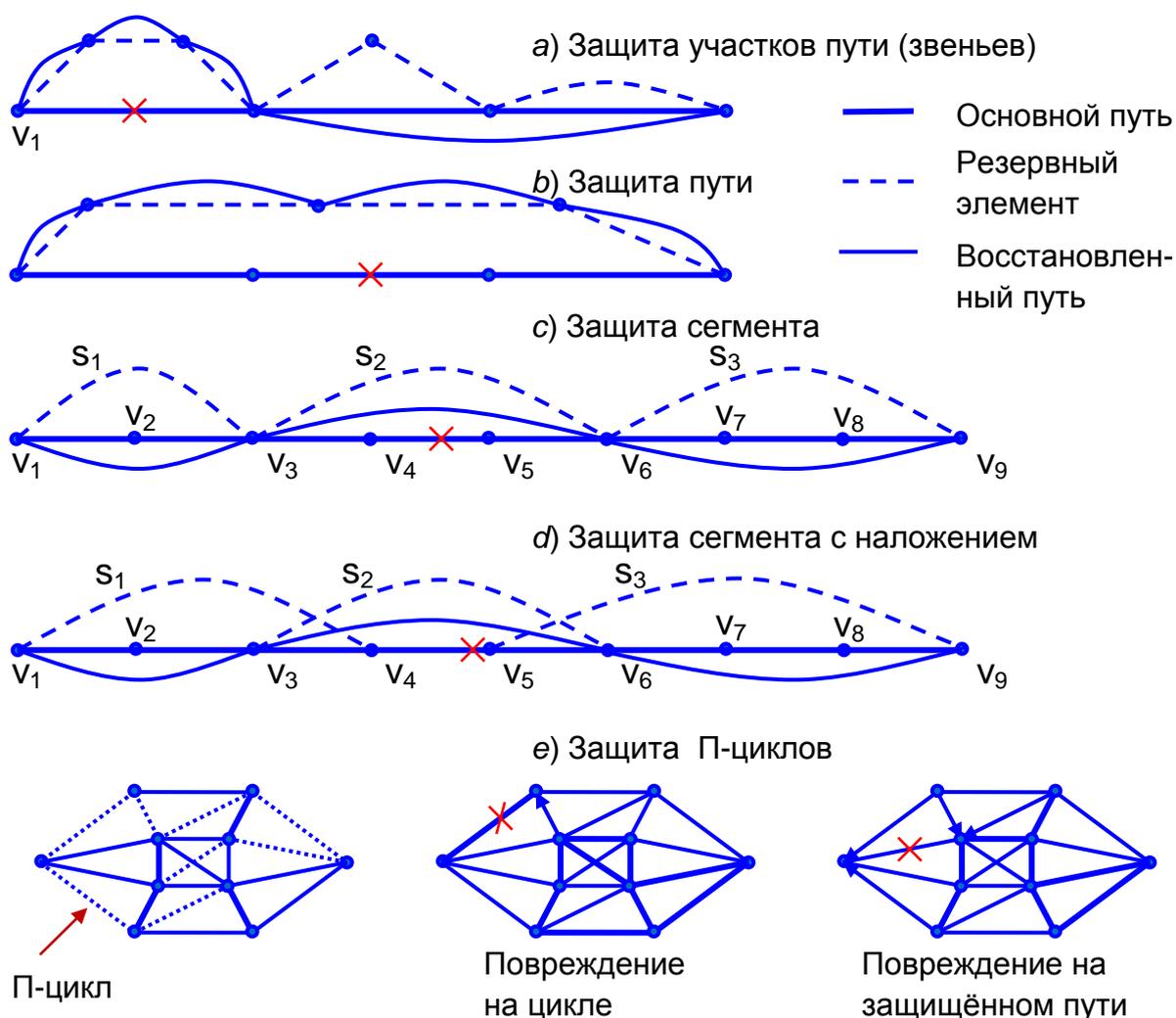


Рисунок 1.15 – Модели резервирования телекоммуникационных систем

На рисунке 1.15 а. показана кольцевая защита на основании П – циклов. Смыслом определения резервирования на основании П – циклов состоит в выделении на высоко связной топологической структуре замкнутого контура или цикла с предварительно рассчитанной резервной пропускной

способностью, она может применяться в происшествии возникновения отказа в сети связи [9].

Теперь рассмотрим популярных методов применения ресурсов пропускной способности, таких как 1+1, 1:1, M:N, которые могут применяться как в версиях защиты пути, так и звена или сегмента.

Защита пути 1+1. В данном методе информация отправляется одновременно по основному и резервному каналу. Если один из этих путей выходит из строя информация разделяется на резервную путь. Данный метод широко используется в практике.

Защита звена 1+1. Метод работы такой же как и в первом случае (защита пути), но обеспечивается обход только одиночного сбойного звена или узла, а не всего пути.

В происшествии самоустранения отказа основного пути допустимы следующие варианты:

- а) трафик с резервного пути переводится обратно на основной путь;
- б) трафик после отстранения отказа останется на резервном пути, в то время как основной путь осуществляет функцию резервного.

Совершенством первого метода является применение приоритетным трафиком более надёжного пути, каковым обычно является основной путь.

Недостатком – необходимость переключения, которое выполняется устройством, имеющим $K_r < 1$.

Во многих происшествий применяется групповая защита или защита M:N, который проявляет защиты 1:1, (M=1, N=1).

Защита звена M:N. Основной и резервный пути сформированы до отказа (N основных, M резервных, $N \geq M$). В случае отказа на звене, данные переводятся на резервное звено, но если повреждено более чем M рабочих звеньев, второй трафик пропадает. Наиболее часто применяемый вариант M:N отвечает происшествию, когда M=1 (1:N) [10]. Общая характеристика методов защиты показана в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Характеристики методов защиты от отказов

Методы защиты		
Резервирование		Восстановление
Выделение ресурсов		
Предварительное		По требованию
Использование ресурсов		
Выделенные	Общие	Второстепенного трафика
Создание пути		
Предварительное	В соответствии с требуемым качеством	По требованию
Защитное переключение		
Автоматическое (внутренний сигнал)		Внешние команды

Защита пути M:N. Принцип работы такой же, как и в случае защиты звена, но здесь обеспечивается обход всего пути. Этот метод резервирования наиболее востребован из-за своей малой стоимости и эластичности. Но он довольно сложен в оптимизации.

Вышеуказанные все методы и способы резервирования могут применяться одновременно с восстановлением системы

Рассмотренные выше процедуры резервирования могут использоваться совместно с процедурами восстановления.

2. Экспериментальная часть

2.1 Моделирование надежности базовой станции методом резервирования

Мобильная радиосвязь является одним из наиболее динамично развивающихся направлений телекоммуникаций. Комплексным свойством характеризующим качество функционирования сотовой связи является ее надежность.

Один из путей повышения надежности базовой станции является повышение физической надежности составляющих ее элементов. Для этой цели при разработке и проектировании базовой станции проводится значительная работа по улучшению конструктивных, схмотехнических характеристик всех входящих компонентов и базовой станции в целом.

Ещё один путь повышения надежности работы сложной системы при ее эксплуатации является резервирование важных узлов системы. Особенно широко резервирование применяется там, где отказ узла (базовой станции) может вызвать полную неработоспособность системы [4].

Для обеспечения непрерывности функционирования базовой станции во время ее восстановления используется одна или несколько резервных базовых станции, подключаемых вместо неисправной основной системы. На рисунке 2.1 приведена структурная схема базовой станции.

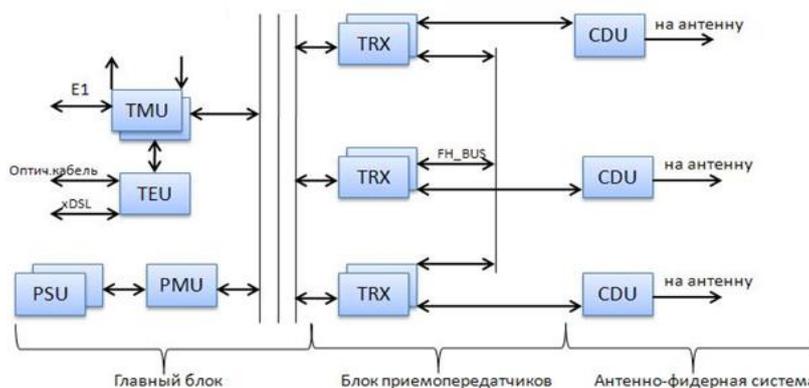


Рисунок 2.1 – Структурная схема базовой станции

Повышение надёжности базовой станции может быть обеспечено путём использования алгоритмов резервирования и восстановления связи между узлами и средствами повышения надёжности самих базовых станции. На рисунке 2.2 показана структурная схема резервирования не достаточно надежного комплекта оборудования (базовой станции).



ВО– восстанавливающий орган (система); T_o , T_p – наработка на отказ основной и резервной базовой станции

Рисунок 2.2 – Модель резервирования восстанавливаемой базовой станции

Для определения степени надёжности базовой станции требуется исходные данные по техническим характеристикам. Эти данные могут быть получены из журналов «Сети и системы связи», «Мобильный абонент» и т.д. В таблице 2.1 приведены наиболее характерные статистики отказов базовой станции по г. Алматы. Сбор данных отказов проводилась с 1 по 30 сентября 2014г.

