

А.А. Зацаринный, А.И. Гаранин, С.В. Козлов

**Научно-практические аспекты  
обеспечения надежности  
информационно-телекоммуникационных сетей**

МОСКВА  
ФИЦ ИУ РАН  
2017

Рецензенты:

Северцев Н.А., д.т.н., проф., заслуженный деятель науки и техники РФ,  
заведующий отделом ФИЦ ИУ РАН

Оганян Г.А., д.т.н., проф., заслуженный деятель науки РФ, заместитель  
директора НИИ АА имени акад. В.С. Семенихина

Мирошников В.И., д.т.н., проф., заслуженный деятель науки РФ,  
заместитель директора АО «Интелтех»

ББК 30.14  
УДК 004.052

**Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Козлов С.В.**

Научно-практические аспекты обеспечения надежности  
информационно-телекоммуникационных сетей. – М.: ФИЦ  
ИУ РАН, 2017. – 246 с.: ил.

ISBN 978-5-91993-072-3

В монографии представлены результаты научно-исследовательской и научно-практической работы авторов в части обеспечения надежности информационно-телекоммуникационных систем на различных этапах их жизненного цикла. Авторы системно и комплексно рассматривают вопросы обеспечения требуемых показателей надежности, применяя, с одной стороны, методы обоснованного распределения системных требований по ее элементам, а с другой, - выбор архитектурного построения системы с учетом показателей надежности ее элементов. Сформулированы рекомендации по обеспечению требуемой надежности сложных систем. Особое внимание в монографии уделено особенностям обеспечения надежности систем и комплексов в защищенном исполнении.

Монография рекомендуется сотрудникам научно-исследовательских организаций, предприятий промышленности, аспирантам, а также сотрудникам эксплуатирующих подразделений.

**ББК 30.14**

ISBN978-5-91993-072-3

Зацаринный А.А.  
Гаранин А.И.  
Козлов С.В., 2017  
ФИЦ ИУ РАН, 2017

## Предисловие

---

Сегодня мировое сообщество активно обсуждает проблематику четвертой промышленной революции, цифровой экономики, аналитики больших данных, высокопроизводительных облачных вычислений, искусственного интеллекта, робототехники. Развитие информационных технологий и их влияние практически на все виды человеческой деятельности приобрело системный характер, оно приводит ко все большей зависимости каждого человека от самых различных электронных устройств (компьютеров, планшетов, смартфонов, электронных книг и других «гаджетов»). Наряду с очевидными преимуществами информационные технологии одновременно принесли и множество неприятностей в виде вирусов, спама, электронных краж, преднамеренных вредоносных воздействий и т.д. Более того, информационные технологии в социальных сетях приводят к нарушению частной жизни, развитию агрессивных настроений и другим нежелательным явлениям.

Тем не менее, глобальная «цифровизация» общества стала необратимой. Надо «учиться» жить в этих условиях. Для этого следует внимательно относиться к качеству информационных систем и устройств, которое включает в себя множество технических, эргономических, эстетических и других характеристик.

В этой связи, появление монографии, посвященной научно-практическим вопросам обеспечения надежности информационных систем, выглядит вполне актуально.

Федеральным исследовательским центром «Информатика и управление» РАН накоплен многолетний научно-практический опыт создания, внедрения, сопровождения и модернизации информационных систем различного назначения.

В монографии представлены результаты научно-исследовательской и научно-практической работы авторов в части обеспечения надежности информационно-телекоммуникационных систем на различных этапах их жизненного цикла. К несомненным достоинствам работы можно отнести то, что авторы системно и комплексно рассматривают вопросы обеспечения требуемых показателей надежности, применяя, с

одной стороны, методы обоснованного распределения системных требований по ее элементам, а с другой, - выбор архитектурного построения системы с учетом показателей надежности ее элементов.

Большое внимание в монографии уделено особенностям обеспечения надежности систем и комплексов в защищенном исполнении.

Авторов монографии связывают многие годы совместных научных исследований и разработок крупных информационно-телекоммуникационных проектов, а также целого ряда совместных научных публикаций.

Представляется, что книга будет полезной для сотрудников научно-исследовательских организаций, предприятий промышленности, в том числе оборонно-промышленного комплекса, преподавательского состава высших учебных заведений по соответствующим специальностям, аспирантам, а также сотрудникам эксплуатирующих подразделений.

*Директор Федерального исследовательского центра  
«Информатика и управление» РАН  
академик И.А. Соколов*

## Содержание

---

<b>Введение</b>	<b>7</b>
<b>Глава 1. Основные методические подходы к оценке надёжности ИТС</b>	<b>13</b>
1.1 Показатели надежности. Критерий отказа .....	13
1.2 Количественные показатели безотказности и ремонтпригодности.....	17
1.3 Эквивалентная схема для расчета надежности.....	20
1.4 Оценка надёжности типовых вариантов структурного построения системы.....	24
1.5 Оценка надёжности систем произвольной структуры.....	27
1.5.1 Метод прямого перебора состояний элементов системы.....	27
1.5.2 Метод разложения сложной структуры по базовому элементу...	29
1.5.3 Методики расчета мажоритарных систем («m из n») .....	31
1.5.4 Метод минимальных путей.....	35
1.5.5 Метод минимальных сечений.....	36
1.5.6 Метод статистических испытаний .....	37
1.6 Оценка надёжности сложной системы .....	39
<b>Глава 2. Особенности задания требований по надёжности в техническом задании</b>	<b>44</b>
2.1 Требования действующих нормативных документов.....	44
2.2 Общие методические подходы к обоснованию требований по надёжности в ТЗ на ИТС .....	47
2.3 Особенности задания требований по надёжности к ИТС в защищенном исполнении .....	51
2.4 Методический подход к распределению требований технического задания по надёжности ИТС между ее подсистемами .....	53
2.4.1 Распределение требований к надёжности тракта обмена информацией между элементами тракта.....	53
2.4.2 Алгоритм распределения требований по надёжности, предъявляемых к тракту обмена информацией, между элементами телекоммуникационных сетей .....	59
2.5 Методический подход к оценке надёжности элементов тракта обмена информацией в ИТС .....	60
2.5.1 Оценка надёжности объектов информатизации.....	61
2.5.2 Оценка надёжности узлов и направлений связи ТКС.....	64
<b>Глава 3. Методические подходы по обеспечению надёжности ИТС на различных стадиях жизненного цикла.</b>	<b>66</b>

3.1	Общие положения .....	66
3.2	Методы обеспечения надёжности ИТС на стадии разработки .....	69
3.2.1	Методы резервирования .....	69
3.2.2	Особенности обеспечения надёжности ИТС с учетом надёжности программного обеспечения .....	87
3.2.3	Диагностика средств вычислительной техники.....	94
3.2.4	Методические вопросы комплектования ЗИП.....	101
3.2.5	Программа обеспечения надёжности ИТС.....	127
3.3	Проверка требований по надёжности на этапе испытаний .....	134
3.3.1	Организация и условия проведения испытаний .....	134
3.3.2	Основные методические подходы к оценке надёжности ИТС при проведении совмещенных (контрольных) испытаний .....	138
3.4	Методические вопросы поддержания надёжности на стадии эксплуатации ИТС.....	149
3.4.1	Обеспечение надёжности сложных технических систем в условиях постоянной эксплуатации.....	149
3.4.2	Организация технического обслуживания в процессе эксплуатации ИТС .....	153
3.5	Анализ надёжности отдельных элементов ИТС за период эксплуатации с 2011 по 2016 годы.....	165
3.6	Особенности утилизации средств вычислительной техники .....	176
<b>Глава 4. Анализ применимости стандартов ТИА/ЕІА-942 для обеспечения надёжности создаваемых информационно-телекоммуникационных систем различного назначения</b>		<b>178</b>
4.1	Основные положения стандартов ТИА/ЕІА-942.....	178
4.2	Анализ возможности применения стандартов ТИА/ЕІА-942 при создании и модернизации информационно-телекоммуникационных систем различного назначения .....	186
<b>Глава 5. О функциональной надёжности информационных систем</b>		<b>190</b>
5.1	Общие положения .....	190
5.2	Понятие функциональной надёжности.....	194
5.3	Факторы, влияющие на функциональную надёжность ИС .....	197
5.4	Показатели функциональной надёжности информационной системы.....	203
5.4.1	Единичные показатели .....	204
5.4.2	Комплексные показатели .....	206
<b>Заключение</b>		<b>208</b>
	Литература. ....	214
	Перечень принятых сокращений .....	222
	Приложение 1.....	223
	Приложение 2.....	225

Сегодня в мировом сообществе происходит переход к четвертой промышленной революции, содержание которой определяется прежде всего информационными технологиями (ИТ). Их развитие характеризуется теперь не только интенсивностью и быстрой сменяемостью, но и приобретает глобальный характер: информационные технологии охватывают практически все сферы человеческой деятельности - промышленность, образование, науку, экономику, медицину, социальную сферу, бизнес. Мало того, ИТ стали активно «внедряться» в самого человека. Каждый из нас в той или иной мере использует ИТ ежедневно в своей работе, на отдыхе, в быту, в общении. ИТ приобрели всеобъемлющий характер: для общения людей, организаций не существует расстояний. И все это за каких-нибудь 10-15 лет.

Но ИТ принесли одновременно и массу неприятностей, если не сказать резче, - угроз и опасностей. Это вирусы, спамы, целенаправленные вредоносные воздействия на нашу информацию и на процессы, связанные с ее обработкой и передачей.

Эти угрозы приобрели системный характер. Бороться ними нужно также системно. А для этого необходимо понимать, что ИТ «живут» в системе – в информационно-телекоммуникационной сети (ИТС), которая должна обладать определенными свойствами: пропускная способность, память, быстрое действие, безопасность, надежность. А еще появились такие характеристики как комфортность, «дружественные» интерфейсы, адаптируемость и т.д. Другими словами, ИТС как любой технический объект обладает разнообразными свойствами, совокупность которых называется качеством объекта [1].

Качество – это суперсвойство, которое включает в себя много различных и, как правило, сложных свойств (технических, эргономических, эстетических и других).

Надёжность среди них занимает особое положение. В отношении любых других свойств, входящих в определение понятия качества, в любой момент можно убедиться, присутствует ли это свойство, соответствует ли оно по своим показателям тем требованиям, которые предъявлены. Это означает, что в любой момент можно сделать однозначный вывод: годен или не годен данный

объект по соответствующему свойству. Конечно, для этого следует провести необходимые проверки, осмотры, измерения, чаще всего, относительно кратковременные по соответствующим методикам. При этом, как правило, достаточно иметь один испытуемый объект.

С надёжностью гораздо сложнее. Если в некоторый момент объект вышел из строя и, следовательно, не выполняет заданных функций, то нельзя делать вывод о его соответствии или несоответствии требованиям по надёжности. Дело в том, что отказ объекта (как и его работоспособное состояние) является событием случайными поэтому вывод о его соответствии имеет вероятностный (статистический) характер. Такой вывод может быть сделан только по результатам длительных испытаний и не одного, а многих объектов. При этом, чем выше требования к надёжности объекта, тем больший объем испытаний необходимо провести, чтобы с достаточной степенью доверия подтвердить соответствие объекта требованиям.

Более того, надёжность не только отличается от других свойств объекта, но и часто (особенно для технических объектов) занимает среди них главное, доминирующее, положение. В качестве основных аргументов в пользу такого утверждения можно привести:

- если объект не надёжен, то все остальные его свойства теряют свою ценность;
- решение многих задач, возникающих на всех этапах жизни объекта, зависит от показателей надёжности объекта и его частей;
- надёжность в значительной степени определяет качество работы любого объекта;
- от надёжности некоторых объектов может зависеть безопасность государства и жизнь людей.

Вместе с тем, о надёжности в последнее время стали говорить все меньше и меньше. Она отошла на второй план и как само собой разумеющееся должна обеспечиваться такой, которая необходима. Тем не менее, обеспечение надёжности ИТС является принципиально системной задачей. ИТС – это три составляющих: системные решения, технологические решения (протоколы, стандарты) и аппаратно-программные средства, которые эти решения реализуют и обеспечивают. И все эти составляющие

должны быть сбалансированы с позиций требований к надежности ИТС. Например, известны примеры, когда высоконадежные ИТС создавались в нашей стране на мало надежных аппаратных средствах за счет достаточно сложных алгоритмических и системных решений. С другой стороны, появление сегодня аппаратно-программных средств очень высокой надежности не гарантирует создание на их основе высоконадежных ИТС без соответствующих системных и проектных решений.

Это обстоятельство обуславливает актуальность исследований по обеспечению надежности на самых ранних стадиях создания ИТС: НИР, аванпроект или эскизный проект. Именно в рамках этих работ выполняется системный анализ реализуемости заданных требований, при необходимости проводятся обоснования по их корректировке, а также разрабатывается весь комплекс взаимоувязанных системотехнических решений по обеспечению требований по надежности ИТС. На последующих этапах (техническое и рабочее проектирование, изготовление опытного образца, проведение всех видов испытаний, серийное производство и развертывание ИТС на объектах заказчика) осуществляется реализация всего комплекса обоснованных системотехнических решений. Но и этого недостаточно, чтобы обеспечить требуемые заказчиком показатели надежности в действующей ИТС на этапах ее эксплуатации. Для этого необходим целый комплекс организационно-технических мероприятий по поддержанию показателей надежности в требуемых значениях, который включает профилактические работы на аппаратных средствах, диагностику аппаратно-программных средств, анализ сбоев и отказов, а также пополнение ЗИП.

Таким образом, обеспечение надежности является многоаспектной проблемой, которая решается на всех этапах жизненного цикла ИТС на основе теории и практики создания и эксплуатации систем:

- на ранних стадиях исследований – **обоснование** требований и комплекса решений;
- на стадиях разработки и проектирования – **реализация** этих решений и их проверка на соответствие требованиям;
- на стадиях эксплуатации и применения – **поддержание** показателей надежности в заданных пределах.

В качестве основных составляющих проблемы обеспечения надежности ИТС можно выделить: теоретические и научно-практические вопросы.

Теоретические аспекты оценки и обеспечения надежности ИТС к настоящему времени исследованы достаточно досконально в целом ряде работ [1-18]. Среди них необходимо отметить фундаментальные труды зарубежных (Аткинсон Р., Бауэр Г., Барлоу Р., Прошан Ф., Вальд А., Капур К., Ламберсон Л., Кокс Д., Саати Т.Л., Смит В., Чжу-Кай-Лай, Фишер Р.А., Уилкс С. и другие) и отечественных ученых (Бусленко Н.П., Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А., Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н., Козлов Б.А., Литвак Е.И., Рогинский В.Н., Богатырев В.А., Ушаков И.А., Фишбейн Ф.И.).

Важный вклад в развитие теории надежности ИТС сделан и учеными ФИЦ ИУ РАН.

Так, в монографиях Соколова И.А., Бенинга В.Е., Шоргина С.Я., Королева В.Ю. [19] предложены альтернативные рандомизированные математические модели и методы исследования надежности информационных и технических систем подверженных влиянию случайных и нестационарно изменяющихся факторов. Математическая теория надежности модифицируемых систем, в том числе программного обеспечения, довольно полно изложена в книге [20].

В монографии Северцева Н.А. [7] для исследования процессов работоспособности сложных систем, функционирующих в различных пространственно-временных условиях, предложены математические методы, модели и алгоритмы на основе статистической теории подобия. Показано, что такие методы являются достаточно эффективным инструментом в исследованиях вопросов надежности сложных систем, к которым относятся и информационно-телекоммуникационные системы.

В научных трудах Синицина И.Н. и Шаламова А.С. [21-26] разработаны теоретические основы обеспечения надежности на этапах их эксплуатации.

Системотехническим и организационно-техническим аспектам обеспечения надежности посвящен ряд работ и авторов монографии [27-38].

Особо следует отметить ряд публикаций совместно с Буруменским Н.Г., посвященных актуальным вопросам формирования системы технического обеспечения информационно-телекоммуникационных сетей, а также системным подходам к исследованию живучести информационно-телекоммуникационных сетей [37-47].

В настоящей монографии сделаны основные акценты именно на научно-практические аспекты обеспечения надежности ИТС на различных этапах их жизненного цикла, которые основаны на многолетнем практическом опыте разработки, внедрения и сопровождения нескольких территориально распределенных ИТС. При этом обобщен многолетний опыт работы авторов по разработке, испытаниям, внедрению и сопровождению ИТС самого различного назначения.