Таблица 2.1 – Статистика отказов базовой станции по г.Алматы

Причины отказов	БС 3900 ч:м:с	БС MG10	БС 3012A	БС3900A	Общая время отказов БС	%
Проблемы с трансмиссией на БС	56:10:51	35:11:54	24:14:56	21:11:54	104:12:03:26	27
Отключение электроэнергии	2:30:45	13:05:51	2:55:00	6:19:02	27:53:06	7,1
Проблемы с оборудованием БС	2:54:48	12:17:12	14:14:25	26:19:02	53:08:23	10,5
Проблемы с перегревом		8:40:37		4:19:02	16:07:12	7,33
Причина не выяснена	6:24:42	5:05:51		12:19:47	28:12:45	5,5

Если время восстановления основной системы меньше, чем наработка на отказ резервной системы, отказа не происходит и по окончании времени восстановления вновь подключается основной элемент, а резервный переводится в режим ожидания.

При этом вычисляется суммарная наработка системы по формуле:

$$t_{\Sigma i} = t_{\Sigma i-1} + t_{oi} + t_{vi} \quad (2.1)$$

где i – количество восстановлений системы.

Если время восстановления основного комплекта больше, чем наработка на отказ резервного комплекта, то фиксируется отказ системы и вычисляется наработка на отказ системы по формуле:

$$t_c = t_{\Sigma i-1} + t_{oi} + t_{pi} \quad (2.2)$$

После проведения необходимого числа циклов моделирования (Q – объем выборки) вычисляются средняя наработка на отказ системы и коэффициент вариации наработки на отказ T_c и V_c по формулам:

$$T_c = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^Q t_{cj} \quad (2.3)$$

$$V_c = \frac{1}{T_c} \sqrt{\frac{1}{Q-1} \sum_{j=1}^Q (t_{cj} - T_c)^2} \quad (2.4)$$

В работе представлен алгоритм определения параметров надежности базовой станции. Он включает: генерирование моментов отказа основной базовой станции, затем подключается резервная система и генерируется момент отказа резервной системы и одновременно генерируется время восстановления основной базовой станции [11].

В ходе эксперимента были выбраны следующие исходные данные:

- Средняя наработка до отказа основной базовой станции (t_{oi}) от 7000 ч. до 10200 ч.
- Среднее наработка до отказа резервной базовой станции (t_{pi}) от 5000 ч. до 12000 ч.
- Среднее время восстановления (t_{vi}) изменяется в диапазоне от 8 ч. до 78 ч.

Исследования проводилась в трех случаях: минимальная надежность базовой станции, средняя надежность базовой станции, максимальная надежность базовой станции.

Был также разработан блок – схема программирования резервирования базовой станции. Алгоритм определения показателей надежности базовой станции приведен на рисунке 2.2.

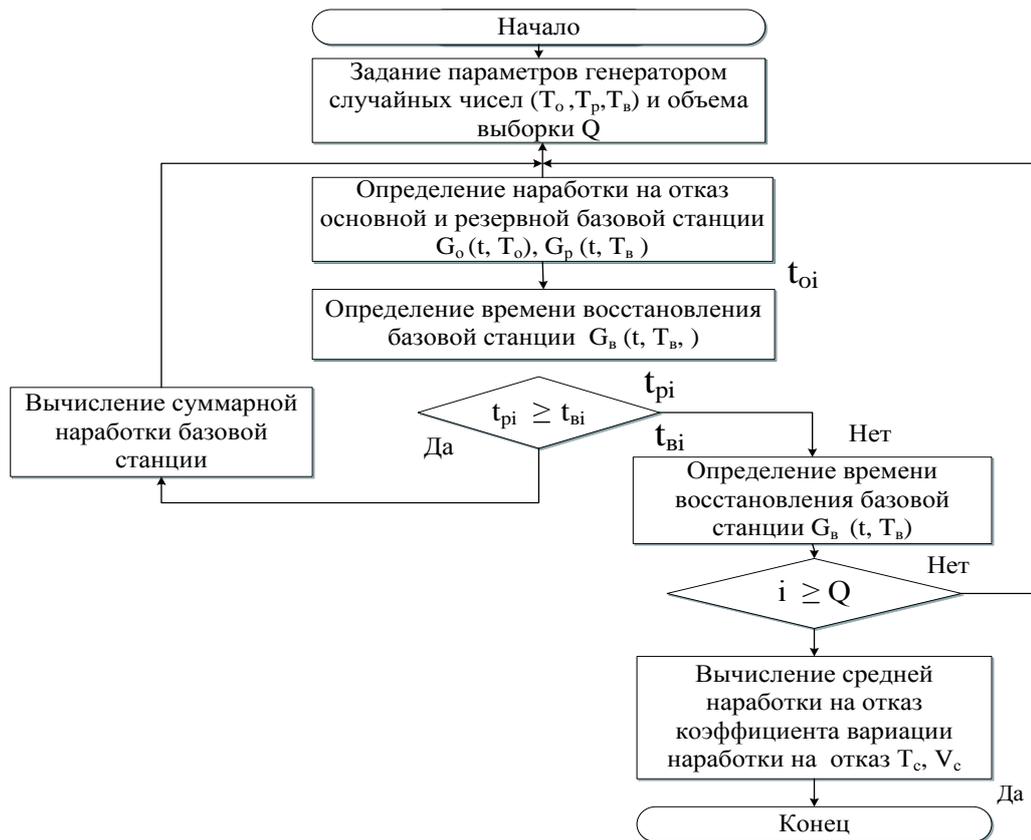


Рисунок 2.2 – Алгоритм определения показателей надежности базовой станции

В таблице 2.2 представлены результаты моделирования: суммарная наработка на отказ системы.

Таблица 2.2 – Результаты показателей наработки на отказ (при минимальной надежности базовой станции)

t_{oi} , ч.	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
t_{ei} , ч	8	12	24	36	48	72	78
t_{pi} , ч	5000	6000	6500	8800	8500	9600	9500
$t_{\sum i-1}$, ч	6	8	12	10	6	14	8
$t_{\sum i}$, ч.	7014	7520	8036	8546	9054	9586	10086
t_c , ч	12006	13508	14512	17310	17506	19114	19508

Таблица 2.3 – Результаты показателей наработки на отказ (при средней надежности базовой станции)

t_{oi} , ч	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
t_{vi} , ч	8	12	24	36	48	72	78
t_{pi} , ч	6000	8000	7000	9500	9400	9800	10200
$t_{\sum i-1}$, ч	6	8	12	10	6	14	8
$t_{\sum i}$, ч.	7014	7520	8036	8546	9054	9586	10086
t_c , ч	13006	15508	15012	18010	18406	19314	20208

Таблица 2.4 – Результаты показателей наработки на отказ (при максимальной надежности базовой станции)

t_{oi} , ч	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
t_{vi} , ч	8	12	24	36	48	72	78
t_{pi} , ч	7500	8500	9000	9600	9500	10000	12000
$t_{\sum i-1}$, ч	6	8	12	10	6	14	8
$t_{\sum i}$	7014	7520	8036	8546	9054	9586	10086
t_c , ч	14506	16008	17012	18110	18506	19514	22008

Расчеты средней наработки на отказ базовой станции приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты показателей средней наработки базовой станции

t_{vi} , ч	8	12	24	36	48	72	78
$Tc 1$, ч	1950,8	1911,4	1750,6	1731	1451,2	1350,8	1200,6
$Tc 2$, ч	2020,8	1931,4	1840,6	1801	1501,2	1550,8	1300,6
$Tc 3$, ч	2200,8	1951,4	1850,6	1811	1701,2	1600,8	1450,6

График зависимости средней наработки на отказ от времени восстановления приведен на рисунке 3.

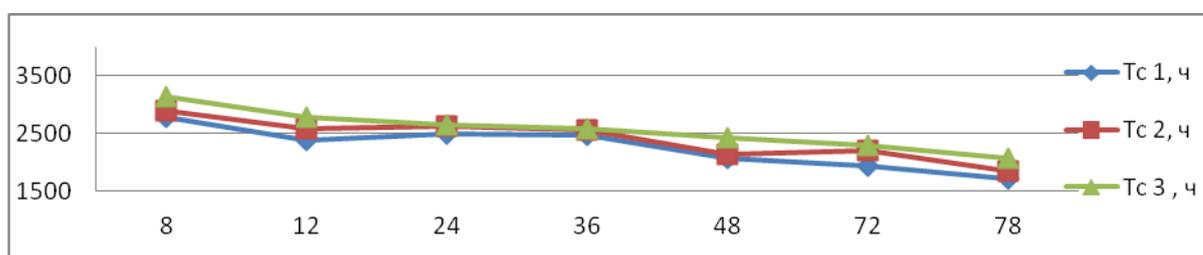


Рисунок 2.3 – Зависимость средней наработки на отказ от времени восстановления

Из рисунка 2.3 видно, что при максимальных показателях надежности при увеличении времени восстановления средняя наработка на отказ уменьшается.