Материалы монографии представлены в виде введения, пяти глав, заключения, нескольких приложений и списка литературы.

В настоящем введении показано место данной монографии в ряду работ, посвященных проблематике оценки и обеспечения надежности ИТС.

В **первой главе** даны основные понятия, определяемые действующими нормативно-техническими документами при рассмотрении вопросов надежности сложных систем, изложены общие методические подходы к оценке надежности ИТС.

Во **второй главе** представлены особенности задания требований по надежности в техническом задании на разработку ИТС (включая ИТС в защищенном исполнении) на основе существующих нормативных документов. Приведены методические подходы к распределению требований технического задания по надежности ИТС между ее подсистемами и к оценке надежности элементов тракта обмена информацией в ИТС.

**Третья глава**, в которой сосредоточен основной материал монографии, посвящена методическим подходам по обеспечению надежности ИТС на различных этапах их жизненного цикла: в ходе разработки и проектирования, на этапах испытаний различных видов, на стадии эксплуатации.

В **четвертой главе** проведен анализ применимости стандартов ТИА/EIA-942 для обеспечения надежности создаваемых ин-

формационно-телекоммуникационных систем различного назначения.

В пятой главе представлены подходы к оценке функциональной надежности ИТС. Показано, каким образом показатели надежности оказывают непосредственное влияние на качество выполнения ИТС возложенных на нее функциональных задач.

В заключении, на основе изложенных выше материалов, сформулированы рекомендации по обеспечению требуемой надежности ИТС на всех этапах ее жизненного цикла.

Авторы выражают глубокую признательность директору ФИЦ ИУ РАН академику И.А.Соколову за поддержку работы по написанию монографии, заместителям директора Центра д.ф.-м.н. Шоргину С.Я., д.т.н. Степанову П.В., д.т.н. Захарову В.Н., ведущим сотрудникам Центра д.т.н. Сучкову А.П., д.т.н. Шабанову А.П., д.т.н. Сеницину И.Н., Ионенкову Ю.С. за методическую помощь при подготовке монографии, а также сотрудникам Гребенщикову В.И., Кондрашеву В.А., Денисову С.А., Кулакову А.Б., Савченко П.А. и другим, которые приняли активное участие в сборе и обработке статистического материала о показателях надежности ИТС и их компонентов в рамках совместно выполняемых работ по их разработке, внедрению и обеспечению эксплуатации.

Огромная благодарность от авторов Буроменскому Н.Г., кандидату технических наук, ветерану 16 ЦНИИИ связи Минобороны (в настоящее время - ведущий научный сотрудник 46 ЦНИИ Минобороны), за многолетнее творческое сотрудничество в работах по проблематике надежности систем и комплексов связи.

Авторы признательны рецензентам заслуженному деятелю науки д.т.н. профессору заведующему отделом ФИЦ ИУ РАН Северцеву Н.А., заслуженному деятелю науки РФ д.т.н. профессору заместителю директора НИИ АА имени акад. В.С. Семенихина Оганяну Г.А. и заслуженному деятелю науки РФ д.т.н. профессору заместителю директора АО «Интелтех» Мирошникову В.И.

## Глава 1.

### Основные методические подходы к оценке надёжности ИТС

---

В этой главе дается систематизация основных понятий, определяемых действующими нормативно-техническими документами, а также соответствующие пояснения и трактовки на основе опыта разработки и эксплуатации ряда автоматизированных информационных систем. В качестве основных нормативных документов, определяющих понятия надёжности, следует назвать: [48-57].

#### 1.1 Показатели надёжности. Критерий отказа

В соответствии с принятой международной терминологией, надёжность – собирательный термин, применяемый для описания свойств готовности и влияющих на него свойств безотказности, ремонтпригодности и обеспеченности технического обслуживания и ремонта. В примечании к этому определению указано: «Надёжность используется только для общего его неколичественного описания».

Согласно [48] *надёжность* - это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Следует подчеркнуть, что в теории надёжности рассматриваются не любые события, приводящие к нарушению работоспособности объекта, а только те, которые имеют внутренний (по отношению к объекту) характер. Например, плохое качество электрических контактов, отказы комплектующих изделий, вызываемые физико-химическими процессами старения аппаратуры, дефектами технологии её изготовления и т.д. И не рассматриваются события, приводящие к нарушению работоспособности объекта из-за воздействия внешних (по отношению к объекту) факторов (пожары, наводнения, землетрясения и т.п.) [48].

В свою очередь, надёжность – это не простое, а сложное свойство. Оно обуславливается такими относительно более простыми свойствами, как свойство безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости. Рассмотрим кратко эти свойства с учетом [48].

*Безотказность* – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Под работоспособным состоянием понимается состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствует требованиям нормативно-технической и\или проектной (далее нормативной) документации.

Если значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативной документации, говорят о неработоспособном состоянии объекта.

Следует различать понятия «исправное/неисправное» и «работоспособное/неработоспособное» состояния объекта.

Исправное состояние – это состояние, при котором объект (изделие) соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации (НТиКД). В этом состоянии изделие выполняет все заданные функции и по всем параметрам удовлетворяет требованиям потребителя. Неисправное состояние – состояние, при котором изделие не соответствует хотя бы одному из требований НТиКД. Неисправное изделие может быть работоспособным, а имеющиеся повреждения не влияют на его функционирование и выполнение им работы по назначению.

Работоспособное изделие, в отличие от исправного, должно соответствовать только тем требованиям НТиКД, выполнение которых обеспечивает нормальное применение изделия по назначению.

Другими словами, понятие «исправен/неисправен» нормативно определяется более высокими показателями надежности, чем понятие «работоспособно/неработоспособно».

*Ремонтпригодность* – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению ра-

ботоспособного состояния объекта путём его технического обслуживания и ремонта. В общем случае ремонтпригодность определяется наличием в объекте систем контроля, диагностики, тестирования и сигнализации, а также конструктивными характеристиками объекта. Естественно, что для обеспечения ремонтпригодности требуются определенные (часто весьма значительные) затраты как на этапах разработки и проектирования, так и на этапе эксплуатации. Целесообразность таких затрат определяется заказчиком с учетом условий его применения. Так, например, для объектов, эксплуатирующихся в стационарных условиях, целесообразно в максимально возможной степени обеспечить их ремонтпригодность; для объектов, практически необслуживаемых, эксплуатируемых в удаленных режимах, необходимо применять высоконадежные компоненты, схемы дублирования и другие решения, обеспечивающие максимальную наработку на отказ. Другими словами, ремонтпригодность является важным свойством объекта, определяющим его показатели надежности. При этом допускается, что объект даже с высокими показателями надежности может быть неремонтпригоден.

*Долговечность* - это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Под предельным состоянием понимается такое состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Природа предельного состояния объекта может быть различна, например, физический износ, недопустимое снижение эффективности работы, требования безопасности эксплуатации, моральное старение.

Когда говорят о долговечности, то имеют в виду либо ресурс, либо срок службы.

Ресурс – это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. Другими словами,

срок службы равен ресурсу плюс суммарное время простоя объекта.

*Сохраняемость* - это свойство объекта обеспечивать в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и/или транспортирования.

На практике, говоря о надёжности объектов, чаще всего имеют в виду понятия безотказности и ремонтпригодности

С понятием неработоспособного состояния связано очень важное, основополагающее понятие теории надёжности – понятие *отказа*. Если не определить это понятие, то все дальнейшие рассуждения о надёжности вообще становятся бессмысленными.

*Отказ* – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Общее определение отказа для каждого объекта конкретизируется с помощью такого понятия, как критерий отказа.

*Критерий отказа* – это признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта.

Работоспособное состояние объекта характеризует его способность выполнять заданные функции. Следовательно, конкретизация понятия отказа (формирование критерия отказа) заключается в следующем:

- определяется перечень функций, для выполнения которых создавался данный объект, и прекращение выполнения которых приводит к нарушению работоспособного состояния объекта (делает бессмысленным дальнейшую эксплуатацию объекта);

- оговариваются режимы функционирования и условия эксплуатации объекта.

Отметим, что чаще всего объекты создаются как многофункциональные и не все функции равнозначны с точки зрения достижения конечного результата функционирования объекта, поэтому выбор функций, включаемых в критерий отказа – процесс творческий. Следует учитывать, что от сделанного выбора может зависеть и стоимость создания объекта.

Критерий отказа указывается в нормативной документации на объект.

## 1.2 Количественные показатели безотказности и ремонтпригодности

Выше приведены качественные определения ряда понятий и терминов, используемых в теории надёжности. Говоря о надёжности конкретной сложной системы невозможно обойтись без количественных характеристик тех свойств, которые описывают эти определения и понятия.

Под сложной системой понимается объект, предназначенный для выполнения заданных функций, который может быть расчленён на элементы (компоненты), каждый из которых также выполняет определённые функции и находится во взаимодействии с другими элементами системы.

Из всего множества показателей надёжности [48] рассмотрим те, которые наиболее часто используются при исследовании вопросов надёжности таких сложных систем, как информационно-телекоммуникационные системы (ИТС) [33].

Технические средства комплексов средств автоматизации (КСА) ИТС, чаще всего, представляют собой стационарную, устанавливаемую в отапливаемых наземных сооружениях ремонтируемую аппаратуру, восстанавливаемую непосредственно после обнаружения отказа.

В качестве показателей надёжности таких технических средств и КСА в целом наиболее удобными являются следующие показатели [8].

В качестве *показателя безотказности* - среднее время наработки на отказ и вероятность безотказной работы.

*Среднее время наработки на отказ* ( $T_0$ ) - определяется как математическое ожидание времени между соседними отказами объекта. Статистически средняя наработка на отказ (среднее время наработки на отказ) определяется как

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{n}, \quad (1.1)$$

где:  $n$  – количество отказов объекта;  $t_{oi}$  – наработка объекта между  $i - 1$  и  $i$ -м отказами.

Среднее время наработки на отказ (часто на практике – наработка на отказ) применяется для изделий, работоспособность которых может быть восстановлена в случае появления отказов.

Эксплуатация таких изделий описывается следующим образом: в начальный момент времени изделие начинает работать и работает до первого отказа; после отказа происходит восстановление работоспособности и изделие вновь работает до отказа и т.д.

*Вероятность безотказной работы*  $P(t)$  элемента за время  $t$  - это вероятность того, что в пределах заданной наработки на отказ, отказ объекта не возникнет:  $P(t) = P(\xi \geq t)$  [58].

Вероятность безотказной работы можно приближенно найти из следующего опыта. Пусть на испытания поставлено  $N$  одинаковых элементов (все элементы испытываются при одинаковых условиях в течение времени  $t$ ) и к моменту окончания испытаний не отказало  $n$  элементов. Можно рассматривать проводимый опыт как серию из  $N$  независимых испытаний, при каждом из которых происходит одно из двух событий: элемент или отказывает, или не отказывает. Тогда отношение  $\frac{n}{N}$  есть частота появления второго события и при  $N \rightarrow \infty$  с вероятностью единица  $\frac{n}{N} \rightarrow P(t)$  [2]. Это означает, что при большом  $N$  с вероятностью, близкой к единице:

$$\frac{n}{N} \approx P(t). \quad (1.2)$$

В качестве показателя ремонтпригодности – *среднее время восстановления* ( $T_B$ ). Время восстановления – это продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта. Время восстановления отсчитывается от момента начала проявления отказа (при условии, что в этот момент начинается устранение отказа) до момента окончания восстановления работоспособности объекта. Время восстановления равно сумме времён, затрачиваемых на обнаружение и устранение отказа, а также на проведение необходимых отладок и проверок, чтобы убедиться в восстановлении работоспособности объекта.

В свою очередь время обнаружения причины отказа зависит от наличия и степени охвата оборудования средствами диагностики и от квалификации обслуживающего персонала. Время устранения отказа зависит от того программный отказ или аппаратный, от наличия и полноты ЗИП и других факторов. Как видно из перечисленного, время восстановления зависит как от объективных факторов, так и от субъективных, оценить которые в

полном объеме на начальных этапах создания объекта (до этапа проведения испытаний) представляется затруднительным.

Время восстановления - определяется как математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа. Статистически среднее время восстановления определяется как

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ei}}{n}, \quad (1.3)$$

где:  $n$  – количество отказов объекта;  $t_{ei}$  – время восстановления  $i$ -го отказа.

Помимо единичных показателей, характеризующих только одно свойство, входящее в понятие надёжности, существуют комплексные показатели. Среди таких показателей наиболее часто используется *коэффициент готовности*.

Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

Коэффициент готовности, который зависит от произвольного, но фиксированного момента времени  $t$ , является функцией времени и его обозначают  $K_r(t)$ . Как правило, используют стационарное значение коэффициента готовности, который определяется при  $t \rightarrow \infty$   $K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} K_r(t)$ .

Физический смысл коэффициента готовности – это доля времени на достаточно большом интервале, когда объект был работоспособен

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_e}. \quad (1.4)$$

Коэффициент готовности может быть записан в другом виде:

$$K_r = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \text{ или } K_r = \frac{1}{1 + \alpha},$$

где  $\lambda = 1/T_o$ ,  $\mu = 1/T_B$ ,  $\alpha = T_B/T_o$ . Из последней формулы следует, что коэффициент готовности зависит не от абсолютных значений  $T_o$  и  $T_B$ , а от их соотношения.

Выражение  $\lambda = 1/T_o$  является единичным показателем надёжности и обозначает интенсивность отказов элемента в каж-

дый данный момент времени. По аналогии  $\mu = 1/T_v$  обозначает интенсивность восстановлений.

### 1.3 Эквивалентная схема для расчета надежности

ИТС является сложной системой, состоящей из информационных систем и связывающей их телекоммуникационной сети.

В свою очередь информационные системы и телекоммуникационная сеть состоят из отдельных элементов (серверов, АРМ, периферийного и телекоммуникационного оборудования, линий связи, систем охлаждения и электропитания и т.п.), каждый из которых выполняет определённые функции и находится во взаимодействии с другими элементами системы.

Решение задачи оценки надежности такой системы возможно после ее предварительного структурно-логического анализа, который позволяет оценить основные характеристики надежности системы в целом, исходя из ее структурных особенностей, характера функционирования и взаимодействия составных частей, их влияния на надежность системы в целом [59].

Влияние различных отказов и снижение работоспособности элементов системы по-разному скажутся на надёжности системы. При анализе надёжности сложной системы все её элементы и компоненты целесообразно разделить на следующие группы:

1) элементы, отказ которых практически не влияет на работоспособность системы (деформация ограждающего кожуха, изменение окраски поверхности и т.п.);

2) элементы, работоспособность которых за рассматриваемый период времени практически не изменяется (корпусные детали, малонагруженные элементы с большим запасом прочности);

3) элементы, ремонт или регулировка которых возможна при работе изделия или во время остановок, не влияющих на его эффективность (при определенных условиях периферийное оборудование, источники бесперебойного питания и др.);

4) элементы, отказ которых приводит к отказам системы.

Таким образом, анализу подлежат лишь элементы последней группы, и имеется ограниченное число элементов, которые, в основном, и определяют надежность изделия и служат объектом рассмотрения.

Надёжность сложной системы определяется не только надёжностью составляющих её элементов, но также зависит и от структуры, точнее, от её надёжной структуры. В связи с этим, вводится такое базовое понятие как *эквивалентная схема для расчета надежности* [1].

Под *эквивалентной схемой для расчета надежности* («надёжной структурой», «структурной схемой надёжности») системы понимается логическое соединение элементов в таком виде, из которого следовало бы определение отказа системы [1].

Для составления надёжной структуры исследуемой системы необходимо:

- провести анализ её состава, структуры и функционального назначения;
- сформулировать понятие её отказа;
- разделить систему на блоки так, чтобы определить логику их взаимодействия в системе, при этом каждый блок должен быть статистически независимым и максимально большим;
- используя определение отказа системы, построить структурную схему, в которой комбинации блоков выстраиваются в порядке, обеспечивающем функционирование системы.

Кроме того, следует учитывать, что в нормальном режиме функционирования аппаратно-программные средства (АПС) КСА выполняют все возлагаемые на них функции, а отказ одного из компонентов КСА не всегда означает отказа всего комплекса. Это объясняется рядом причин [27]:

- разные группы пользователей могут использовать для своей работы различное оборудование, и выход из строя оборудования, не относящегося к данной группе, не приводит к отказу выполнения функции возлагаемых на эту группу;
- ряд аппаратно-программных средств, по выполняемым функциям, дублируют друг друга и могут рассматриваться в качестве взаимного резерва;
- АПС входящие в состав КСА выполняют различные функции, которые могут быть разделены на основные и вспомогательные. Выход из строя АПС не влияющих на выполнение основных функций не приводит к отказу КСА в целом.