Определена зависимость коэффициент вариации, который указан в таблице 3, и построен график зависимости коэффициента вариации от времени восстановления, он также приведен на рисунке 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты изменения коэффициента вариации

t_{vi} , ч	8	12	24	36	48	72	78
$Vc 1$, ч	2,98	2,74	2,66	2,93	3,01	3,09	3,14
$Vc 2$, ч	3,14	2,81	2,71	2,98	3,12	3,14	3,24
$Vc 3$, ч	3,22	2,94	2,84	3,02	3,22	3,26	3,32

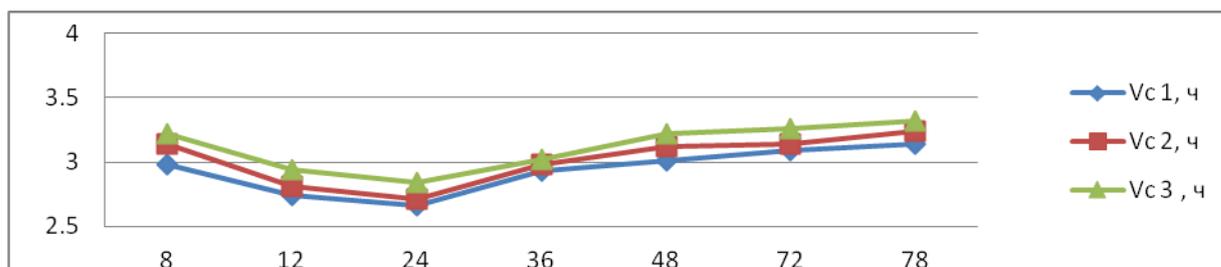


Рисунок 2.4 – График зависимости коэффициента вариации от времени восстановления

Из рисунка 2.4 видно, что с увеличением среднего времени восстановления коэффициент вариации увеличивается.

Установлено, что с уменьшением среднего времени восстановления базовой станции ниже 7% резко возрастает средняя наработка на отказ, с уменьшением коэффициента вариации времени восстановления базовой станции надежность системы также увеличивается [12].

3 Расчетная часть

3.1 Аналитическая оценка надежности телекоммуникационной системы при резервировании

Обеспечение параметрической надежности телекоммуникационной системы (ТКС) является значимой составной частью общих мероприятий по обеспечению надежности при проектировании сетей.

Целью данной работы является определение показателей безотказности ТКС при присутствии резервирования замещением.

При резервировании замещением резервные элементы до введения их в работу могут находиться в одном из трёх режимов нагрузки:

а) В нагруженном режиме или «горячем» резервировании. В этом режиме резерв находится в таком же режиме, как и основной элемент, и его ресурс вырабатывается в то же время с элементом основного элемента, точно так же, как и при постоянном резервировании [7].

Для примера возьмем систему из двух элементов, из двух элементов, первый из которых основной, а второй – резервный. При этом они оба функционируют и могут отказать. Система функционирует, если работает хотя бы один из элементов – или основной, или резервный, а отказывает, если отказали оба элемента. Тогда время работы системы – это время работы элемента, который откажет вторым. Функция распределения системы равна:

$$F_{\Sigma}(t) = P\{\varepsilon_1 \leq t, \varepsilon_2 \leq t\} = P\{\varepsilon_1 \leq t\}P\{\varepsilon_2 \leq t\} = F_1(t)F_2(t) \quad (3.1)$$

$$R_{\Sigma}(t) = 1 - F_1(t)F_2(t) \quad (3.2)$$

Если резервный элемент так же надежен, как основной, то система называется дублированной. Если время работы элементов дублированной системы имеет экспоненциальное распределение, то:

$$F_{\Sigma}(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2 \quad (3.3)$$

$$F_{\Sigma}(t) = 2\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^2 \quad (3.4)$$

$$\lambda_{\Sigma}(t) = 2 \frac{1 - e^{-\lambda t}}{2 - e^{-\lambda t}} \quad (3.5)$$

$$F_{\Sigma}(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2 \quad (3.6)$$

$$F_{\Sigma}(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2 \quad (3.7)$$

С периодом интенсивность отказов дублированной системы становится такой же, как интенсивность отказов элемента без резерва (рисунок 3.1), т.к. один из работающих элементов непременно может отказать в любое время.

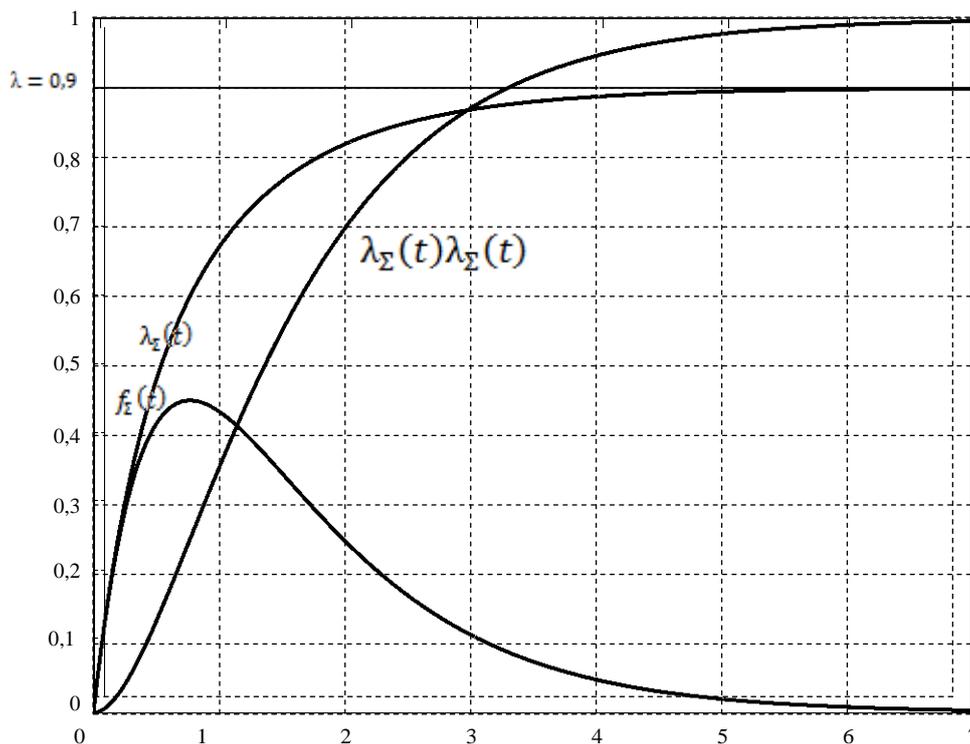


Рисунок 3.1– Распределение вероятностей работы системы с нагруженным резервом

Это можно получить следующим образом:

$$f_{\Sigma}(t)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_{\Sigma}(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} 2\lambda \frac{1 - e^{-\lambda t}}{2 - e^{-\lambda t}} = 2\lambda \frac{1-0}{2-0} = \lambda \quad (3.8)$$

б) В облегченном режиме или «теплом» резервировании. Ресурс резервных элементов начинает тратиться с момента включения всего устройства в работу, однако интенсивность расхода ресурса резервных элементов до момента включения их вместо отказавших значительно ниже, чем в обычных рабочих ситуациях [13].

Надёжность ТКС закладывается на периоде проектирования, должна обеспечиваться на стадии производства и поддерживаться на стадии эксплуатации.

При решении задач по обеспечению параметрической надёжности ТКС большинстве происшествий приходится решить задачи и по ее оценке.

Надёжность, которую ТКС представляют в процессе эксплуатации, называют эксплуатационной надёжностью. Все методы повышения надёжности ТКС можно разбить на две группы методов: схемотехническая и конструкторско – технологические.

Разберем систему из двух элементов, один из которых основной, а второй – резервный, причем резерв ненагруженный. Отказы элементов независимы. Время работы системы – это сумма времен работы элементов, $\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$. Вероятность безотказной работы находится по формуле полной вероятности. Вероятность первого события – это вероятность безотказной работы основного элемента, $P\{\varepsilon_1 > t\} = R_1(t)$. Вероятность безотказной работы второго элемента равна: $R_2(t - u)$. Так как отказы независимы, то вероятность того, что и основной отказал на интервале $[u, u + du]$, и резервный проработал без отказа до момента t , – это произведение соответствующих вероятностей, $R_2(t - u)dF_1(u)$. Суммирование этих вероятностей при изменении параметров u от 0 до t даст нам интеграл. Итоговая формула вероятности безотказной работы системы равна:

$$R_{\Sigma}(t) = P\{\varepsilon_{\Sigma} > t\} = R_1(t) + \int_0^t R_2(t - u)dF_1(u) \quad (3.9)$$

Для вычисления средних характеристик абсолютно не нужно вычислять сложные интегралы, их можно найти, естественно, учитывая независимость отказов.

$$\mu_{\Sigma} = M\varepsilon_{\Sigma}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = M\varepsilon_1 + M\varepsilon_2 = \mu_1 + \mu_2 \quad (3.10)$$

$$\sigma_{\Sigma}^2 = D\varepsilon_{\Sigma}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = D\varepsilon_1 + M\varepsilon_2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \quad (3.11)$$

Если время работы элементов дублированной системы имеет экспоненциальное распределение, то:

$$R_{\Sigma}(t) = e^{-\lambda t} + \int_0^t e^{-\lambda(t-u)} \lambda e^{-\lambda u} du = e^{-\lambda t} + \lambda e^{-\lambda t} \int_0^t du = (1 + \lambda t)e^{-\lambda t} \quad (3.12)$$

$$F_{\Sigma}(t) = 1 - (1 + \lambda t)e^{-\lambda t} \quad (3.13)$$

$$f_{\Sigma}(t) = \lambda^2 t e^{-\lambda t} \quad (3.14)$$

$$\lambda_{\Sigma}(t) = \frac{\lambda^2 t}{1 + \lambda t} \quad (3.15)$$

С периодом интенсивность отказов дублированной системы тоже становится такой же, как интенсивность отказов элемента без резерва (рисунок 3.2), но гораздо позднее, чем для нагруженного резерва:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_{\Sigma}(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\lambda^2 t}{1 + \lambda t} = \frac{\lambda^2}{\lambda} = \lambda \quad (3.16)$$

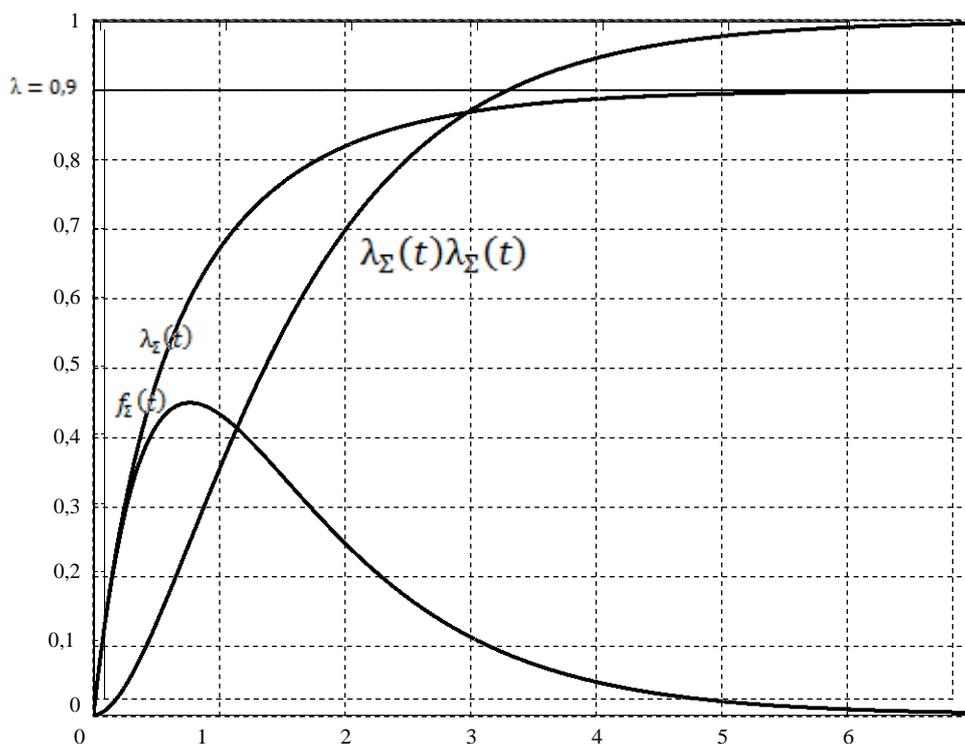


Рисунок 3.2 – Распределение вероятностей времени работы дублированной системы с ненагруженным резервом

в) В ненагруженном режиме или «холодном» резервировании. В этой ситуации, в которой находится резерв, столь легче рабочих, что практически резервные элементы начинают расходовать свой ресурс только с момента подключения их в работу вместо отказавших [1].

Основные преимущества резервирования замещением:

- большой выигрыш в надёжности по сравнению с постоянным резервированием (в случаях ненагруженного и облегченного резерва);
- отсутствие необходимости дополнительной регулировки в случае замещения основного элемента резервным, так как основной и резервный элементы одинаковы.

При расчете были выбраны следующие исходные данные:

Таблица 3.1 – Данные по расчету надежности при резервировании

Количество резервных частей телекоммуникационной системы			
Вид 1 (2)	Вид 2 (5)	Вид 3 (1)	Вид 4 (1)
Интенсивность отказов функциональных частей, $\lambda \cdot 10^{-4}$ 1/час			
Узел 1	Узел 2	Узел3	
1,5	2,5	1,0	
t, тыс. часов = 1,6			

3.2 Анализ безотказности базовой станции при наличии резервирования (нагруженный резерв)

Будем считать, что основной и резервные элементы системы одинаковы, и надёжность переключающих устройств совершенна, $P_{\text{перекл}}=1$.

Определим возможности безотказной работы ‘ 1, 2, 3, 4 по формулам:

$$P_{1,2,3} = e^{-\lambda t} \quad (3.17)$$

$$p_1 = 2,72^{-0,00015 \cdot 1600} = 0,78644$$

$$p_2 = 2,72^{-0,00025 \cdot 1600} = 0,67014$$

$$p_3 = 2,72^{-0,0001 \cdot 1600} = 0,8521$$

$$P_4 = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = 0,45 \quad (3.18)$$

где $P_{1,2,3}$ – вероятности безотказной работы элементов 1, 2, 3;
t – время работы схемы.

Рассмотрим узел I. Найдем вероятность отказа элемента 1:

$$q_1 = 1 - p_1 = 1 - 0,78651 = 0,2254 \quad (3.19)$$

где q_1 – вероятность отказа элемента 1;
 p_1 – вероятность безотказной работы элемента 1.

Вероятность отказа всего узла I найдем по формуле:

$$q_I = q_1^{r+1} = 0,21349^{1+1} = 0,4678$$

где q_I – вероятность отказа всего узла I;

q_1 – вероятность отказа элемента 1;

r – число резервных элементов.

По формулам, описанным в пункте 2, определяем $q_2, q_3, q_{II}, q_{III}$.

$$q_2 = 1 - p_2 = 1 - 0,67015 = 0,3284$$

$$q_3 = 1 - p_3 = 1 - 0,85206 = 0,14784$$

$$q_{II} = q_2^{r+1} = 0,32985^{2+1} = 0,35887$$

$$q_{III} = q_3^{r+1} = 0,14794^{1+1} = 0,00046$$

Определим вероятность безотказной работы узлов I, II, III по формуле:

$$p_i = 1 - q_i \quad (3.20)$$

$$p_I = 1 - q_I = 1 - 0,46558 = 0,95444$$

$$p_{II} = 1 - q_{II} = 1 - 0,03589 = 0,96412$$

$$p_{III} = 1 - q_{III} = 1 - 0,00048 = 0,9452$$

Вычисляем возможность безотказной работы устройства, состоящего из узлов I, II, III:

$$p_{I,II,III} = p_I \cdot p_{II} \cdot p_{III} = 0,9141 \quad (3.21)$$

Отказ устройства в целом вычисляем по формуле:

$$q_{pзy} = (1 - p_{I,II,III}) \cdot (1 - p_4) = (1 - 0,91973) \cdot (1 - 0,4491) = 0,04412 \quad (3.22)$$

Вероятность безотказной работы устройства в целом:

$$P_{pзy} = 1 - q_{pзy} = 1 - 0,04422 = 0,95555 \quad (3.23)$$

3.3 Анализ безотказности базовой станции при наличии резервирования (облегченный режим)

Определим коэффициенты загрузки элемента α для каждого узла:

$$\alpha = \lambda_0 / \lambda \quad (3.24)$$

$$a_1 = \frac{0,0000009}{0,00015} = 0,007$$

$$a_2 = \frac{0,0000009}{0,00025} = 0,0037$$

$$a_3 = \frac{0,0000009}{0,0001} = 0,008$$

где λ_0 – максимальное значение интенсивности отказов, 1/час ($\lambda_0=0,9 \cdot 10^{-6}$ 1/час);

λ – интенсивность отказов функциональных частей, 1/час;

Определим вероятности безотказной работы каждого из узлов (I, II, III) по формуле:

$$P_{\text{зам}(1...m)}^{(0)}(t) = \frac{\prod_{j=0}^{m-1} (1+a_j)}{a^{m-1} (m-1)!} \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(-1)^i C_{m-1}^i}{1+ai} e^{-(1+ai)\lambda t} \quad (3.25)$$

$$P_{\text{зам}(1...m)I}^{(0)} = \frac{1}{0,006} \cdot 0,7865086 \cdot (1 + 0,06 - 0,9985601) = 0,9759$$

$$P_{\text{зам}(1...m)II}^{(0)} = \frac{1}{0,0036} \cdot 0,6701506 \cdot (1 + 0,036 - 0,9985601) = 0,9381$$

$$P_{\text{зам}(1...m)III}^{(0)} = \frac{1}{0,009} \cdot 0,8520576 \cdot (1 + 0,06 - 0,9985601) = 0,9884$$

где α – коэффициент загрузки элемента;

m – количество элементов в узле;

λ – интенсивность отказов функциональных частей, 1/час;

t – время работы узла, час.