Последовательность действий при составлении надежной структуры рассмотрим на примере оценки надёжности комплекса средств автоматизации объекта, представленного на рисунке 1.1:

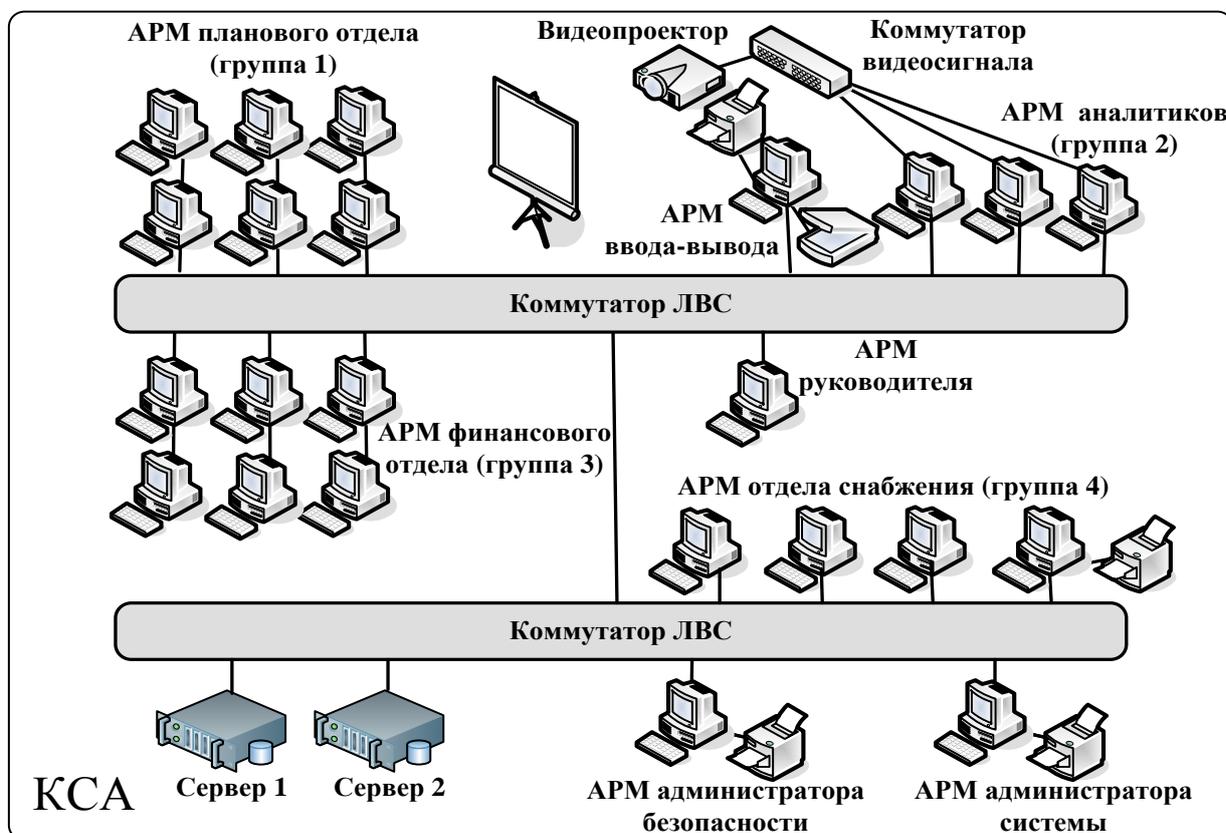


Рисунок 1.1. Структурная схема комплекса средств автоматизации объекта

1) Проведем структурно-логический анализ рассматриваемого КСА.

В состав КСА объекта входят два сервера, 4 группы автоматизированных рабочих мест (АРМ), 4 отдельных АРМ (руководителя, администратора безопасности, системного администратора и ввода-вывода) и ряд других устройств (коммутатор видеосигнала, видеопроектор, отдельные периферийные устройства) объединённые локальной вычислительной сетью (ЛВС).

2) Сформулируем понятие «отказ» КСА.

Под *отказом* рассматриваемого комплекса средств автоматизации будем понимать событие, заключающееся в прекращении КСА выполнения функциональных задач по причине неисправности аппаратно-программных средств и требующее для восстановления процесса функционирования, проведения ремонтных работ с привлечением обслуживающего персонала в ин-

тересах: руководства, пользователей планового отдела, финансового отдела, отдела снабжения и АРМ ввода-вывода.

3) В надёжностную структуру включаем оборудование, обеспечивающее выполнение основного функционального предназначения объекта, указанного в критерии отказа. Выход из строя оборудования, не влияющего на выполнение этих функций, в схему для расчета надежности не включаем. Так в формулировке понятия «отказ» отсутствуют упоминания об АРМ аналитиков (группа 2), коммутаторе видеосигнала и видеопроекторе, следовательно, при составлении «надёжностной структуры» их не учитываем (полагаем, что это оборудование выполняет вспомогательные функции, и его работоспособность не влияет на надежность КСА).

4) В состав первой группы включены 6 АРМ, которые внутри своей группы выполняют одинаковые функции, пользуются единым ресурсом аппаратного оборудования и программных средств КСА и пока работоспособен хотя бы один АРМ в этой группе считаем, что КСА работоспособен. Если произошло одномоментное нарушение работоспособности всех 6 АРМ, то считаем, что произошел отказ КСА. Следовательно, все АРМ в каждой группе резервируют друг друга и в эквивалентную схему включаются параллельно. Аналогично с группами 3 и 4 АРМ.

5) АРМ ввода-вывода и АРМ руководителя выполняют специфические (присущие только им) функции, и нарушение их работоспособности приведет (согласно принятого критерия отказа) к отказу КСА. Поэтому данные АРМ включены в «эквивалентную схему» последовательно.

6) В определении понятия «отказ» ничего не говорится о серверах. При выборе способов включения серверов в эквивалентную схему будем исходить из следующих предположений. С точки зрения длительности времени восстановления КСА наиболее критичным является время восстановления сервера. С целью минимизации времени восстановления КСА считаем, что указанные серверы выполняют одинаковые функции и резервируют друг друга в режиме «горячего» резерва.

7) Технологические АРМ (администратора безопасности и системного администратора), в зависимости от степени их влия-

ния на функционирование основных АПС, могут включаться или не включаться в эквивалентную схему.

8) Коммутаторы ЛВС функционируют в интересах всех пользователей, и выход из строя любого из них приведет к отказу КСА.

Основываясь на изложенном, составим эквивалентную схему для расчёта надёжности, рассматриваемого КСА (рисунок 1.2).

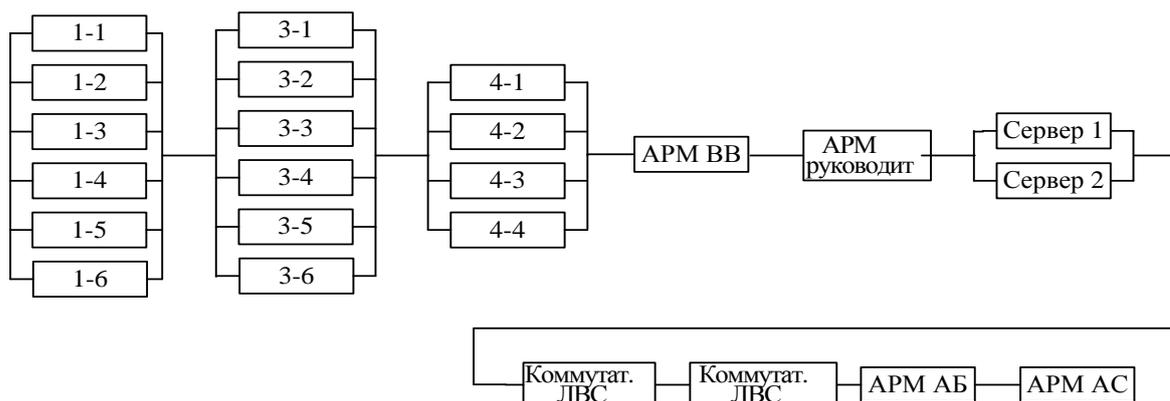


Рисунок 1.2. Эквивалентная схема для расчёта надёжности КСА (пример)

Используя полученную схему можно провести оценку надёжности рассматриваемого КСА.

Расчет надёжности технических систем по безотказности обычно проводится в предположении, что вся система и каждый ее элемент могут находиться только в одном из двух возможных состояний – работоспособном и неработоспособном, и отказы элементов независимы друг от друга.

Рассмотрим методические подходы к оценке надёжности сложных систем, аналогичных рассмотренному КСА.

#### 1.4 Оценка надёжности типовых вариантов структурного построения системы

Расчёт надёжности сложной системы сводится к вычислению необходимых показателей надёжности системы на основе известных показателей надёжности элементов, составляющих систему.

Рассмотрим основные расчетные соотношения, используемые при оценке надёжности типовых вариантов структурного построения системы [76]:

1) Система, состоит из  $n = 3$  *последовательно* соединённых элементов (рисунок 1.3).

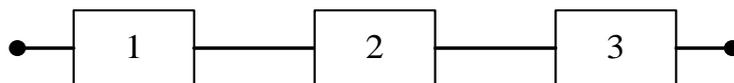


Рисунок 1.3. Последовательное соединение элементов

При таком соединении отказ любого из элементов приводит к отказу системы.

Система работоспособна, если работоспособны элементы 1 и 2 и 3. Если обозначить вероятность работоспособности элемента  $p_i(t)$ , то результирующая вероятность работоспособности системы [3]:

$$P_p(t) = p_1(t) \times p_2(t) \times p_3(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) \quad (1.5)$$

Интенсивность отказа системы ( $\lambda_c$ ), состоящей из последовательно соединённых и независимо отказывающих элементов, равна сумме интенсивностей отказов элементов [2]

$$\lambda_c = \sum_{j=1}^n \lambda_j, \quad (1.6)$$

где  $\lambda_j$  – интенсивность отказов  $j$ -го элемента.

В случае экспоненциального распределения для средних времён безотказной работы системы  $T_{oc}$  и  $k$ -го элемента  $T_{ok}$  получаем:

$$T_{oc} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{T_{ok}}},$$

или для случая одинаковой средней наработки всех  $n$  элементов  $T_{oc} = T_{ok}/n$ .

Следует отметить, что последовательное соединение в теории надёжности часто не совпадает с последовательным соединением элементов в структурной схеме. В надёжностную структуру последовательно включаются все элементы, отказ которых приводит к отказу системы. Например, если электрические конденсаторы соединены параллельно, то отказ одного конденсатора из-за пробоя приводит к отказу всей схемы. Это означает, что с позиции теории надёжности конденсаторы соединены последовательно.

2) Система состоит из *параллельно* соединённых элементов (рисунок 1.4).

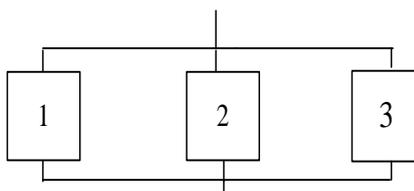


Рисунок 1.4. Параллельное соединение элементов

При таком соединении система работоспособна, если работоспособны элементы 1 или 2 или 3, или работоспособны элементы 1 и 2, или 1 и 3, или 2 и 3, или элементы 1 и 2 и 3. Отсюда можно записать [60]:

$$P_p = p_1 + p_2 + p_3 - (p_1 \times p_2 + p_1 \times p_3 + p_2 \times p_3) + p_1 \times p_2 \times p_3$$

Полученное правило для определения суммарной вероятности безотказной работы для структурной схемы с параллельно соединенными элементами трудно распространить на случай, когда число соединенных элементов больше трех. Поэтому, для получения результата чаще пользуются правилом, в котором рассматриваются неработоспособные состояния системы и элементов [2]:

$$Q_p(t) = q_1(t) \times q_2(t) \times q_3(t) = \prod_{i=1}^n q_i(t).$$

Окончательно, вероятность безотказной работы  $n$  параллельно соединенных элементов будет равна:

$$P_p(t) = 1 - Q_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n q_i(t) \quad (1.7)$$

Полагая, что  $T_o \gg T_b$ , все элементы одинаковые ( $\lambda_k = \lambda$ ) и что отказы элементов независимы между собой, будем считать [2]:

$$T_{op} = \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} = T_o \left( 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n} \right). \quad (1.8)$$

где  $T_o$  – среднее время безотказной работы одного элемента.

Также отметим, что параллельное соединение в теории надёжности часто не совпадает с параллельным соединением элементов в структурной схеме. Параллельно соединяются такие элементы, которые взаимно резервируют друг друга, с точки зрения исполняемых функций.

3) На практике надёжная структура сложной системы является, чаще всего, комбинацией последовательно-параллельных соединений элементов. При расчёте показателей безотказности системы со *смешанным соединением элементов* её необходимо разбить на такие части, каждая из которых представляет собой последовательное или параллельное соединение элементов.

4) Существуют сложные реальные системы, которые не могут быть представлены в виде последовательного, параллельного или смешанного соединения элементов. Такие системы относятся к системам с произвольной (монотонной) структурой [1, 5]. Примером такой системы является мостиковая схема, состоящая из  $n = 5$  элементов (рисунок 1.5).

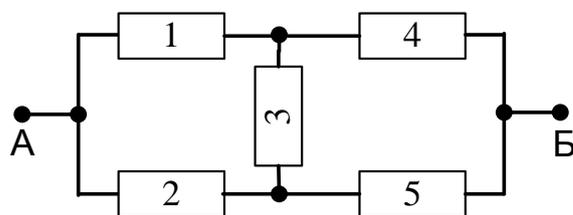


Рисунок 1.5. Мостиковая схема

На методах оценки надёжности систем с произвольной структурой остановимся подробнее.

## 1.5 Оценка надёжности систем произвольной структуры

Для расчёта показателей безотказности систем произвольной структуры разработан ряд точных и приближенных методов [1, 3-5, 8, 60-66].

Рассмотрим наиболее известные из них для использования при изложении последующего материала.

### 1.5.1 Метод прямого перебора состояний элементов системы

Произвольная система, состоящая из  $n$  элементов, каждый из которых может находиться в состоянии работоспособности и в состоянии отказа, может находиться в  $2^n$  различных состояниях [5, 51, 65]:

$H_0$  – все  $n$  элементов работоспособны;

$H_i$  – отказал  $i$ -й элемент, остальные работоспособны;

$H_{ij}$  – отказали  $i$ -й и  $j$ -й элементы, остальные работоспособны;

$H_{1,2, \dots, n}$  – отказали все элементы.

Если каким-либо образом определен критерий отказа системы, то все множество ее состояний можно разделить на два подмножества: подмножество состояний работоспособности  $F$  и подмножество состояний отказа  $\Omega$ . Тогда, если для каждого состояния  $H_a$  вычислить вероятность его появления  $P_a$ , то вероятность состояния работоспособности системы в целом можно записать как

$$P\{H_a \in F\} = \sum_{H_a \in F} P_a \quad (1.9)$$

Если система состоит из  $n$  взаимно независимых элементов, то вероятности соответствующих состояний вычисляются по формулам:

$$P_0 = \prod_{i=1}^n p_i; \quad P_i = q_i \prod_{\substack{i=1 \\ k=i}}^n p_k = \frac{q_i}{p_i} P_0 = \gamma_i P_0;$$

$$P_{i,j} = q_i q_j \prod_{\substack{i=1 \\ k=i,j}}^n p_k = \gamma_i \gamma_j P_0; \quad P_{1,2,\dots,n} = P_0 \prod_{i=1}^n \gamma_i = \prod_{i=1}^n q_i,$$

где  $p_i$  и  $q_i$  - вероятности состояния работоспособности и неработоспособности  $i$ -го элемента системы;  $\gamma_i = \frac{q_i}{p_i}$ .

*Вывод: Чтобы найти вероятность безотказной работы системы с произвольной структурой, необходимо сложить вероятности всех работоспособных состояний системы.*

Если  $p_i$  - коэффициент готовности  $i$ -го элемента, то вероятность  $P$  является коэффициентом готовности системы в целом.

Рассмотрим пример. Мостиковая схема (рис. 1.5) состоит из идентичных элементов, каждый из которых характеризуется вероятностью безотказной работы  $p(t) = 0,9$ . Требуется найти вероятность безотказной работы схемы.

Решение. Составим таблицу возможных состояний (таблица 1.1) и по рисунку 5 непосредственно определяем, к какому из подмножеств  $F$  или  $\Omega$  относится то или иное состояние. В таблице  $x_i = 1$  означает, что  $i$ -й элемент исправен, а  $x_i = 0$  – что он неисправен.

Таким образом

$$P(t) = p^5(t) + 5q(t) p^4(t) + 8q^2(t) p^3(t) + 2q^3(t) p^2(t) \quad (1.10)$$

При  $p = 0,9$  и, соответственно,  $q = 1 - p = 0,1$  получаем  $P(t) = 0,97848$ .

Достоинством метода перебора состояний элементов является его простота. Он относительно легко программируется. Недостатком является громоздкость. Система, состоящая из  $n$  элементов, будет иметь  $2^n$  различных состояний и с увеличением

Таблица 1.1 Возможных состояний элементов системы

Индекс состояния а	Состояние элементов					Вид подмножества F, Ω	Вероятность состояния P <sub>a</sub>
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>		
0	1	1	1	1	1	F	p <sup>5</sup>
1	0	1	1	1	1	F	qp <sup>4</sup>
2	1	0	1	1	1	F	qp <sup>4</sup>
3	1	1	0	1	1	F	qp <sup>4</sup>
4	1	1	1	0	1	F	qp <sup>4</sup>
5	1	1	1	1	0	F	qp <sup>4</sup>
12	0	0	1	1	1	Ω	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
13	0	1	0	1	1	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
14	0	1	1	0	1	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
15	0	1	1	1	0	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
23	1	0	0	1	1	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
24	1	0	1	0	1	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
25	1	0	1	1	0	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
34	1	1	0	0	1	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
35	1	1	0	1	0	F	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
45	1	1	1	0	0	Ω	q <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
134	0	1	0	0	1	F	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>
135	0	1	0	1	0	Ω	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>
145	0	1	1	0	0	Ω	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>
234	1	0	0	0	1	Ω	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>
235	1	0	0	1	0	F	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>
245	1	0	1	0	0	Ω	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>
345	1	1	0	0	0	Ω	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>
1345	0	1	0	0	0	Ω	q <sup>3</sup> p <sup>2</sup>

числа элементов этот метод расчета структурной надежности становится трудно реализуем для ручного счета (например, при  $n=10$  число состояний сети превысит 1000), а с последующим увеличением  $n$  быстро исчерпываются и возможности ЭВМ.

В [9] представлен метод ускоренной процедуры оценки показателей надежности сложных систем.

### 1.5.2 Метод разложения сложной структуры по базовому элементу

Этот способ преобразования сложных структурных схем надежности основан на использовании теоремы о сумме вероятностей несовместных событий [60].

В соответствии с этой теоремой, если  $A$  и  $B$  не совместные события, а событие  $C=A+B$ , то справедливо равенство

$$P(C) = P(A+B) = P(A) + P(B) \quad (1.11)$$

В сложной структурной схеме *выбирают базовый элемент или группу базовых элементов*, которые не позволяют применить для преобразования структурной схемы основные правила преобразования параллельно-последовательных структур.

Для выбранных элементов делают следующие допущения:

1. Базовый элемент находится в работоспособном состоянии на всем интервале времени (через него проходит сигнал), вероятность безотказной работы элемента  $P(t) = 1$ , при  $0 \leq t \leq \infty$ . Такой элемент на структурной схеме надежности может быть заменен «перемычкой».

2. Базовый элемент находится в неработоспособном состоянии на всем интервале времени (через него не проходит сигнал), вероятность безотказной работы элемента  $P(t) = 0$ , при  $0 \leq t \leq \infty$ . Такой элемент на структурной схеме надежности может быть «исключен».

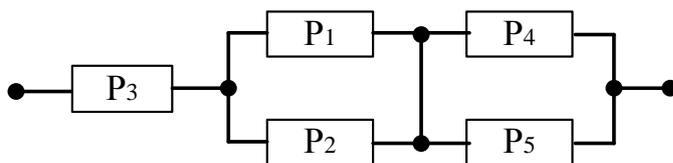
Для этих случаев, представляющих собой два несовместных события, исходная схема надежности преобразуется в две новые схемы.

Рассмотрим для примера мостиковую схему, представленную на рисунке 1.5.

Очевидно, структурная схема надежности, соответствующая первому допущению (событие  $A$ ), должна быть дополнена *последовательно включенным звеном, имеющим вероятность безотказной работы базового элемента*, как показано на рисунке 1.6А.

Структурная схема надежности, соответствующая второму допущению (событие  $B$ ), должна быть дополнена *последовательно включенным звеном, имеющим вероятность отказа базового элемента* (рисунок 1.6В).

а) событие  $A$



б) событие В

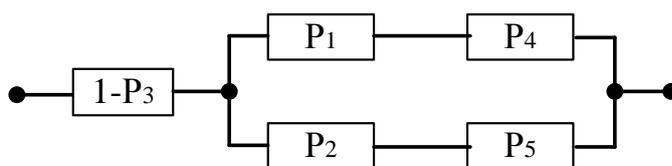


Рисунок 1.6. «Предельные» структурные схемы надежности

Для указанных допущений находятся формулы для вероятностей безотказной работы каждой из схем:

$$P(p_3=1) = p_3[1 - (1-p_1)(1-p_2)] [1 - (1-p_4)(1-p_5)];$$

$$P(p_3=0) = (1-p_3)[1 - (1-p_1 p_4)(1-p_2 p_5)].$$

Затем проводится их суммирование и получается итоговая формула для вероятности безотказной работы сложной структурной схемы надежности:

$$P = p_3[1 - (1-p_1)(1-p_2)] [1 - (1-p_4)(1-p_5)] + (1-p_3) \times \\ \times [1 - (1-p_1 p_4)(1-p_2 p_5)] \quad (1.12)$$

Легко убедиться, что для идентичных по надежности элементов формула (1.12) совпадает с формулой (1.10).

### 1.5.3 Методики расчета мажоритарных систем («m из n»)

Мажоритарную систему (систему «m из n») можно рассматривать как вариант системы с параллельным соединением, отказ которой произойдет, если из n элементов, соединенных параллельно, работоспособными окажутся менее m элементов.

На рисунке 1.7 представлена мажоритарная система «2 из 5», которая работоспособна, если из пяти ее элементов работоспособны любые два, три, четыре или все пять.

Системы типа «m из n» наиболее часто встречаются в электрических и радиосхемах, а также при структурном резервировании.

Для расчета надежности систем типа «m из n» можно использовать различные методы. При сравнительно небольшом количестве элементов можно воспользоваться *методом прямого перебора*, который заключается в определении работоспособности каждого из всех возможных состояний системы.

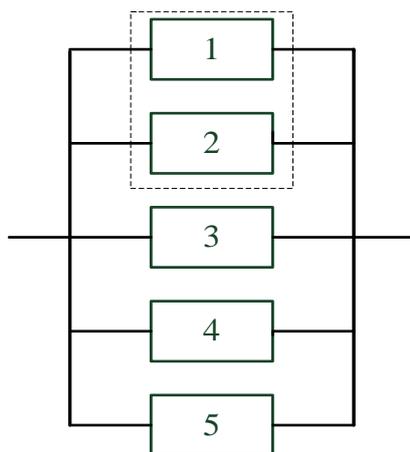


Рисунок 1.7. Мажоритарная система «2 из 5»

Все возможные состояния системы « $m$  из  $n$ » занесены в таблицу 1.2. Работоспособные состояния элементов и системы в целом отмечены значком «+», неработоспособные значком «-».

Очевидно, для данной системы работоспособность определяется лишь количеством работоспособных элементов. По теореме умножения вероятностей, вероятность любого состояния системы определяется как произведение вероятностей состояний ее элементов. Например, в строке 9 описано состояние системы, в которой отказали элементы 2 и 5, а остальные находятся в работоспособном состоянии.

Так как условие «2 из 5» выполняется, то система находится в работоспособном состоянии и его вероятность  $P_9 = p_1q_2r_3r_4q_5 = p^3q^2$  (предполагается, что все элементы идентичны по надежности).

Количество неработоспособных состояний оказалось меньше количества работоспособных (соответственно 6 из 26), поэтому проще рассчитать вероятность отказа.

По теореме сложения вероятностей для этого необходимо сложить вероятности неработоспособного состояния системы:

$$\begin{aligned} Q &= q^5 + 5pq^4 = (1 - p)^5 + 5p(1 - p)^4 = \\ &= 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5 \end{aligned} \quad (1.13)$$

Тогда вероятность безотказной работы

$$P = 1 - Q = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5 \quad (1.14)$$

Таблица 1.2. Таблица состояний мажоритарной системы «2 из 5»

№№ состо- яния	Состояние элементов					Состояние си- стемы	Вероятность состоя- ния системы
	1	2	3	4	5		
1	+	+	+	+	+	+	$p^5$
2	+	+	+	+	-	+	$p^4q = p^4(1-p)$
3	+	+	+	-	+	+	
4	+	+	-	+	+	+	
5	+	-	+	+	+	+	
6	-	+	+	+	+	+	
7	+	+	+	-	-	+	$p^3q^2 = p^3(1-p)^2$
8	+	+	-	+	-	+	
9	+	-	+	+	-	+	
10	-	+	+	+	-	+	
11	+	+	-	-	+	+	
12	+	-	+	-	+	+	
13	-	+	+	-	+	+	
14	+	-	-	+	+	+	
15	-	+	-	+	+	+	
16	-	-	+	+	+	+	
17	+	+	-	-	-	+	$p^2q^3 = p^2(1-p)^3$
18	+	-	+	-	-	+	
19	-	+	+	-	-	+	
20	+	-	-	-	+	+	
21	-	+	-	-	+	+	
22	-	-	-	+	+	+	
23	+	-	-	+	-	+	
24	-	+	-	+	-	+	
25	-	-	+	-	+	+	
26	-	-	+	+	-	+	
27	=	-	-	-	-	-	$pq^4 = p(1-p)^4$
28	-	+	-	-	-	-	
29	-	-	+	-	-	-	
30	-	-	-	+	-	-	
31	-	-	-	-	+	-	
32	-	-	-	-	-	-	$q^5 = (1-p)^5$

Очевидно, для данной системы работоспособность определяется лишь количеством работоспособных элементов. По теореме умножения вероятностей, вероятность любого состояния системы определяется как произведение вероятностей состояний ее элементов. Например, в строке 9 описано состояние системы, в которой отказали элементы 2 и 5, а остальные находятся в работоспособном состоянии.

Так как условие «2 из 5» выполняется, то система находится в работоспособном состоянии и его вероятность  $P_9 = p_1q_2p_3p_4q_5 = p^3q^2$  (предполагается, что все элементы идентичны по надежности).

Количество неработоспособных состояний оказалось меньше количества работоспособных (соответственно 6 из 26), поэтому проще рассчитать вероятность отказа.

По теореме сложения вероятностей для этого необходимо сложить вероятности неработоспособного состояния системы:

$$\begin{aligned} Q &= q^5 + 5pq^4 = (1 - p)^5 + 5p(1 - p)^4 = \\ &= 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5 \end{aligned} \quad (1.13)$$

Тогда вероятность безотказной работы

$$P = 1 - Q = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5 \quad (1.14)$$

Для расчета надежности систем типа « $m$  из  $n$ » можно воспользоваться *комбинаторным методом*, в основе которого лежит формула биномиального распределения.

Вероятность события, при котором из общего количества элементов  $n$  работоспособность сохраняют  $k$  элементов, составляет

$$P_k = C_n^k p^k (1 - p)^{n-k} \quad (1.15)$$

где  $C_n^k$  - биномиальный коэффициент из  $n$  по  $k$ :

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (1.16)$$

Если для сохранения работоспособности необходимо и достаточно, чтобы работоспособность сохраняли не менее  $m$  элементов из  $n$ , то для расчета надежности по теореме сложения вероятностей необходимо просуммировать вероятности состояний, обеспечивающих работоспособность:

$$P = \sum_{k=m}^n P_k = \sum_{k=m}^n C_n^k p^k (1 - p)^{n-k} \quad (1.17)$$

Для системы «2 из 5» (рисунок 1.7) по формуле (1.17) получим

$$P = C_5^2 p^2 (1 - p)^3 + C_5^3 p^3 (1 - p)^2 + C_5^4 p^4 (1 - p) + C_5^5 p^5 =$$

$$\begin{aligned}
 &= 10p^2(1-p)^3 + 10p^3(1-p)^2 + 5p^4(1-p) + p^5 = \\
 &= 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5 \quad (1.18)
 \end{aligned}$$

#### 1.5.4 Метод минимальных путей

*Минимальным путем* называется последовательный набор работоспособных элементов системы, которые обеспечивают ее работоспособность, а отказ любого из них приводит к ее отказу [65].

Минимальных путей в системе может быть один или несколько. Система с последовательным соединением имеет только один минимальный путь, включающий все ее элементы. В системе с параллельным соединением элементов число минимальных путей совпадает с числом элементов в системе.

Для мостиковой системы (рисунок 1.5) минимальных путей четыре: 1) элементы 1 и 4; 2) 2 и 5; 3) 1 и 3, 4; 4) 2, 3 и 4.

Логическая схема такой системы (рисунок 1.8) составляется таким образом, чтобы все элементы каждого минимального пути

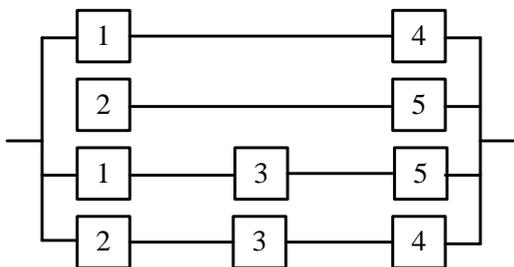


Рисунок 1.8. Логическая схема мостиковой системы (метод минимальных путей)

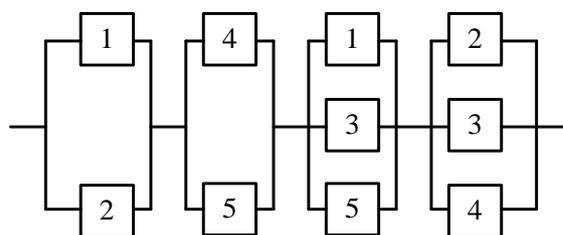


Рисунок 1.9. Логическая схема мостиковой системы (метод минимальных сечений)

были соединены друг с другом последовательно, а все минимальные пути – параллельно.

Затем для логической схемы составляется функция алгебры логики  $A_n$  по правилам расчета вероятности безотказной работы, но вместо символов вероятностей безотказной работы элементов  $p_i$  используются символы событий (сохранения работоспособности элемента)  $a_i$ :

$$A_n = 1 - (1 - a_1 a_4) (1 - a_2 a_5) (1 - a_1 a_3 a_5) (1 - a_2 a_3 a_4) \quad (1.19)$$

В выражении (1.19) переменные  $a_i$  рассматриваются как альтернативные (или булевы) и могут принимать только два значе-

ния: 1 или 0. Отсюда следует, что при возведении в степень любая переменная  $a_i$  сохраняет свое значение и  $a_i^n = a_i^{n-1} = \dots = a_i^2 = a_i$ . Воспользовавшись этим свойством, после преобразования выражения (1.19) получим функцию алгебры логики в виде

$$A_n = a_1a_4 + a_2a_5 + a_1a_3a_5 + a_2a_3a_4 - a_1a_2a_3a_4 - a_1a_2a_3a_5 - \\ - 2a_1a_2a_4a_5 - a_2a_3a_4a_5 + 2a_1a_2a_3a_4a_5 \quad (1.20)$$

Заменив в выражении (1.20) символы событий  $a_i$  их вероятностями  $p_i$ , получим уравнение для определения вероятности безотказной работы системы:

$$P_n = p_1p_4 + p_2p_5 + p_1p_3p_5 + p_2p_3p_4 - p_1p_2p_3p_4 - p_1p_2p_3p_5 - \\ - 2p_1p_2p_4p_5 - p_2p_3p_4p_5 + 2p_1p_2p_3p_4p_5 \quad (1.21)$$

Для идентичных по надежности элементов формула (1.21) легко преобразуется в формулу (1.10).

Дальнейшее развитие метода представлено в [9].