Определим вероятность безотказной работы $P_{I, II, III}$ по формуле:

$$P_{I, II, III} = P_{\text{зам}(1...m)I}^{(0)} \cdot P_{\text{зам}(1...m)II}^{(0)} \cdot P_{\text{зам}(1...m)III}^{(0)} = 0,9043 \quad (3.26)$$

Определим вероятность отказа всей схемы:

$$q_{\Sigma} = (1 - P_{I,II,III}) \cdot (1 - p_4) = 0,906 \quad (3.27)$$

где p_4 – вероятность безотказной работы четвёртого узла, берём равной вероятности безотказной работы четвёртого узла в нагруженном режиме.

Определим вероятность безотказной работы всей схемы по формуле:

$$p_{\Sigma} = 1 - q_{\Sigma} = 0,9942 \quad (3.28)$$

3.4 Анализ безотказности базовой станции при наличии резервирования (ненагруженный режим)

Определим вероятности безотказной работы узлов I, II, III по формуле:

$$P_{зам(1...m)}^{(HH)}(t) \approx e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} \quad (3.29)$$

$$P_{зам(1...m)I}^{(HH)} = 0,786509, P_{зам(1...m)II}^{(HH)} = 0,938211, P_{зам(1...m)III}^{(HH)} = 1,2025$$

где λ – интенсивность отказов функциональных частей, 1/час;
 t – время работы узла, час.

Определим вероятность безотказной работы $P_{I,II,III}$ по формуле:

$$P_{I,II,III} = P_{зам(1...m)I}^{(0)} \cdot P_{зам(1...m)II}^{(0)} \cdot P_{зам(1...m)III}^{(0)} = 0,8746 \quad (3.30)$$

Определим вероятность отказа всей схемы:

$$q_{\Sigma} = (1 - P_{I,II,III}) \cdot (1 - p_4) = 0,8512 \quad (3.31)$$

где p_4 – вероятность безотказной работы четвёртого узла, берём одинаковой вероятности безотказной работы четвёртого узла в нагруженном режиме.

Определим вероятность безотказной работы всей схемы:

$$p_{\Sigma} = 1 - q_{\Sigma} = 0,91444 \quad (3.32)$$

Был проведен анализ методов повышения надежности телекоммуникационной системы. В работы был представлен математическая модель и разработан алгоритм решения. Полученные значения для

резервирования: нагруженный резерв $P = 0,919729$, облегченный резерв $P = 0,940942$, ненагруженный резерв $P = 0,914731$

Из предоставленных вероятностей можно сделать вывод наиболее предпочтительным способом является резервирования: нагруженный резерв и ненагруженный резерв [7].

3.5 Модель надежности телекоммуникационной сети в зависимости отказов

Отказы в телекоммуникационных сетях обычно являются результатом использования общего оборудования, иногда в частях сетей, которые на первый взгляд являются несвязными. Когда общее оборудование становится неисправными, это может привести к отказу всей линии, использующие это оборудование. Недавнее исследование показали, что в некоторых ситуациях единственные составляющие неисправности вызывают только 15% системного отказа. Остающиеся 85% причин системного отказа происходят из-за взаимодействий подсистемы, плохого интерфейса подсистемы и неподходящей установки части. Для решения данной проблемы были предложены несколько методов [14].

Предложенная модель Проверто была развита для исследования надежности, модель основана по стандартному методу определения причин отказов и их возникновения. Рассматриваемая система состоит из N компонентов (линий связи), которые являются идентичными, насколько их показатели надежны. И интенсивность отказов, как предполагается, будет экспоненциально, но параметры этих распределений могут зависеть от числа компонентов, которые в рабочем состоянии. Частота отказов λ_k и восстановление μ_k каждого компонента K приняты соответственно. Когда компоненты $(N - K)$ при рабочем состоянии восстанавливаются (k) и общая частота отказов и ремонт равны на $(N - K) \lambda_k$ и $k \mu_k$.

В работе сетевая надежность определена как – предельная надежность, что означает вероятность того все узлы (компьютеры и терминалы) могут связаться со всеми другими.

Модель надежности телекоммуникационной сети в зависимости отказов которая основана на EBRM и в процессе Маркова, рассматривает все возможные состояния отказов. Модель построена на следующих этапах:

Шаг 1: Построить модели надежности на основе событий.

Определить соответствующие точки графа $\Omega=(W, E)$, где $W = \{s_i\}$ – набор N узлов и $E = \{\{s_i, s_j\}\}$ – соединений между двумя узлами.

Определить число элементов событий m . Если цепь отказов влияет на несколько узлов, то произойдет отказ всей системы. Однако цепь узлов может отказать не сразу, но они происходят в пределах очень короткого периода. Например, соединения между узлами S_1 и S_2 решается элементами 2 и 3, в то время как элемент 2 управляет соединением между узлами S_2 и S_3 .

Данный модель показан на рисунке 3.3.

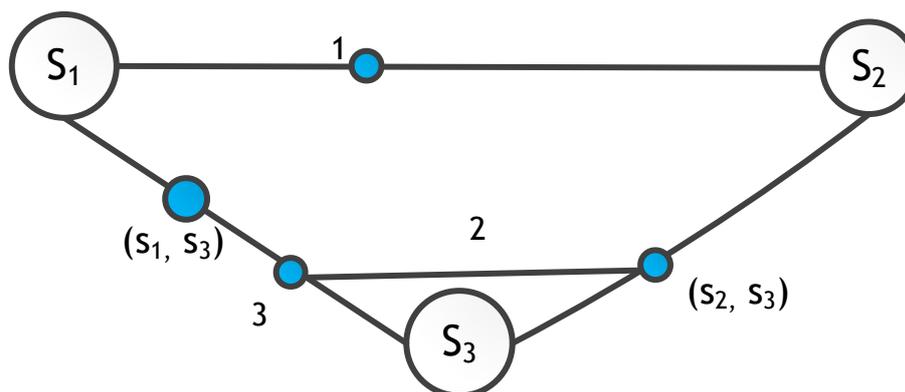


Рисунок 3.3 – Модель надежности (EBRM)

Шаг 2: Предположена, что система состоит из нескольких подсистем, несмотря на структуру. А также только одна группа техников проводят восстанавливающие работы. Каждое событие в сети имеет два состояния: вниз и вверх, вверх является нормальным рабочим состоянием в то время как вниз состояние отказа. Оба состояния являются экспоненциальным.

Определить параметры: частота отказов и восстановление равны: λ_i , $i = 1, 2, \dots, n$ μ_i , $i = 1, 2, \dots, n$. X – состояние системы за все время t показан на формуле 1.

$$X(t) = \begin{cases} 0 & \text{(состояние находится во время } t) \\ i & \text{(состояние находится во время } t) \\ \text{(как другие находятся } i = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (3.33)$$

Построить диаграмму изменения состояния, где нормальное рабочее состояние – $E = \{0\}$ (рисунок 3.4).

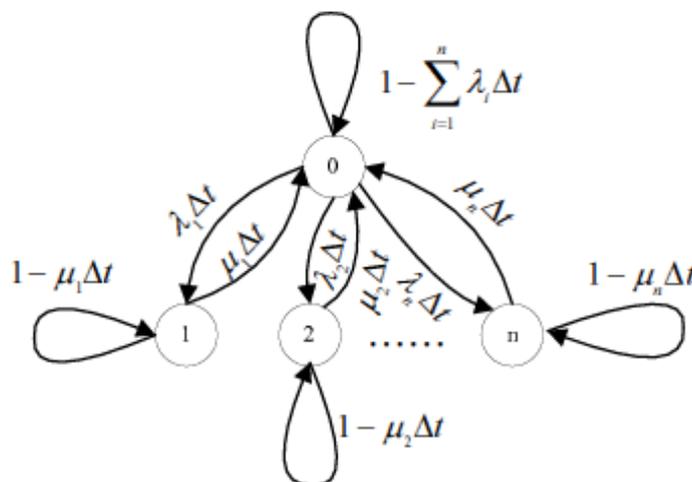


Рисунок 3.4 – Диаграмма изменения состояния

Модель надежности на основе событий (EBRM) дает общий показатель надежности, содержащий надежность источник – терминал. Коммуникационные центры и связи представлены, как обычно вершинами и краями графа, в то время как отказ события смоделированы "элементами событий", которые находятся в режиме «вниз», когда происходит соответствующее отказ вызывающих событий, и в режиме «вверх» в противном случае [15]. Эта модель включает в себя более общие случаи взаимозависимых отказов компонентов сетей связи без использования условных вероятностей. Однако эта модель не учитывает частоту для восстанавливаемой сети, которая необходима для фактического в сети ремонта.