Метод минимальных путей дает точное значение вероятности безотказной работы только для сравнительно простых систем с небольшим числом элементов. Для более сложных систем метод дает только ее приближенную нижнюю оценку. Для расчета верхней оценки вероятности безотказной работы системы можно использовать метод минимальных сечений.

### 1.5.5 Метод минимальных сечений

Минимальным сечением называется последовательный набор неработоспособных элементов системы, отказ которых приводит к отказу системы, а восстановление любого из них – к восстановлению работоспособности.

Минимальных сечений в системе может быть один или несколько. Система с параллельным соединением имеет одно минимальное сечение, включающее все ее элементы, в системе с последовательным соединением число минимальных соединений совпадает с числом элементов и каждое сечение включает один из них.

Для мостиковой системы (рисунок 1.5) минимальных сечений четыре: 1) элементы 1 и 2; 2) 2 и 4; 3) 1, 3 и 5; 4) 2, 3 и 4. Логическая схема такой системы (рисунок 1.9) составляется таким образом, чтобы элементы каждого минимального сечения были

соединены друг с другом параллельно, а все минимальные сечения – последовательно.

Затем последовательность действий аналогична методу минимальных путей. Составляется функция алгебры логики:

$$A_0 = [1 - (1 - a_1)(1 - a_2)][1 - (1 - a_4)(1 - a_5)][1 - (1 - a_1)x \\ x(1 - a_3)(1 - a_5)] [1 - (1 - a_2)(1 - a_3)(1 - a_4)], \quad (1.22)$$

которая после преобразований с использованием свойств альтернативных переменных приобретает форму (1.20), после замены событий  $a_i$  их вероятностями  $p_i$  получаем выражение (1.21), которое для систем с элементами равной надежности приобретает вид (1.10).

Для сложных систем с целью получения оценочных границ вероятности безотказной работы методами минимальных путей и минимальных сечений целесообразно пользоваться совместно (метод интервальных оценок).

Ряд других аналитических методов оценки надежности систем произвольной структуры представлены в [59].

### 1.5.6 Метод статистических испытаний

Метод статистического моделирования или метод Монте-Карло [2] применяется для исследования поведения систем в условиях, когда неизвестны в полной мере внутренние взаимодействия в этих системах. Этот метод заключается в воспроизведении исследуемого физического процесса при помощи вероятностной математической модели и вычислении характеристик этого процесса. Одно такое воспроизведение функционирования системы называют реализацией (или испытанием). После каждого испытания регистрируют совокупность параметров, характеризующих случайный исход реализации.

Метод основан на многократном испытании построенной модели с последующей статистической обработкой полученных данных с целью определения числовых характеристик рассматриваемого процесса в виде статистических оценок его параметров. Процесс моделирования функционирования технической системы сводится к машинной имитации изучаемого процесса, который как бы копируется на ЭВМ со всеми сопровождающими его случайностями.

Метод статистического моделирования является универсальным и допускает рассмотрение систем с большим числом элементов. Однако при исследовании высоконадежных систем данный метод имеет существенный недостаток – большую трудоемкость и его использование в качестве метода исследования задач надежности целесообразно лишь тогда, когда трудно или невозможно получить аналитическое решение.

Проиллюстрируем реализацию метода статистических испытаний на примере мостиковой схемы.

Пусть задана сеть, изображенная на рисунке 1.10. Вероятности работоспособного состояния элементов сети указаны в квадратах.

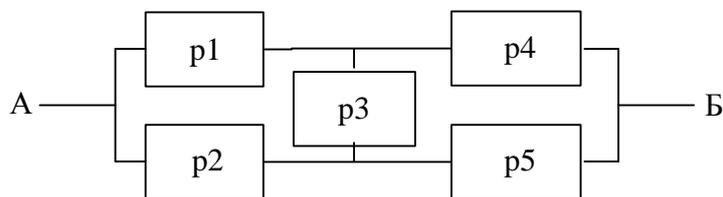


Рисунок 1.10 Схема оцениваемой сети

Необходимо оценить вероятность связности  $R_{AB}$  абонентов А и Б сети.

Решение:

1. От датчика случайных чисел получаем случайное число  $\xi_1$  в интервале  $0 < \xi < 1$ .

2. Сравниваем полученное число  $\xi_1$  с вероятностью работоспособного состояния первого элемента сети. Если  $\xi_1 > p_1$  то первый элемент считается неработоспособным, в противном случае работоспособен.

3. От датчика случайных чисел получаем новое случайное число  $\xi_2$  и сравниваем с вероятностью работоспособного состояния второго элемента сети. Если  $\xi_2 > p_2$ , то второй элемент считается неработоспособным, в противном случае работоспособен.

Аналогично поступаем со всеми остальными элементами сети. В результате таких действий получаем первую реализацию сети ( $i = 1$ ), в которой зафиксированы работоспособные и неработоспособные состояния элементов сети.

На полученной реализации определяем, существует ли хотя бы один путь передачи информации между абонентами А и Б. При необходимости можно ввести ограничения, которым должен

удовлетворять искомый путь (пропускная способность, временные ограничения и др.). Если такой путь существует, то считаем, что в  $i$ -й реализации получен положительный результат, если нет, то отрицательный.

Пусть после проведения  $i = n$  реализаций получено  $m$  положительных и  $k$  отрицательных результатов ( $n = m + k$ ). В таком случае искомую вероятность связности можно определить как  $P_{AB} = m/n$ .

Необходимое число реализаций  $n$ , обеспечивающее заданную точность и надежность результата, при определении вероятности события, в зависимости от доверительной вероятности  $\alpha$  и доверительного интервала  $2\varepsilon$  искомого параметра  $P_{AB} = p$  определяется выражением [69]:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2}{\varepsilon_p^2} p(1 - p), \quad (1.23)$$

где  $t_{\alpha}$  – параметр распределения Стьюдента, значения которого определяются из таблиц. Для практических целей можно использовать упрощенную таблицу 1.3.

Таблица 1.3 Параметр распределения Стьюдента -  $t_{\alpha}$

$\alpha \backslash n$	5	10	20	40	$\infty$
0,2	0,271	0,261	0,257	0,255	0,253
0,4	0,569	0,543	0,533	0,529	0,524
0,6	0,941	0,883	0,861	0,851	0,812
0,7	1,19	1,10	1,07	1,05	1,04
0,8	1,53	1,38	1,33	1,30	1,28
0,9	2,13	1,83	1,73	1,69	1,64
0,95	2,77	2,26	2,09	2,01	1,96
0,98	3,75	2,82	2,54	2,42	2,33
0,99	4,60	3,25	2,86	2,70	2,58

Так как до начала испытаний значение  $p$  неизвестно, то вначале целесообразно осуществить небольшое число реализаций ( $n_0 = 20 \div 30$ ). Затем, зная  $p$  и  $n_0$  по заданному  $\alpha$  найти  $t_{\alpha}$  (таблица 1.3). После чего по формуле (1.23) вычисляется необходимое значение  $n$ .

## 1.6 Оценка надёжности сложной системы

Большинство технических систем (комплексы средств автоматизации, ИТС в целом и др.) являются сложными системами,

состоящими из отдельных узлов, деталей, агрегатов, систем управления и т.п.

Анализ работоспособности сложной системы связан с изучением её структуры и тех взаимосвязей, которые определяют её надёжное функционирование.

Расчет надежности технических систем по безотказности обычно проводится в предположении, что вся система и каждый ее элемент могут находиться только в одном из двух возможных состояний – работоспособном и неработоспособном, и отказы элементов независимы друг от друга.

В зависимости от способа получения исходных данных методы оценки показателей надежности сложной системы подразделяются на расчетные, экспериментальные и расчетно-экспериментальные.

*Расчетные методы* основаны на вычислении показателей надежности изделия по справочным данным о надежности его составных частей с учетом функциональной структуры изделия, по данным о надежности изделий-аналогов, по результатам экспертной оценки надежности и по другой информации имеющейся к моменту расчета надежности. Подробно, основные положения по расчету надежности технических объектов, изложены в ГОСТ 27.301-95 [49]. Наиболее широко расчетные методы используются на этапах эскизного и технического проектирования ИТС и ее элементов.

*Экспериментальные методы* основаны на использовании статистических данных, накопленных при испытаниях изделия или в ходе его эксплуатации. Экспериментальные методы, согласно ГОСТ 27.410-87 [70], являются основными для контроля показателей надежности.

*Расчетно-экспериментальные методы* основаны на определении показателей надежности элементов экспериментальным методом, а показателей надежности системы в целом – с использованием математической модели.

Исходными данными для расчетно-экспериментального метода служат:

- информация о надежности изделия, полученная в ходе предшествующих испытаниям или эксплуатации;

- экспериментальные значения единичных показателей надежности, определяющих контролируемый комплексный показатель надежности;

- экспериментальные значения показателей надежности составных частей изделия, полученные на испытаниях, а также при испытаниях или эксплуатации в составе другого изделия.

Метод контроля показателей надежности выбирают с учетом:

- видов работ на стадиях жизненного цикла изделия;
- заданной номенклатуры и норм показателей надежности;
- особенностей конструкции и функционирования изделия;
- возможности выделения необходимого числа образцов, для испытаний на надежность;

- технических возможностей и оснащенности испытательной базы;

- ограничений по продолжительности и стоимости испытаний на надежность.

Прежде чем приступить к оценке надежности сложной системы следует предварительно провести ее структурно-логический анализ и составить эквивалентную схему для расчета надежности рассматриваемой системы [59]. Затем проанализировать возможность преобразования рассматриваемой сложной структуры, т. е. сделать ее более простой и удобной для проведения расчетов. В этих случаях целесообразно предварительно произвести декомпозицию системы, разбив ее на подсистемы – группы элементов, методика расчета надежности которых известна. Наиболее удобными являются структуры, состоящие из последовательно или параллельно соединенных элементов.

Затем эти подсистемы в схеме надежности заменяются элементами с характеристиками, равными характеристикам этих подсистем. При необходимости эту процедуру можно провести несколько раз до тех пор, пока оставшиеся элементы не образуют систему, методика расчета надежности которой известна.

Например, в системе на рисунке 1.11 элементы 2 и 5, 4 и 7, 9 и 12, 11 и 14 попарно образуют друг с другом последовательное соединение, элементы 15, 16, 17, 18 и 3, 6, 8, 10, 13 – параллельное. Заменяв эти группы элементов элементами, соответственно А, В, С, D, Е и F, получим преобразованную систему (рис 1.12а),

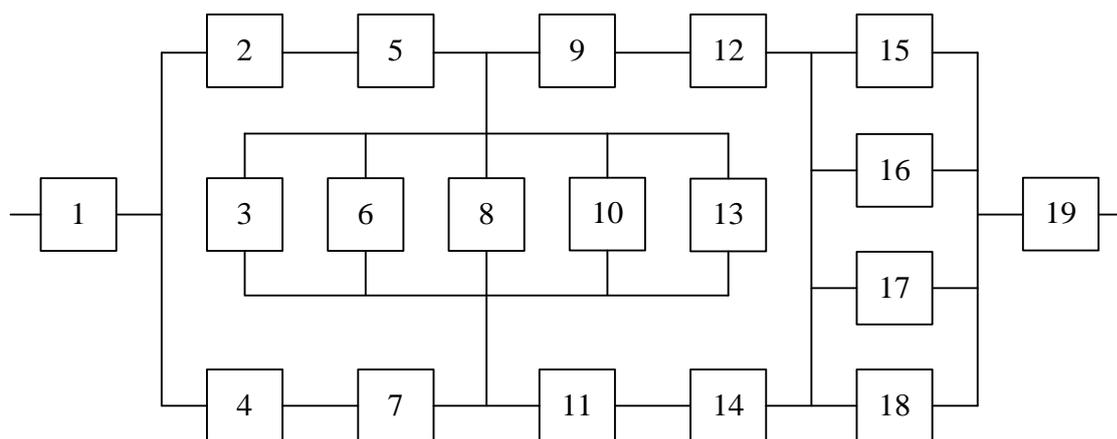


Рисунок 1.11. Исходная комбинированная система

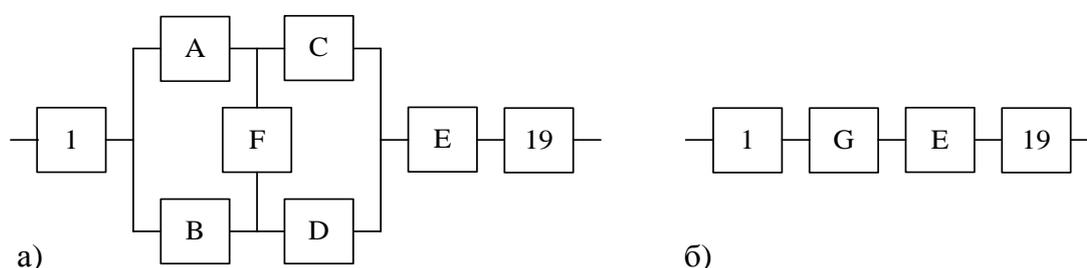


Рисунок 1.12. Преобразования комбинированной системы

в которой, в свою очередь, элементы A, B, C, D, F образуют мостиковую схему, заменив которую квазиэлементом G получим систему (рисунок 1.12б), в котором все элементы образуют последовательное соединение. Теперь можно по известным формулам или с использованием известных методов (подразделы 1.4 и 1.5) последовательно рассчитать вероятности безотказной работы всех подсистем и системы в целом.

В общем случае оценку надёжности сложной системы рекомендуется проводить в следующем порядке.

1. Формируется понятие отказа. Прежде чем приступить к расчету надёжности, необходимо четко сформулировать, что следует понимать под отказом системы и выделить для расчета только те элементы, которые ведут к ее отказу. В частности, по всем элементам следует задать вопрос, что произойдет с системой, если откажет определенный элемент? Если с отказом такого элемента система отказывает, то в системе анализируемый элемент включается последовательно (относительно схемы расчета надёжности).

2. Составляется структурная схема расчета надёжности. Схему расчета надёжности целесообразно составлять таким обра-

зом, чтобы элементами расчета были конструктивно оформленные блоки (звенья), которые имеют свои показатели надежности.

3. Выбирается метод расчета надежности. В соответствии с видом расчета надежности выбираются расчетные формулы.

4. Производится декомпозиция системы (разбитие ее на подсистемы – группы элементов, методика расчета надежности которых известна).

5. Затем эти подсистемы в схеме надежности заменяются элементами с характеристиками, равными характеристикам этих подсистем. При необходимости эту процедуру можно провести несколько раз до тех пор, пока оставшиеся элементы не образуют систему, методика расчета надежности которой известна.

5. Рассчитываются количественные характеристики надежности системы.

6. Результаты расчетов оформляются в виде технического отчета, который должен содержать:

1) структурную схему надежности с кратким пояснительным текстом;

2) формулировку понятия отказа системы;

3) расчетные формулы для определения количественных показателей надежности;

4) расчет показателей надежности, сведенный в таблицы и графики;

5) выводы и рекомендации.

Один из возможных методических подходов к оценке надёжности сложной системы представлен в 2.5.

## Особенности задания требований по надёжности в техническом задании

---

### 2.1 Требования действующих нормативных документов

Основным документом, определяющим требования и порядок создания (развития или модернизации) автоматизированной системы, в соответствии с которым проводится разработка ИТС и её приёмка при вводе в действие, является техническое задание (ТЗ) на ИТС [71]. При формировании ТЗ необходимо руководствоваться действующими нормативными документами.

ГОСТ 27.003-90 [72] трактует требования по надёжности как совокупность количественных и (или) качественных требований к безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости, выполнение которых обеспечивает эксплуатацию изделий с заданными показателями эффективности, безопасности, экологичности, живучести и других составляющих качества, зависящими от надёжности изделия, или возможность применения данного изделия в качестве составной части другого изделия с заданным уровнем надёжности.

В документе указывается конкретно, какие требования по надёжности (для изделий) должны быть заданы:

- типовая модель эксплуатации (или несколько моделей), применительно к которой (которым) задают требования по надёжности;
- критерии отказов по каждой модели эксплуатации, применительно к которой задают требования по безотказности;
- критерии предельных состояний изделий, применительно к которым установлены требования по долговечности и сохраняемости;
- номенклатуру и значения показателей надёжности, применительно к каждой модели эксплуатации;
- методы контроля соответствия изделий заданным требованиям по надёжности (контроля надёжности);

- требования и (или) ограничения по конструктивным, технологическим и эксплуатационным способам обеспечения надежности, при необходимости, с учетом экономических ограничений;

- необходимость разработки программы обеспечения надежности (ПОН).