Шаг 3: Рассчитать параметры надежности:

Матрица корреляции между t и $(t + \Delta t)$ равна:

$$P(\Delta t) = \begin{bmatrix} 1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \Delta t & \lambda_1 \Delta t & \lambda_2 \Delta t & \dots & \lambda_n \Delta t \\ \mu_1 \Delta t & 1 - \mu_1 \Delta t & 0 & \dots & 0 \\ \mu_n \Delta t & 0 & 0 & 1 - \mu_n \Delta t & 0 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

Доступ стационарный сети рассчитывается следующим образом:

$$A(\infty) = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \dots + \frac{\lambda_n}{\mu_n}} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \eta_i} = \frac{1}{1 + \eta} \quad (3.35)$$

где $\eta = \lambda_i / \mu_i$ (η – восстанавливающий коэффициент для состояния i , $i = 1, 2, \dots, n$).

$$\eta = \frac{\lambda}{\mu} = \sum_{i=1}^n \eta_i = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} \quad (3.36)$$

Отказ сети $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ и ремонт между восстановлением (MTTR) равны:

$$\omega = \frac{\eta}{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3.37)$$

Если сеть определенной состояний i в момент времени t , то надежность сети находят по формуле:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t) \quad (3.38)$$

На рисунке 3.5 представлена простая телекоммуникационная сеть, в которой станция А и станция Д соединены через радиоканал, а станция В и С подключены к станции А и Д. В станции А используется для обработки данных две линии связи, а передатчик и приемник необходимы, так как линии связи

имеют различные типы. Так же работает и станция D. В станциях B и C одна из линии работает в полном режиме, так как две линии являются одного типа. На рисунке 4 показан как эти состояния моделируются (EBRM). Элемент 1 представляет обработку данных на станции A. Если этот элемент событий находится в нижнем уровне, это будет означать что работа станции A снижается, тогда две линии связи также снизятся. Элемент 2 представляет радиопередачу между станциями A и D, он включает приемник и передатчик на обеих станциях. Если этот элемент в нижнем уровне, то линии радиосвязи не могут функционировать, но станция A может работать со станцией B, так же станция D может функционировать со станцией C.

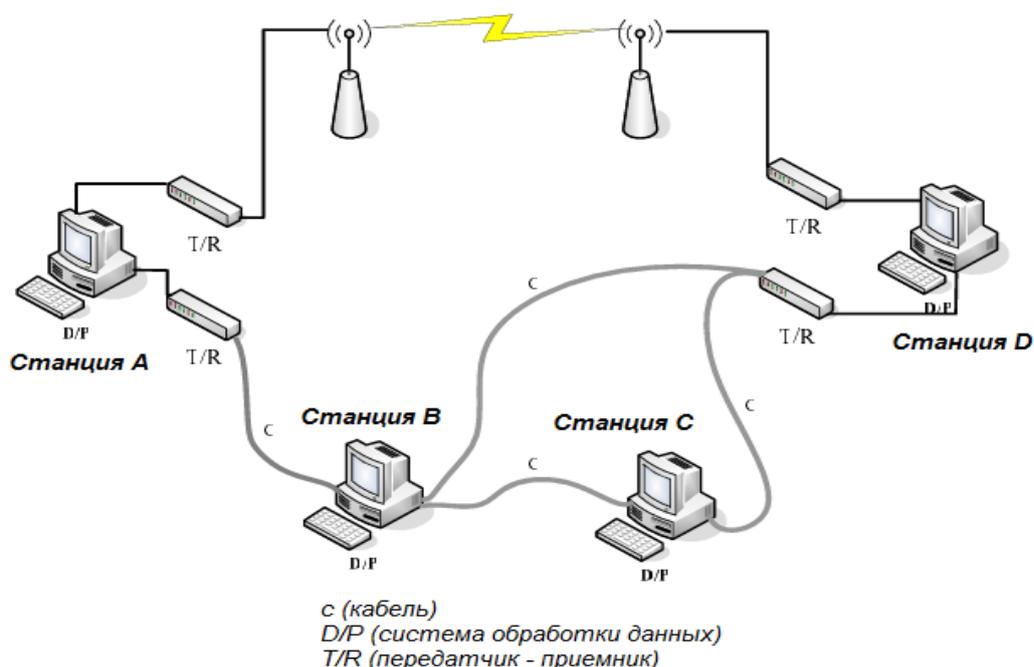


Рисунок 3.5 – Построение телекоммуникационной сети

На рисунке 3.6 представлен 6 независимых элементов в данной сети.

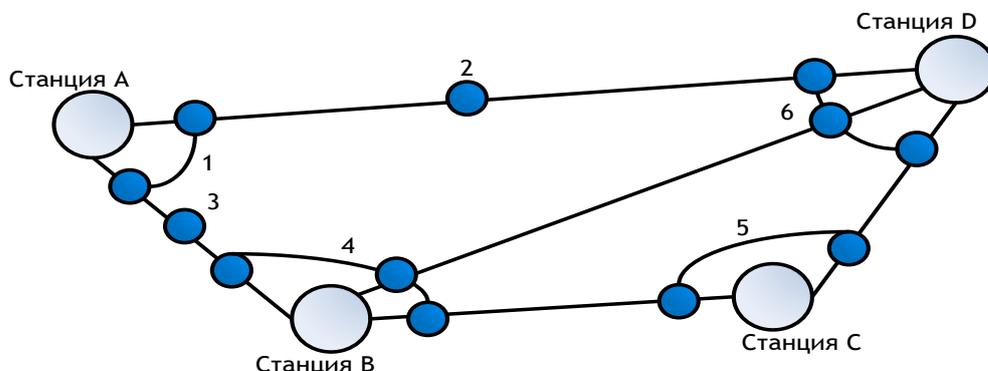


Рисунок 3.6 – Идентификация элементов событий

Для данной сети среднее время до первого отказа (MTTFF) будет равен:

$$\Theta = \frac{1}{\lambda} \quad (3.39)$$

Матрица корреляции $P(\Delta t)$ определяется:

$$P(\Delta t) = \begin{bmatrix} 1 - 0,06\Delta t & 0,001\Delta t & 0,015 & 0,002\Delta t & 0,012\Delta t \\ 0,5\Delta t & 1 - 0,5\Delta t & 0 & \ddots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0,4\Delta t & 0 & 0 & \dots & 1 - 0,4\Delta t \end{bmatrix}$$

$$A(\infty) = 0,898$$

$$\omega = \frac{\eta}{\lambda} = 1,88$$

$$\Theta = \frac{1}{\lambda} = 16,67$$

Доступ стационарный сети:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-0,06t) = 6,14 \cdot 10^{-6}$$

В этом случае доступ приемлемой сети установится с частотой восстановления, надежность сети трудно определить с 7 определенными элементами [16].

После уравнения 7, если предположит $\mu_i = 0, i \in \{1, 2, \dots, 6\}$, то система будет работоспособным, и после 200 единиц времени надежность сети будет равен:

Используя данную модель можно будет изучить надежность телекоммуникационных сетей. Этот метод позволит определить независимые случаи отказов, для того чтобы техники по обслуживанию оборудования могли избегать сбоев системы.

Заключение

В данной магистерской диссертации проведено исследование путей повышения надежности телекоммуникационной системы методом резервирования. В рамках проведенного исследования решены следующие задачи:

– Проведен анализ имеющихся методов по обеспечению надежности телекоммуникационной сети;

– Был проведен анализ методов повышения надежности телекоммуникационной системы. В работе был представлен математическая модель и разработан алгоритм решения. Полученные результаты показали, что предпочтительным способом является резервирование с нагруженный резервом и ненагруженный резерв.

– Представлен алгоритм по повышению надежности базовой станции беспроводной сети и разработана программа.

Определено, что с понижением среднего времени восстановления базовой станции ниже 7% резко повышается средняя наработка на отказ, с понижением коэффициента вариации времени восстановления базовой станции надежность базовой станции также увеличивается.

Исследованная модель может применяться в дальнейшем для моделирования надежности восстанавливаемых телекоммуникационных систем с разными видами резервирования.

Список литературы

1. Острейковский В.А. Теория надежности: Учебник для вузов. – М.: Высш.шк., 2003. – 463с.
2. D.Richard Kuhn. Sources of failure in the Public Switched Telephone Network // IEEE Computer. – 2002. Vol 30. No 4.
3. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на транспорте (редакция 1.1). – М., 2010, 132 с.
4. Bircan G., Cannington J., Orzynski E.A., and Spiride G. «Design strategies for meeting unavailability targets using dedicated protection in DWDM networks». IEEE/OSA J. Lightwave Technolody, vol. 25, no.5, pp.1120 – 1129, May 2007.
1. 5. Network reliability and availability// Электронный ресурс. WWW. network – protection / network – reliability – and – availability. 2010.
6. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов – 9-е издание, стер. / В.Е. Гмурман. - М.: "Высшая школа", 2003. – 479 с
7. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. М., 2002 г. – 113 с.
8. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В.П. Тарасик. – Мн.: Дизайн ПРО, 2004. – 640 с.
9. A. Avizienis. Design of fault-tolerant computers. In *Proc. 1967 Fall Joint Computer Conf., AFIPS Conf. Proc. Vol. 31*, pages 733-743, 2004.
10. M.K. Joseph and A. Avizienis. A fault tolerance approach to computer viruses. In *Proc. of the 1988 IEEE Symposium on Security and Privacy*, pages 52-58, April 1988.
11. Сборник трудов магистрантов. Алматы, 2014. АУЭС, - 154стр.
12. Тезисы докладов IX международной научно технической конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». Алматы, 2014. АУЭС, - 344стр.
13. A. Avizienis, J.-C. Laprie, and B. Randell. Dependability of computer systems: Fundamental concepts, terminology, and examples. Technical report, LAAS-CNRS, October 2007.
14. C.E. Landwehr et al. A taxonomy of computer program security flaws. *ACM Computing Surveys*, 26(3):211-254, September 2008.
15. Commission Of The European Communities. *Information Technology Security Evaluation Criteria*. 2003.
16. H.F. Lipson. Survivability — A new security paradigm for protecting highly distributed mission-critical systems. Collection of transparencies, 38th meeting of IFIP WG 10.4, Kerhanson, New York, June 28-July 2, 2000, pp. 63-89. Available from LAAS-CNRS.

Приложения А

Расчет надежности базовой станции в программе Mathcad

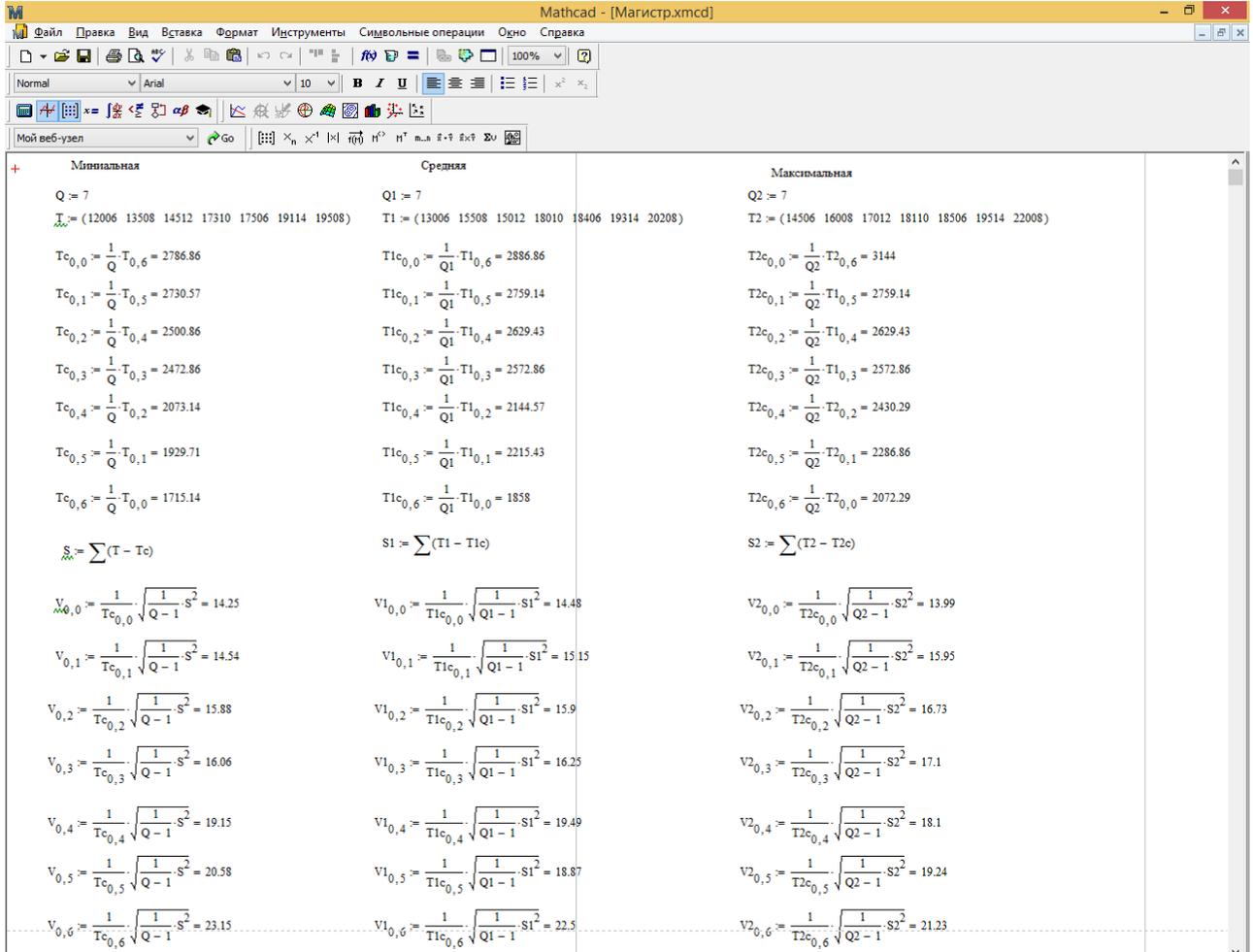


Рисунок А1 – Результаты показателей надежности базовой станции

Приложения Б

Расчет надежности базовой станции в программе Mathcad

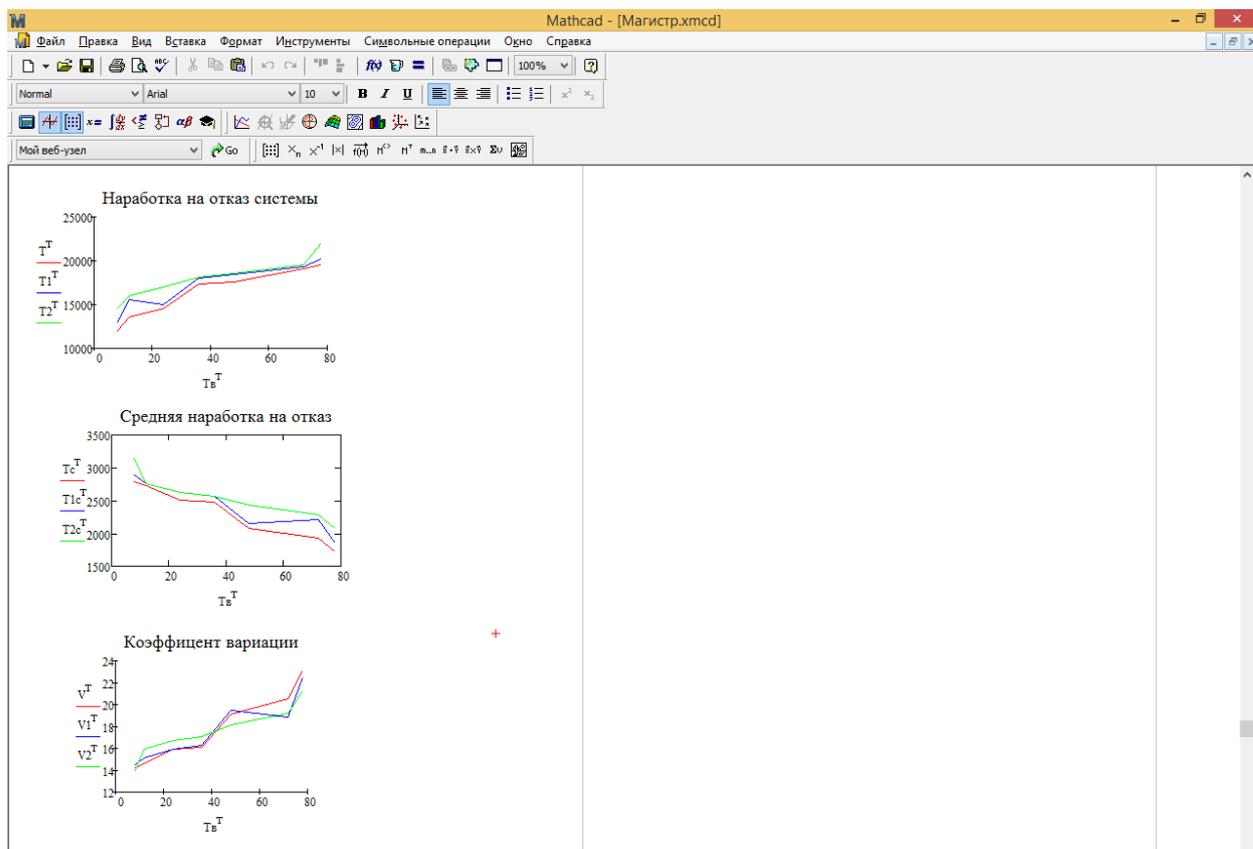


Рисунок В1 – График надежности базовой станции методом резервирования:
а) Наработка на отказ БС, б) средняя наработка на отказ БС;
с) коэффициент вариации БС