ГОСТ Р 27.003-2011 [73] представляет собой руководство по заданию требуемых характеристик надежности в техническом задании. Руководящие указания включают:

- рекомендации по качественному и количественному заданию показателей безотказности, ремонтпригодности и обеспечению технического обслуживания;

- рекомендации потребителям системы относительно того, как обеспечить выполнение поставщиком предъявляемых требований;

- рекомендации поставщикам, помогающие им выполнить требования потребителя.

Структура требований к автоматизированным системам по надежности определена в ГОСТ 34.602-89 [71]. В требования к надежности включают:

1) состав и количественные значения показателей надежности для системы в целом или ее подсистем;

2) перечень аварийных ситуаций, по которым должны быть регламентированы требования по надежности, и значения соответствующих показателей;

3) требования по надежности технических средств и программного обеспечения;

4) требования к методам оценки и контроля показателей надежности на разных стадиях создания системы в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

При разработке автоматизированных систем управления (АСУ) всех видов и уровней управления, а также при разработке требований по надежности для автоматизированных систем в части порядка установления требований, оценки показателей надежности, состава и порядка проведения работ по обеспечению надежности рекомендуется учитывать ГОСТ 24.701-86 [50]. Данный стандарт не устанавливает состав требований по надежности (не следует путать с составом показателей надежности), в нем из-

ложены основные положения о порядке и правилах разработки указанных требований, состав и порядок проведения работ по обеспечению надежности АСУ.

Кроме того, при разработке отдельных требований, касающихся средств вычислительной техники, может быть полезен ГОСТ 21552-84. Данный стандарт [51] распространяется на стационарные средства вычислительной техники (СВТ), применяемые:

в автоматизированных системах управления различного назначения всех уровней;

в системах обработки данных, сетях ЭВМ, на вычислительных центрах автономно, а также встраиваемые в машины, оборудование и приборы, и предназначенные для сбора, подготовки, ввода, накопления, обработки, вывода, отображения, приема и передачи информации, и устанавливает требования к СВТ, изготовляемым для народного хозяйства и экспорта.

ГОСТ 27883-88 [52] устанавливает номенклатуру показателей надежности и требования к показателям надежности.

Стандарт ГОСТ РВ 20.39.303-98 [74] устанавливает основные положения общей методологии выбора номенклатуры нормируемых показателей надежности и обоснования их численных значений (норм), а также порядок и правила изложения требований к надежности в ТТЗ, ТЗ и ТУ на аппаратуру конкретного типа.

Анализ состава требований по надежности, изложенных в указанных ГОСТах, позволяет сделать вывод, что структура требований по ГОСТ серий 24 и 34 является более общей. Раскрытие каждого из пунктов требований по надежности этих ГОСТ целесообразно выполнять, руководствуясь требованиями ГОСТ серии 27.

Учитывая, что многие ИТС создаются как автоматизированные системы в защищенном исполнении (АС ЗИ), при создании таких систем следует руководствоваться ГОСТ Р 51583-2000 [74]. Данный документ распространяется на автоматизированные системы в защищенном исполнении в процессе создания и применения которых осуществляется обработка защищаемой информации, содержащей сведения, отнесенные к государственной или служебной тайне.

В нем определены общие положения о порядке создания АС ЗИ, особенности их создания, испытания и применения, типовое содержание работ по защите информации на стадиях создания и сопровождения АС ЗИ.

## **2.2 Общие методические подходы к обоснованию требований по надежности в ТЗ на ИТС**

Включаемые в ТЗ на ИТС требования должны соответствовать современному уровню развития науки и техники и не уступать аналогичным требованиям, предъявляемым к лучшим современным отечественным и зарубежным аналогам. Задаваемые в ТЗ на ИТС требования не должны ограничивать разработчика системы в поиске и реализации наиболее эффективных технических, технико-экономических и других решений.

Выбор показателей надежности зависит в основном от общего назначения системы, но на него может влиять также и степень важности или ответственности функций, выполняемых системой.

Выбирая показатели надежности для ИТС, следует иметь ввиду некоторые простые и очевидные рекомендации [5]:

1) общее число показателей надежности должно быть по возможности минимальным;

2) следует избегать сложных комплексных показателей, получаемых в виде каких-либо сверток критериев (например, взвешиванием с различными «весами»);

3) выбранные показатели надежности должны иметь простой физический смысл;

4) выбранные показатели надежности должны допускать возможность проведения подтверждающих (проверочных) оценок на этапе проектирования (аналитических расчетов или имитационного моделирования);

5) выбранные показатели надежности должны допускать возможность статистической (опытной) оценки при поведении специальных испытаний или по результатам эксплуатации;

6) выбранные показатели должны допускать задание норм надежности в количественной форме.

При задании требований по надежности следует различать технические объекты трех уровней [75]:

1) системы – технические объекты, выполняющие определенные самостоятельные функции и характеризующиеся оперативно-техническими показателями надежности и эффективности функционирования;

2) подсистемы - технические объекты, входящие в состав системы, выполняющие частные функциональные задачи и характеризующиеся в основном техническими показателями надежности;

3) элементы - технические объекты, представляющие элементную базу подсистем.

Задание требований на систему.

1. Экспертное (директивное) задание требований основывается только на общей инженерной интуиции и практическом опыте, а поэтому не требует каких-либо особых комментариев.

2. Задание требований по прототипу основывается на анализе имеющейся статистической информации по надежности уже существующих технических объектов, близких к рассматриваемому по назначению, структуре или элементной базе. Требования по надежности в этом случае задаются с учетом возможности роста надежности элементной базы, масштаба рассматриваемой системы по сравнению с прототипом, условий функционирования и т.п. Такой прогноз в значительной степени также опирается на экспертные оценки, однако подтверждается конкретными фактическими данными.

3. Задание оптимального уровня надежности возникает только в том случае, когда:

- выходной эффект от функционирования системы измерим в тех же (обычно стоимостных) единицах, что и затраты на ее создание;

- достоверно известны исходные данные о надежности элементной базы;

- полностью определены принципы построения как структуры, так и процессов функционирования (возможность резервирования, использование различной элементной базы, режим использования, регламент технического обслуживания и т.п.).

Если выходной эффект системы несоизмерим с затратами (объекты обороны, системы безопасности различных транспорт-

ных средств и т.п.), то задание требований по надежности на систему возможен только двумя первыми способами.

Задание требований на подсистему.

Предполагается, что требования на систему в целом уже каким-то образом заданы. Тогда для задания требований на подсистему применяются несколько методов [8].

1. Метод «равнопрочности». Если система может быть представлена в виде  $N$  последовательных подсистем, то можно заданный показатель надежности ( $R$ ) типа вероятности безотказной работы, коэффициента оперативной готовности или коэффициента готовности следует распределить по подсистемам по правилу  $R_i = \sqrt[N]{R}$ ,  $i = 1, \dots, N$ .

Задаваемая средняя наработка для  $i$ -й подсистемы в этом случае приближенно равна  $T_i = NT$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $T$  – заданная средняя наработка системы.

Один из возможных подходов к распределению требований ТЗ по надежности ИТС между ее подсистемами подробно рассмотрен в 2.4.

2. Метод пропорционального распределения. Если  $n_i$  число элементов в  $i$ -й подсистеме, то  $R_i = \sqrt[n_i]{R}$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $a_i = n_i \left( \sum_{1 \leq i \leq N} n_i \right)^{-1}$ .

Под  $n_i$  в данном случае следует понимать число в некотором смысле «приведенных» элементов. Если известны интенсивности  $\lambda_j$  отказов элементов  $j$ -го типа, то метод пропорционального распределения можно модифицировать, положив

$$a_i = \sum_{1 \leq j \leq M} \lambda_j n_{ij} \left( \sum_{1 \leq i \leq N} \sum_{1 \leq j \leq M} \lambda_j n_{ij} \right)^{-1}$$

3. Метод оптимального распределения. Если при задании требований по надежности на систему в целом ( $R$ ) известны структура сети ( $S$ ) и методы повышения надежности подсистем, т.е. функции  $R(C_i)$ , где  $C_i$  – ресурс, затрачиваемый на обеспечение надежности подсистемы, то можно найти оптимальное распределение требований по надежности для двух случаев:

а) максимум показателя надежности системы при ограничениях на суммарный ресурс  $C^0$

$$\max_C \{R(S, R_i(C_i)) / \sum_{1 \leq i \leq N} C_i \leq C^0\}, \quad C = (C_1, C_2, \dots, C_N);$$

б) минимум затрат на систему при достижении заданного показателя надежности  $R_0$

$$\min \{C(S, R_i(C_i))/R^0\}.$$

Обе задачи решаются обычными способами дискретного программирования, как задачи на условную оптимизацию.

Задание требований на элемент.

Если в пределах данного исследования элементом является относительно сложная подсистема, то подход к заданию требований совпадает с тем, который был описан выше. Если же элементом является технологическая единица типа микроэлемента и радиоэлектронной детали, то в настоящее время существуют лишь экспертные способы задания требований, включая способ задания по прототипу.

Требования по надежности, включаемые в ТЗ, первоначально определяют на стадии исследования и обоснования разработки путем выполнения следующих работ [72]:

- анализа требований заказчика, назначения и условий эксплуатации изделия, ограничений по всем видам затрат, в том числе по конструктивному исполнению, технологии изготовления и стоимости эксплуатации;
- выработки и согласования с заказчиком критериев отказов и предельных состояний;
- выбора рациональной номенклатуры задаваемых показателей надежности;
- установления значений показателей надежности изделия и его составных частей.

На последующих этапах жизненного цикла изделия, по согласованию между заказчиком и разработчиком, заданные требования могут уточняться.

Критерии отказов и предельных состояний устанавливаются с целью однозначного понимания технического состояния изделий при задании требований по надежности, испытаниях и эксплуатации. Определения критериев отказов и предельных состояний должны быть четкими, конкретными, не допускающими неоднозначного толкования. Они должны обеспечивать простоту обнаружения факта отказа или перехода в предельное состояние визу-

альным путем или с помощью предусмотренных средств технического диагностирования.

Для восстанавливаемых изделий, согласно (19), как правило задают комплексный показатель надежности или определяющий его набор единичных показателей безотказности и ремонтпригодности, причем первый вариант является предпочтительным. По требованию заказчика в дополнении к комплексному показателю может быть задан один из определяющих его показателей безотказности или ремонтпригодности. Не допускается одновременное задание комплексного и всех определяющих его единичных показателей. Например, для восстанавливаемых изделий непрерывного действия, выходной эффект от применения которых пропорционален суммарной продолжительности пребывания изделий в работоспособном состоянии, основным показателем является коэффициент готовности ( $K_r$ ). По согласованию между заказчиком и разработчиком возможны следующие сочетания задаваемых показателей:  $K_r$  и  $T_o$  или  $K_r$  и  $T_v$  или  $T_o$  и  $T_v$ . Недопустимое сочетание  $K_r$ ,  $T_o$  и  $T_v$ .

Технические средства комплексов средств автоматизации ИТС, чаще всего, представляют собой стационарную, устанавливаемую в отапливаемых наземных сооружениях ремонтируемую аппаратуру, восстанавливаемую непосредственно после обнаружения отказа. В качестве показателей надёжности таких систем в техническом задании задаются, как правило,  $K_r$  и  $T_v$ .

### **2.3 Особенности задания требований по надёжности к ИТС в защищенном исполнении**

Основные особенности задания требований по надёжности к информационно-телекоммуникационным сетям в защищенном исполнении (ИТС ЗИ) связаны с особенностями восстановления работоспособности отказавших технических средств (ТС) такой системы.

Основные особенности организации восстановления работоспособности отказавших технических средств ИТС ЗИ заключаются в следующем [76]:

- все комплектующие, используемые для ремонта ТС, должны предварительно пройти специальную проверку (СП);

- комплексы технических средств, на которых проводились ремонтные работы с заменой отказавшего оборудования на аналогичное, должны пройти специальные исследования (СИ);

- протоколы проведенных проверок и исследований высылаются в экспертную организацию для анализа результатов проведенных проверок и исследований и выдачи заключения (предписания на эксплуатацию).

Проведение СП и СИ осуществляется с использованием специального оборудования уполномоченными организациями и связано со значительными временными затратами, которые необходимы для:

- организации и проведения специальных проверок комплектующих, закупленных для ремонта;

- проведения специальных исследований отремонтированных КТС;

- привлечения специализированной организации;

- получения предписания на эксплуатацию.

Опыт показывает, что общие временные затраты могут составить в пределах от одного до трех месяцев. Отремонтированное оборудование может быть введено в эксплуатацию только после получения предписания.

Кроме того, следует иметь в виду, что в ИТС ЗИ в случае выхода из строя системных плат и других элементов, содержащих устройства BIOS, необходимо проводить тематические исследования BIOS элементов, закупленных на замену вышедших из строя, что связано с дополнительными затратами времени и финансовых средств.

В соответствии с основными положениями теории надежности [1, 2, 5] время, не связанное непосредственно с отысканием причины отказа, его устранением и проверкой работоспособности отремонтированного оборудования, обычно относят к так называемым «организационным простоям». Таким образом, в ИТС ЗИ, в отличие от ИТС в обычном исполнении, к организационным простоям дополнительно относится время, затрачиваемое на проведение специальных проверок вновь закупленных компонентов, проведение специальных исследований отремонтированного оборудования и получение предписания на эксплуатацию. В

ИТС ЗИ время таких организационных простоев может достигать 2–3 месяцев.

Как было указано в подразделе 2.2 в техническом задании в качестве показателей надёжности ИТС в обычном исполнении, в техническом задании, как правило, задаются  $K_r$  и  $T_v$ . Однако, учитывая, что при ремонте отказавшего оборудования ИТС ЗИ неизбежны большие организационные простои, представляется целесообразным в качестве показателей надёжности ИТС ЗИ задавать либо  $K_r$ , либо  $K_r$  и  $T_o$ .

## **2.4 Методический подход к распределению требований технического задания по надёжности ИТС между ее подсистемами**

При формировании тактико-технического задания на создание информационно-телекоммуникационных сетей требования по надёжности задаются, чаще всего, в виде требований к надёжности её трактов обмена информацией между заданной парой абонентов ( $K_{ГТ}$ ). Вместе с тем, при проектировании возникает задача распределения требований по надёжности, предъявляемых к тракту обмена информацией между подсистемами ИТС (объектами информатизации, узлами связи телекоммуникационной сети, направлениями связи).

В общем виде такая задача для больших систем является крайне сложной вследствие неоднозначной зависимости надёжности системы от ее структуры. Предлагается следующий приближенный подход [27, 32].

### **2.4.1 Распределение требований к надёжности тракта обмена информацией между элементами тракта**

Эквивалентная схема надёжности тракта передачи информации в ИТС может быть представлена в виде трех последовательно соединенных элементов:

- объекта - отправителя;
- объекта - получателя;
- телекоммуникационной сети (ТКС).

При задании требований к надежности последовательно соединенных элементов, обычно исходят из условий приблизительно равной надежности, поэтому [30, 33]:

$$K_{Гo} = K_{Гткс} = \sqrt[3]{K_{ГГ}}, \quad (2.1)$$

где  $K_{Гo}$ ,  $K_{Гткс}$  – коэффициенты готовности, соответственно, объекта-отправителя (объекта-получателя) и телекоммуникационной сети.

В современных ИТС объекты (отправитель и получатель) чаще всего подключаются к ТКС одним широкополосным каналом связи, однако для общего случая будем считать, что объект-отправитель привязан к  $N_1$ , а объект-получатель к  $N_2$  узлам связи (УС) магистральной сети. Для этого случая можно записать:

$$K_{Гткс} = (1 - Q_{MC})(1 - Q_{N1})(1 - Q_{N2}),$$

где:  $Q_{MC}$  – вероятность потери связности между двумя множествами узлов связи сопряженных с корреспондирующими объектами информатизации;

$Q_N$  – вероятность потери связности объекта информатизации с ТКС.

Учитывая, что в реальных ТКС  $Q_{MC}$ ,  $Q_{N1}$ ,  $Q_{N2} \ll 1$ , воспользуемся следующим приближённым выражением [3, 32]:

$$K_{Гткс} \approx 1 - (Q_{MC} + Q_{N1} + Q_{N2}). \quad (2.2)$$

Вероятность потери связности объекта с ТКС будет определяться выражением:

$$Q_N = (q_{yc} + q_{нп})^N, \quad (2.3)$$

где:  $q_{yc} = 1 - K_{Гyc}$  – вероятность отказа узла связи привязки объекта к ТКС;

$q_{нп} = 1 - K_{Гнп}$  – вероятность отказа направления привязки объекта к УС;

$N$  – количество УС сопряженных с объектом.

Вероятность потери связности между двумя множествами узлов связи сопряженных с корреспондирующими объектами определим в следующем виде:

$$Q_{MC} \leq q_{yc} \cdot \left( \sum_{i=1}^{N1} q_{MH}^{mi} + \sum_{j=1}^{N2} q_{MH}^{mj} \right) + q_{MH}^r, \quad (2.4)$$

где:  $q_{\text{мн}} = 1 - K_{\text{Гмн}}$  - вероятность отказа магистрального направления связи;

$m_i$  и  $m_j$  - число магистральных направлений связи от  $i$ -го ( $i \in N_1$ ) и  $j$ -го ( $j \in N_2$ ) УС, соответственно;

$r$  - число магистральных направлений связи связывающих УС  $N_1$  и  $N_2$ .

Учитывая (2.3) и (2.4), запишем (2.2) в виде:

$$K_{\text{ГТКС}} \approx 1 - [q_{\text{УС}} \cdot (\sum_{i=1}^{N_1} q_{\text{мн}}^{m_i} + \sum_{j=1}^{N_2} q_{\text{мн}}^{m_j}) + q_{\text{мн}}^r + (q_{\text{УС}} + q_{\text{НП}})^{N_1} + (q_{\text{УС}} + q_{\text{НП}})^{N_2}]. \quad (2.5)$$

Для случая  $N_1 = N_2 = N$  и  $m_i = m_j = m$  выражение (2.5) примет вид:

$$K_{\text{ГТКС}} \approx 1 - [2 \cdot N \cdot q_{\text{УС}} \cdot q_{\text{мн}}^m + q_{\text{мн}}^r + 2(q_{\text{УС}} + q_{\text{НП}})^N].$$

В реальных системах  $m > N$ ,  $r \geq N$ ,  $q_{\text{УС}}$  и  $q_{\text{мн}} \ll 1$ , поэтому  $2 \cdot N \cdot q_{\text{УС}} \cdot q_{\text{мн}}^m \ll q_{\text{мн}}^r$ ,  $2(q_{\text{УС}} + q_{\text{НП}})^N$ . С учётом этого:  $K_{\text{ГТКС}} \approx 1 - q_{\text{мн}}^r - 2(q_{\text{УС}} + q_{\text{НП}})^N$ .

На практике наиболее важные с точки зрения надёжности объекты имеют привязки к 2 – 3 УС. Поэтому, полагая  $N = r = 2$  и  $q_{\text{мн}} = q_{\text{НП}} = q_{\text{н}}$  (наиболее тяжёлые условия), получим:

$$K_{\text{ГТКС}} \approx 1 - q_{\text{н}}^2 - 2(q_{\text{УС}} + q_{\text{н}})^2 \quad (2.6)$$

В общем случае выбор соотношения между  $q_{\text{н}}$  и  $q_{\text{УС}}$  при заданном  $K_{\text{ГТКС}}$  неоднозначен. Для установления взаимосвязи между ними приведём выражение (2.6) к функции вида  $q_{\text{УС}} = f\{q_{\text{н}}, K_{\text{ГТКС}}\}$ :

$$q_{\text{УС}} \approx 0,71 \sqrt{Q_{\text{ТКС}} - q_{\text{н}}^2} - q_{\text{н}}, \quad (2.7)$$

где  $Q_{\text{ТКС}} = 1 - K_{\text{ГТКС}}$ .

Графики зависимости  $q_{\text{УС}}$  от  $q_{\text{н}}$  при различных значения  $K_{\text{ГТКС}}$  представлены на рисунке 2.1. Любую из кривых, представленных на рисунке, можно условно разделить на три участка  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$  (показано применительно к  $K_{\text{ГТКС}} = 0,995$ ).

На участке  $L_1$  незначительное повышение надёжности направлений связи приводит к резкому снижению требований к надёжности узлов связи. На участке  $L_2$  изменение показателей надёжности одних элементов происходит за счёт приблизительно такого же изменения показателей надёжности других элементов. На участке  $L_3$  снижение требований к надёжности узлов связи

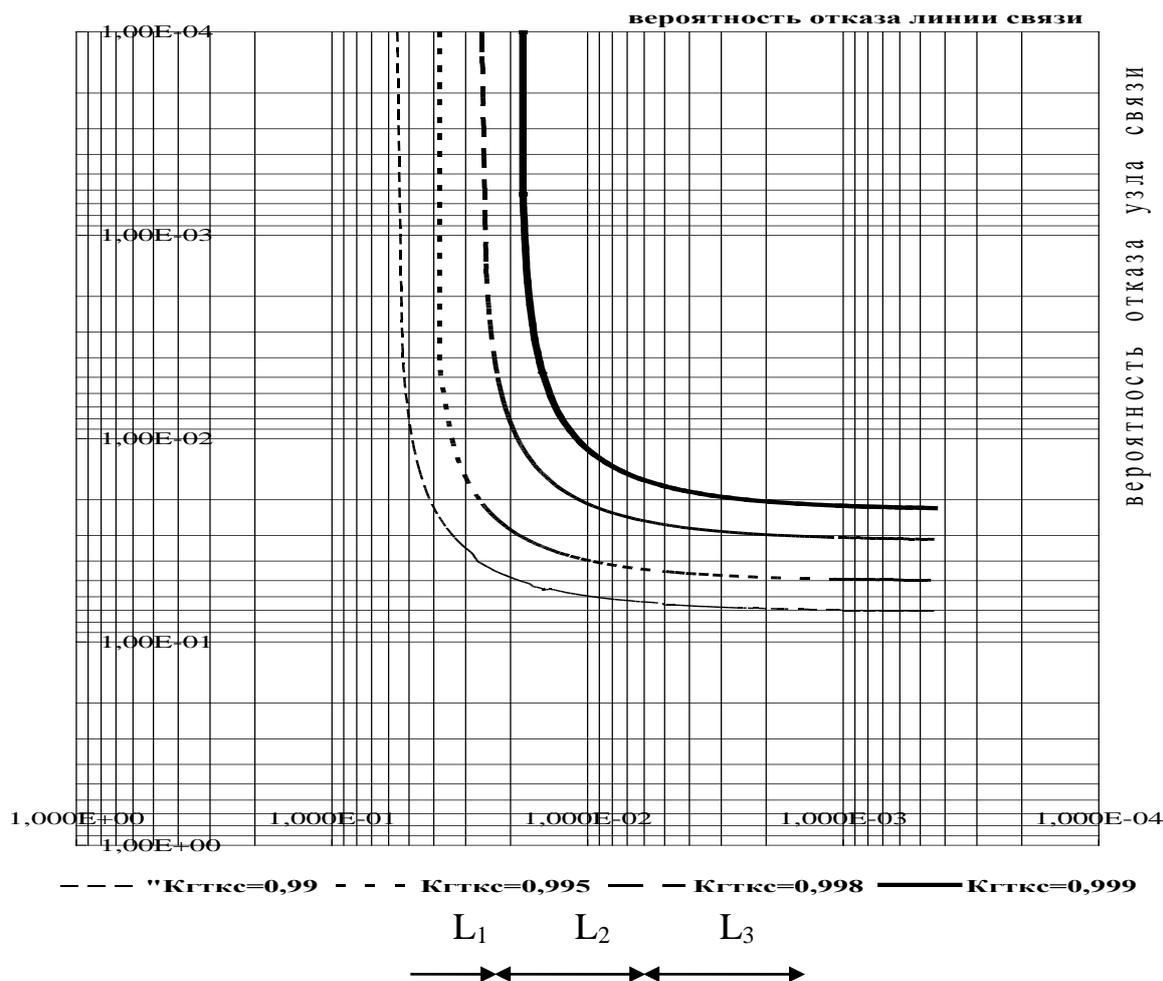


Рис. 2.1. Графики зависимости  $q_{ус}$  от  $q_{л}$  при различных значениях  $K_{ГТКС}$ .

происходит за счёт резкого повышения требований к надёжности направлений связи. Очевидно, что наиболее разумно показатели надёжности элементов ТКС выбирать на участке  $L_2$ . Однако следует иметь в виду, что с экономической точки зрения заданное значение  $K_{ГТКС}$  предпочтительнее реализовывать за счёт резервирования технических средств узлов связи, чем за счёт резервирования каналов связи в направлении связи.

ИТС представляет собой, чаще всего, иерархическую многоуровневую территориально-распределённую ведомственную автоматизированную информационную систему, организационно-техническая и функциональная структуры которой соответствуют структуре органов управления ведомства [22, 77-80]. Вариант схемы такой ИТС представлен на рисунке 2.2.

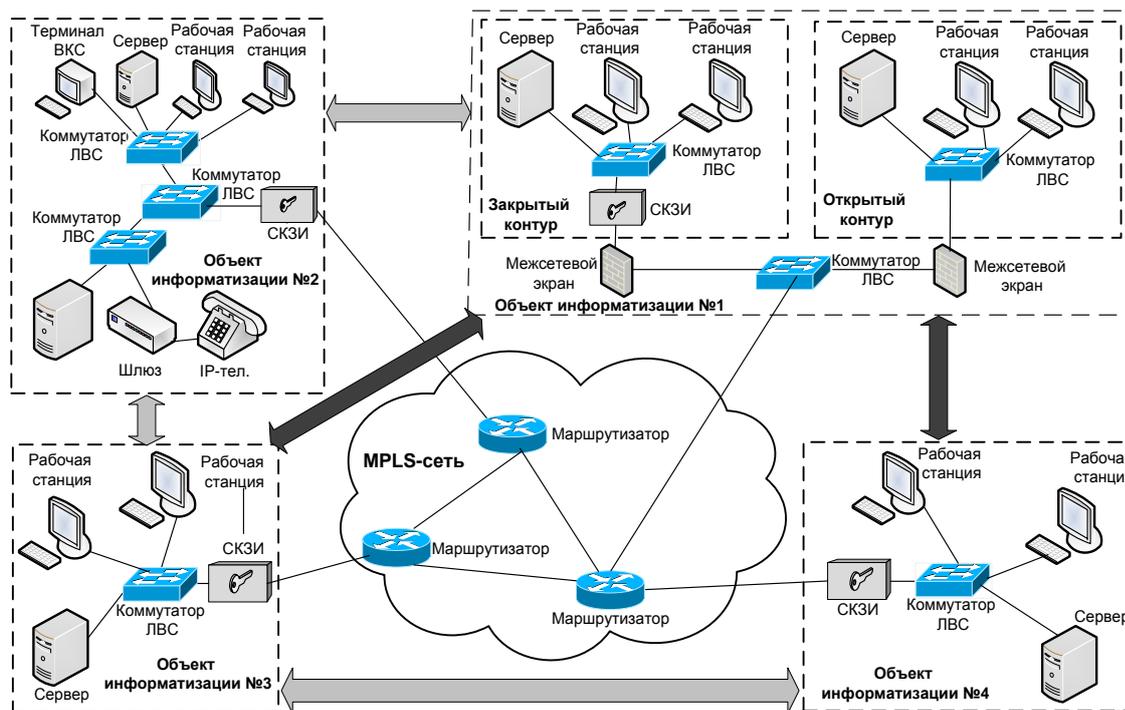


Рис. 2.2 Структурная схема ИТС (вариант)

В таких сетях информационное взаимодействие органов управления обеспечивается в порядке непосредственной подчинённости (на рисунке обозначено  $\longleftrightarrow$ ).

Взаимодействие через инстанцию (на рисунке обозначено  $\longleftrightarrow$ ) вниз (вверх) организуется с использованием телекоммуникационного узла (а иногда и комплекса средств автоматизации) на промежуточном объекте. Взаимодействие (при необходимости) через две инстанции вниз (вверх) организуется с использованием двух промежуточных объектов информатизации.

При обосновании требований по надёжности к элементам ТКС для таких сетей возможно несколько подходов:

1) Дополнительные требования по надёжности тракта, при передаче информации через инстанцию вниз (вверх), не предъявляются.

В этом случае результирующий коэффициент готовности ( $K_{Г1,3}$ ) тракта обмена информацией между объектами информатизации 1 и 3 (рисунок 2.2) может быть определён как:  $K_{Г1,3} \approx K_{ГТКС}^2 \cdot K_{Гоп}$ . Коэффициент готовности между объектами 1 и 4:  $K_{Г1,4} \approx K_{ГТКС}^3 \cdot K_{Гоп}^2$ , где  $K_{Гоп}$  - коэффициент готовности промежуточного объекта (чаще всего  $K_{Гоп} = K_{Го}$ ). Требования к узлам и линиям

связи телекоммуникационной сети определяются так же, как и в предыдущем случае;

2) Заданные требования к надёжности тракта обмена информацией ( $K_{ГТ}$ ) должны выполняться между любой парой объектов ИТС. Выполнение такого требования возможно обеспечить путём реализации одного из следующих вариантов:

а) Требования к узлам и линиям связи телекоммуникационной сети задаются с учётом необходимости обеспечить выполнение требований к надёжности трактов обмена информацией при передаче информации через инстанцию вниз (вверх). В этом случае выражение (2.1) примет вид:

- при обмене информацией через инстанцию вниз (вверх) -  
 $K_{Гоп} = K_{Гткс} \geq \sqrt[3]{K_{ГТ}}$  ;

- при обмене информацией через две инстанции вниз (вверх) -  
 $K_{Гоп} = K_{Гткс} \geq \sqrt[3]{K_{ГТ}}$  .

Требования к узлам и линиям связи телекоммуникационной сети определяются с использованием выражения (2.7), с учётом нового значения  $K_{Гткс}$ .

Например, пусть требуется обеспечить  $K_{ГТ} = 0,99$ ; тогда показатели надёжности узлов телекоммуникационной сети должны быть не менее  $K_{Гус} \geq 0,97$  (при обмене информацией через инстанцию),  $K_{Гус} \geq 0,985$  (при обмене информацией через две инстанции).

б) Между корреспондирующими объектами организуются прямое информационное взаимодействие с использованием ресурсов телекоммуникационной сети (в виде аренды каналов и трактов Единой сети электросвязи, либо аренды услуг). Требования к узлам и линиям связи телекоммуникационной сети, в этом случае, определяются в соответствии с выражением (2.7).

Выбор варианта обоснования требований к надёжности узлов и линий связи телекоммуникационной сети зависит, в первую очередь, от требований со стороны ИТС к надёжности доставки информации между корреспондирующими объектами. Однако следует иметь ввиду, что реализация высоких требований по надёжности связано с существенными материальными затратами (организация резервирования технических средств и программного обеспечения, аренда каналов связи либо услуг). Поэтому обоснование требований к надёжности узлов и линий связи следует производить по критерию эффективность-стоимость. На

практике, чаще всего, при обосновании требований к надёжности узлов и линий связи телекоммуникационной сети находит применение первый подход, когда дополнительные требования к надёжности тракта передачи информации через инстанцию вниз (вверх), не предъявляются.

#### 2.4.2 Алгоритм распределения требований по надёжности, предъявляемых к тракту обмена информацией, между элементами телекоммуникационных сетей

Алгоритм распределения требований по надёжности, предъявляемых к тракту обмена информацией, между элементами телекоммуникационных сетей состоит в следующем:

Шаг 1. С использованием выражения (2.1) для заданного ( $K_{ГГ}$ ) определяются количественные требования к надёжности объектов информатизации ( $K_{Г0}$ ) и телекоммуникационной сети ( $K_{ГТКС}$ ).

Шаг 2. На основе выражения (2.7) строится график зависимости  $q_{УС} = f\{q_{н}, K_{ГТКС}\}$  для полученного значения  $K_{ГТКС}$ .

Шаг 3. На участке  $L_2$  полученного графика выбирается точка, определяющая предварительные количественные значения  $q_{УС}$  и  $q_{н}$ .

Шаг 4. Составляются предварительные структурно-функциональные схемы построения УС и направления связи, при реализации которых обеспечивается выполнение выбранных количественных значений  $q_{УС}$  и  $q_{н}$ . Оценка надёжности рассматриваемых вариантов структурного построения УС и направлений связи производится с использованием методики, предложенной в подразделе 1.6.