Приложения В

Результаты эксперимента

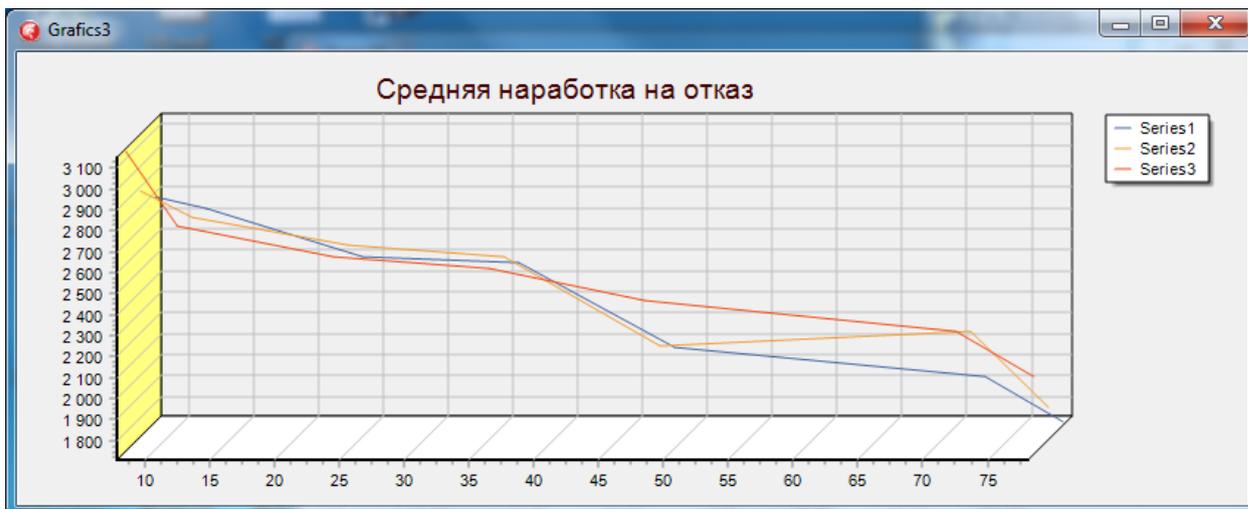


Рисунок В1 – График зависимости средней наработки на отказ от времени восстановления



Рисунок В2 – График зависимости коэффициента вариации от времени восстановления

Приложения Г

Разработанная программа в Delphi по алгоритму резервирования базовой станции

```
unit Magistr;  
interface  
uses  
  Winapi.Windows, Winapi.Messages, System.SysUtils, System.Variants,  
  System.Classes, Vcl.Graphics,  
  Vcl.Controls, Vcl.Forms, Vcl.Dialogs, Vcl.StdCtrls, Vcl.Grids, Vcl.ComCtrls,  
  math, Vcl.ExtCtrls;  
type  
  TForm10 = class(TForm)  
    PageControl1: TPageControl;  
    TabSheet1: TTabSheet;  
    TabSheet2: TTabSheet;  
    TabSheet3: TTabSheet;  
    StringGrid1: TStringGrid;  
    Edit1: TEdit;  
    Label1: TLabel;  
    StringGrid2: TStringGrid;  
    Button1: TButton;  
    Edit2: TEdit;  
    Label2: TLabel;  
    StringGrid3: TStringGrid;  
    StringGrid4: TStringGrid;  
    Edit3: TEdit;  
    Edit4: TEdit;  
    Button2: TButton;  
    Label3: TLabel;  
    Label4: TLabel;  
    StringGrid5: TStringGrid;  
    StringGrid6: TStringGrid;  
    Edit5: TEdit;  
    Edit6: TEdit;  
    Button3: TButton;  
    Label5: TLabel;  
    Label6: TLabel;  
    Button4: TButton;  
    Label7: TLabel;  
    Button5: TButton;  
    Button6: TButton;  
    RadioGroup1: TRadioGroup;
```

```

RadioGroup2: TRadioGroup;
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup1Click(Sender: TObject);
procedure StringGrid1SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
procedure StringGrid4SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
procedure StringGrid6SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
procedure TForm10.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  StringGrid1.Cells[0, 0] := 'toi, ı';
  StringGrid1.Cells[0, 1] := 'tbi, ı';
  StringGrid1.Cells[0, 2] := 'tpi, ı';
  StringGrid1.Cells[0, 3] := 't $\sum_{i-1}$ , ı';
  StringGrid1.Cells[0, 4] := 't $\sum_i$ , ı';
  StringGrid1.Cells[0, 5] := 'tc, ı';
  StringGrid2.Cells[0, 0] := 'tbi, ı';
  StringGrid2.Cells[0, 1] := 'Tc 1, ı';
  StringGrid2.Cells[0, 2] := 'Vc 1, ı';
  StringGrid1.Cells[1, 0] := '7000';
  StringGrid4.Cells[0, 0] := 'toi, ı';
  StringGrid4.Cells[0, 1] := 'tbi, ı';
  StringGrid4.Cells[0, 2] := 'tpi, ı';
  StringGrid4.Cells[0, 3] := 't $\sum_{i-1}$ , ı';
  StringGrid4.Cells[0, 4] := 't $\sum_i$ , ı';
  StringGrid4.Cells[0, 5] := 'tc, ı';
  StringGrid3.Cells[0, 0] := 'tbi, ı';
  StringGrid3.Cells[0, 1] := 'Tc 2, ı';
  StringGrid3.Cells[0, 2] := 'Vc 2, ı';

```

```

StringGrid4.Cells[1, 0] := '7000';
StringGrid6.Cells[0, 0] := 'toi, ч';
StringGrid6.Cells[0, 1] := 'tbi, ч';
StringGrid6.Cells[0, 2] := 'tpi, ч';
StringGrid6.Cells[0, 3] := 't $\sum_{i-1}$ , ч';
StringGrid6.Cells[0, 4] := 't $\sum_i$ , ч';
StringGrid6.Cells[0, 5] := 'tc, ч';
StringGrid5.Cells[0, 0] := 'tbi, ч';
StringGrid5.Cells[0, 1] := 'Tc 3, ч';
StringGrid5.Cells[0, 2] := 'Vc 3, ч';
StringGrid6.Cells[1, 0] := '7000';
end;
for i := 1 to StringGrid1.ColCount - 1 do
  if Length(StringGrid1.Cells[i, 1]) <> 0 then
    if Length(StringGrid1.Cells[i, 3]) <> 0 then
      begin
        s1 := strtoint(StringGrid1.Cells[i, 0]);
        s2 := strtoint(StringGrid1.Cells[i, 1]);
        s3 := strtoint(StringGrid1.Cells[i, 3]);
        s4 := strtoint(StringGrid1.Cells[i, 2]);
        StringGrid1.Cells[i, 4] := IntToStr(s1 + s2 + s3);
        StringGrid1.Cells[i, 5] := IntToStr(s1 + s4 + s3);
      end;
end;
procedure TForm10.StringGrid4SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
  var CanSelect: Boolean);
var
  i, j, q, k, h, s1, s2, s3, s4: Integer;
begin
  q := strtoint(Edit3.Text);
  h := strtoint(Edit4.Text);
  if Length(StringGrid4.Cells[1, 0]) <> 0 then
    for i := 1 to StringGrid4.ColCount - 1 do
      begin
        k := strtoint(StringGrid4.Cells[i, 0]);
        StringGrid4.Cells[i + 1, 0] := IntToStr(k + h);
      end;
    for i := 1 to StringGrid4.ColCount - 1 do
      if Length(StringGrid4.Cells[i, 1]) <> 0 then
        if Length(StringGrid4.Cells[i, 3]) <> 0 then
          begin
            s1 := strtoint(StringGrid4.Cells[i, 0]);
            s2 := strtoint(StringGrid4.Cells[i, 1]);
            s3 := strtoint(StringGrid4.Cells[i, 3]);
            s4 := strtoint(StringGrid4.Cells[i, 2]);

```

```

        StringGrid4.Cells[i, 4] := IntToStr(s1 + s2 + s3);
        StringGrid4.Cells[i, 5] := IntToStr(s1 + s4 + s3);
procedure TForm10.StringGrid6SelectCell(Sender: TObject; ACol, ARow: Integer;
    var CanSelect: Boolean);
var
    i, j, q, k, h, s1, s2, s3, s4: Integer;
begin
    q := strtoint(Edit5.Text);
    h := strtoint(Edit6.Text);
    if Length(StringGrid6.Cells[1, 0]) <> 0 then
        for i := 1 to StringGrid6.ColCount - 1 do
            begin
                k := strtoint(StringGrid6.Cells[i, 0]);
                StringGrid6.Cells[i + 1, 0] := IntToStr(k + h);
            end;
        for i := 1 to StringGrid6.ColCount - 1 do
            if Length(StringGrid6.Cells[i, 1]) <> 0 then
                if Length(StringGrid6.Cells[i, 3]) <> 0 then
                    begin
                        s1 := strtoint(StringGrid6.Cells[i, 0]);
                        s2 := strtoint(StringGrid6.Cells[i, 1]);
                        s3 := strtoint(StringGrid6.Cells[i, 3]);
                        s4 := strtoint(StringGrid6.Cells[i, 2]);
                        StringGrid6.Cells[i, 4] := IntToStr(s1 + s2 + s3);
                        StringGrid6.Cells[i, 5] := IntToStr(s1 + s4 + s3);
                    end;
end;

```