Шаг 5. Производится оценка стоимости построения ТКС при реализации рассматриваемых вариантов структурного построения УС и направлений связи с учётом:

- стоимости оборудования необходимого для реализации оцениваемого варианта структурного построения УС;
- стоимости аренды каналов (услуг) связи необходимой для реализации оцениваемого варианта структурного построения направления связи.

Шаг 6. На основе анализа полученных результатов намечаются пути снижения стоимости создания ТКС либо за счёт сни-

жения числа арендуемых каналов (услуг) связи в направлениях, либо за счёт упрощения структурно-функциональной схемы построения УС (за счёт уменьшения стоимости программно-технических средств, либо за счёт снижения глубины их резервирования).

Далее осуществляется переход на шаг 3.

Такие итерации проводятся до тех пор, пока не будет найден такой вариант построения ТКС, который обеспечивает выполнение заданных требований по надёжности при минимальной стоимости его реализации.

В [31] представлен методический подход к обоснованию требований по надёжности трактов передачи информации с учетом категорий срочности передаваемых сообщений.

При обосновании требований к информационно-телекоммуникационной сети в части надёжности необходимо учитывать, что выполнение этих требований связано с существенными материальными затратами (организация резервирования технических средств и программного обеспечения, аренда каналов связи либо услуг). Поэтому требуется взвешенный системный подход: завышенные требования – неоправданные затраты; заниженные требования – сеть не сможет в полной мере выполнить возложенные на нее задачи. В связи с этим, уже на стадии формирования технического задания необходимо выполнить предварительный приближенный расчет с распределением общесистемного требования к сети по ее элементам.

## **2.5 Методический подход к оценке надёжности элементов тракта обмена информацией в ИТС**

Рассмотрим один из возможных подходов к оценке надёжности подсистем тракта обмена информацией (объектов информатизации, узлов связи ТКС и направлений связи) [27].

Говоря о надёжности объектов ИТС, следует учитывать, что в их состав входят телекоммуникационные узлы (ТКУ), которые, с одной стороны (в части оборудования ЛВС объекта), являются составными элементами объектов информатизации, с другой, они являются составными элементов направлений привязки объекта информатизации к телекоммуникационной сети. Поэтому, при оценке надёжности подсистем тракта обмена информацией часть

оборудования ТКУ будет учитываться при оценке надёжности объекта информатизации, а другая часть при оценке надёжности направления привязки.

### 2.5.1 Оценка надёжности объектов информатизации

В общем случае уровень надёжности объектов ИТС зависит от следующих факторов:

- уровня надёжности используемых технических средств, их взаимосвязи в надёжной структуре объекта;
- уровня надёжности используемых программных средств с учетом их взаимосвязи в структуре программного обеспечения;
- уровня квалификации (надёжности действий) персонала;
- режимов и организационных форм технической эксплуатации;
- степени использования различных видов резервирования (структурного, информационного, временного, алгоритмического, функционального);
- степени использования методов и средств технической диагностики, охвата контроля и условий функционирования.

Расчет показателей надёжности объектов производится в следующей последовательности [4, 81]:

- выбираются оцениваемые показатели надёжности, и формулируется критерий отказа из условий нормального функционирования;
- подготавливаются исходные данные для расчета;
- составляется эквивалентная схема для расчета надёжности (в соответствии с п.п. 1.3.);
- в соответствии с порядком, изложенном в п.п. 1.6. осуществляется расчет показателей надёжности;
- полученные результаты анализируются и обобщаются для проведения последующих расчетов.

При разработке методики приняты следующие допущения:

- распределение времени безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону;
- отказы элементов являются независимыми и случайными событиями;

- рассматриваются наиболее критичные варианты функционирования системы с точки зрения выполнения им основных функциональных задач объекта.

Под *отказом* объекта будем понимать событие, заключающееся в прекращении выполнения объектом основных функциональных задач по причине неисправности аппаратно-программных средств и требующее, для восстановления процесса функционирования, проведения ремонтных работ с привлечением обслуживающего персонала.

В качестве основных показателей надежности комплексов средств автоматизации объекта используются коэффициент готовности ( $K_{Г}$ ) и среднее время восстановления работоспособности ( $T_{В}$ ). В качестве дополнительного показателя надежности используется среднее время наработки объекта на отказ ( $T_0$ ).

Оценка показателей надежности объекта проводится с использованием эквивалентных схем для расчета надежности, расчетным методом по формулам, представленным в п.п. 1.2 и 1.4.

Коэффициент готовности ( $K_{Г}$ ) КСА определяется по формуле (1.4):

$$K_{Г} = \frac{T_0}{T_0 + T_{В}}.$$

Интенсивность отказов системы, состоящей из  $k$  последовательно соединенных элементов, в соответствии с (1.6):

$$\lambda_0 = \lambda_1 + \dots + \lambda_k.$$

Среднее время наработки объекта на отказ при параллельном соединении  $n$  элементов (1.8):

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \cdot \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n}\right).$$

При оценке надежности будем считать, что:

- технические средства аппаратно-программных комплексов объектов в соответствии с классификацией показателей надежности (ГОСТ РВ 20.39.303-98) относятся к группе 1, категории Б (аппаратура ремонтируемая, восстанавливаемая непосредственно после обнаружения отказа);

- аппаратно-программные средства (АПС) объектов функционируют круглосуточно;

- в эквивалентную схему для расчета надежности включено оборудование, обеспечивающее выполнение основного функционального предназначения объекта. Выход из строя оборудования, не влияющего на выполнение этих функций, не оказывает существенного влияния на выполнение основной задачи комплексов средств автоматизации (КСА) и в схему для расчета надежности оно не включается;

- разные функциональные подсистемы объекта могут использовать для своей работы различное оборудование и выход из строя оборудования, не относящегося к данной подсистеме, не приведет к ее отказу;

- во всех КСА серверы попарно резервируют друг друга в режиме «горячего резерва» и, поэтому, выход из строя одного сервера не окажет существенного влияния на процессы функционирования КСА;

- ряд автоматизированных рабочих мест, по выполняемым функциям, дублируют друг друга и могут рассматриваться в качестве взаимного резерва.

Пример составления эквивалентной схемы для расчета надежности объекта информатизации представлен на рисунке 2.3.

Цифрами 1-7 на рисунке обозначены 7 групп автоматизированных рабочих мест выполняющих, в рамках своей группы, одинаковые функции. Если в такой группе произошёл отказ одного из АРМ, а другие продолжают выполнять свои функции, то считаем, что отказа объекта не происходит. Если отказали все АРМ, включённые в эту группу, считаем, что произошёл отказ объекта. Некоторые группы состоят из одного АРМ. Это означает, что этот АРМ выполняет специфические (присущие только ему) функции и при его отказе фиксируется отказ всего объекта. Аналогичным образом в схему включены и другие аппаратно-программные средства (серверы, медиаконвертеры, коммутаторы и др.) обеспечивающие выполнение основных функций объекта. Аппаратно-программные средства (АПС) и группы АПС выполняющие разные функции включаются в эквивалентную схему для расчета надежности последовательно.

Показатели надёжности функционирования технических средств (среднее время наработки на отказ), как правило, указывается в формулярах на технические средства. При отсутствии

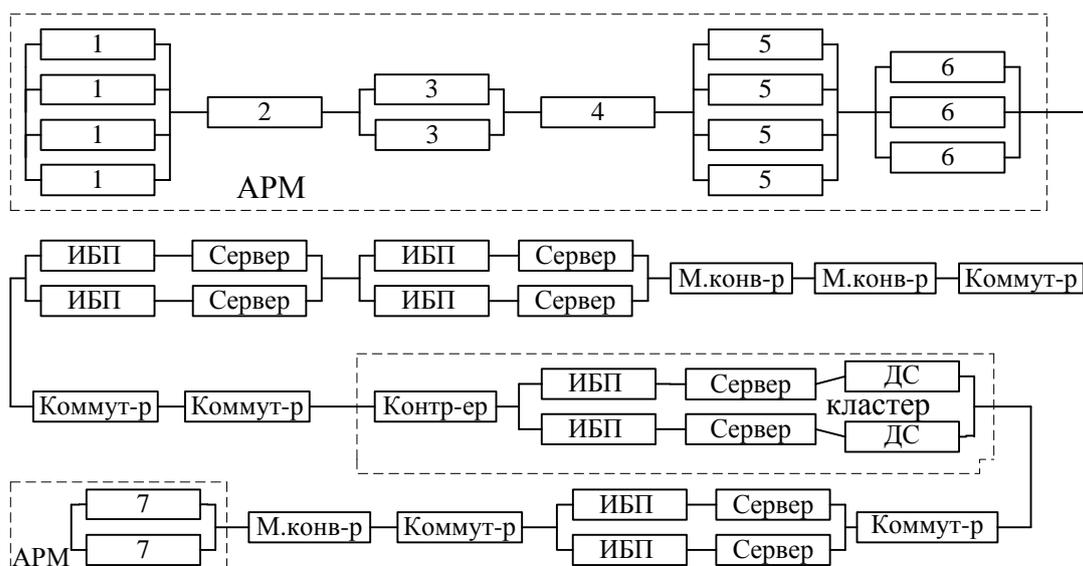


Рис. 2.3. Эквивалентная схема для расчёта надёжности объектов ИТС (пример)

таких данных можно воспользоваться услугами сети «Интернет» или другими доступными источниками.

### 2.5.2 Оценка надёжности узлов и направлений связи ТКС

Предложенный подход к оценке надёжности объектов ИТС может быть применён и к оценке надёжности узлов и направлений связи ТКС. На рисунке 2.4. приведен фрагмент типовой структурной схемы телекоммуникационной сети.

В ней можно выделить оборудование (аппаратные и аппаратно-программные средства), относящееся к канальной части (каналообразующее ) и оборудование, являющееся общеузловым (), функционирующим в интересах нескольких (или всех) каналов связи организуемых на данном УС.

При выходе из строя канального оборудования фиксируется отказ только одного канала (направления) связи, при выходе из строя узлового оборудования отказ фиксируется на нескольких (или на всех) каналах (направления) связи.

При оценке надёжности направления привязки объекта ИТС к УС ТКС в состав эквивалентной схемы для расчёта надёжности направления привязки включается канальная часть оборудования ТКУ объекта информатизации, линия привязки, соединяющая ТКУ с УС ТКС, и канальное оборудование УС.

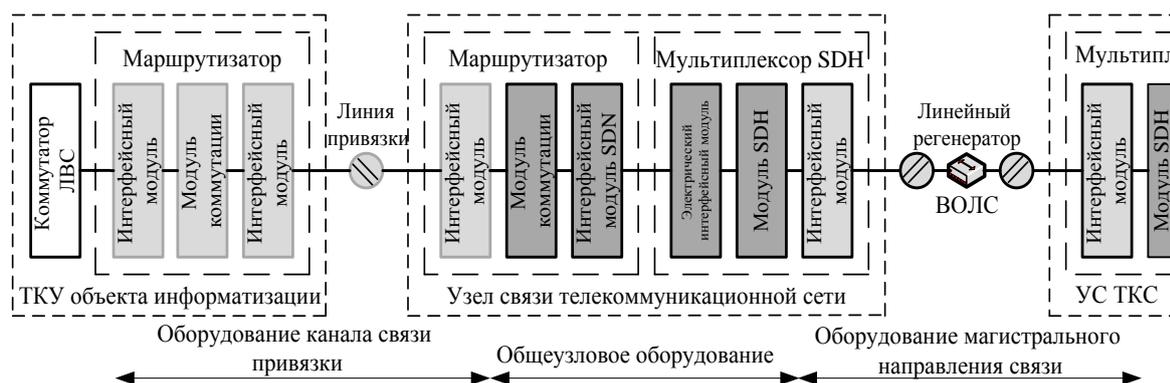


Рис. 2.4. Фрагмент типовой структурной схемы телекоммуникационной сети

При оценке надёжности магистральных направлений в состав эквивалентной схемы для расчёта надёжности направления связи включается канальные части оборудования соответствующих УС и магистральная линия связи, соединяющая соответствующие УС.

При оценке надёжности узла связи телекоммуникационной сети в состав эквивалентной схемы для расчёта надёжности включается общеузловое оборудование, отказ которого приводит к невозможности обеспечить транзит информации между каналами (направлениями) связи.

Предложенный методический подход к оценке надёжности элементов тракта обмена информацией в ИТС позволяет обоснованно подходить к выбору количественных значений показателей надёжности объектов информатизации, узлов и направлений связи телекоммуникационной сети и может применяться, как на различных этапах создания ИТС, так и в процессе её эксплуатации.

## Методические подходы по обеспечению надёжности ИТС на различных стадиях жизненного цикла.

---

### 3.1 Общие положения

Надёжность технического объекта любой сложности должна обеспечиваться на всех этапах его жизненного цикла: от начальной стадии выполнения исследований до заключительных стадий эксплуатации и утилизации [82].

Основные условия обеспечения надёжности ИТС состоят в выполнении правила, называемого триадой надёжности:

- 1) закладывается при проектировании,
- 2) обеспечивается при изготовлении
- 3) поддерживается в эксплуатации.

Без строгого выполнения этого правила нельзя решить задачу создания высоконадёжных изделий и систем путем компенсации недоработок предыдущего этапа на последующем.

На начальной стадии проведения исследований необходимо обоснование требований по надёжности ИТС с учетом:

- 1) требований к основным показателям ИТС (территориальный размах, пропускная способность, вероятностные характеристики передачи и обработки информации, достоверность обработки, защита информации и другие);
- 2) условий эксплуатации ИТС и ее элементов;
- 3) базовой аппаратно-программной платформы.

Очень важно, чтобы уже на этой стадии была обоснована реализуемость задаваемых к ИТС требований по надёжности. Как правило, исследования на этой стадии выполняют научно-исследовательские организации, привлекаемые заказчиком.

В последующем на стадии проектирования осуществляется разработка и выбор конструктивных и схемных решений, обеспечивающих безотказное функционирование всех элементов системы. В процессе создания системы должны быть в полном объеме реализованы все решения, разработки и указания конструктора (проектировщика).

Надежность на этапе проектирования относится к процессу разработки надежных изделий. Этот процесс включает в себя несколько инструментов и практических рекомендаций и описывает порядок их применения, которыми должна владеть организация для обеспечения высокой надежности и ремонтпригодности разрабатываемого изделия с целью достижения высоких показателей готовности, снижения затрат и максимального срока службы изделия.

На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования (предсказания) ожидаемой надежности проектируемой системы. Такое прогнозирование необходимо для обоснования предполагаемого проекта, а также для решения организационно-технических вопросов:

- выбора оптимального варианта структуры;
- способа резервирования;
- глубины и методов контроля;
- количества запасных элементов;
- периодичности профилактики.

Как правило, первым шагом в этом направлении является нормирование показателей надежности. Требования к надежности ИТС должны быть «заложены» на уровне системных решений и затем распределены (декомпозированы) на уровне подсистем и элементов ИТС. Проектирование надежности начинается с разработки модели. При этом используют структурные схемы надежности или деревья неисправностей, при помощи которых представляется взаимоотношение между различными частями (компонентами) системы.

Для сложных технических систем на стадии разработки отрабатываются два основных пути обеспечения надежности: выбор структуры ИТС и выбор ее элементов с необходимыми показателями надежности. Рассмотрим эти пути подробнее.

#### *Повышение структурной надежности системы.*

При проектировании технических систем разработчик реализует возможность выполнения системой набора функций, предусмотренных техническим заданием.

Структурная и аппаратная реализации на начальных этапах разработки сводятся к созданию минимально необходимого варианта системы, т.е. такого варианта, который содержит минималь-

но необходимое число элементов, отказ каждого из которых приводит к невыполнению одной или нескольких функций и предусматривает обработку минимально необходимого количества информации за минимально допустимое время.

Для ряда технических систем теоретически возможно повышение надежности за счет сокращения числа элементов. Например, для системы с последовательным соединением десяти элементов при  $p_э = 0,99$  уменьшение числа элементов в два раза уменьшает вероятность ее отказа также примерно в два раза (с  $q_{с10} = 0,096$  до  $q_{с5} = 0,049$ ), где  $p_э$  – вероятность безотказной работы элемента,  $q_{с10}$  и  $q_{с5}$  – вероятности отказа систем, состоящих из десяти и пяти последовательно соединенных элементов, соответственно. Сокращение числа элементов может достигаться за счет упрощения структуры технической системы или совмещения функций нескольких элементов в одном. Однако такой способ повышения надежности системы имеет очень ограниченное применение.

Перестройка структуры технической системы с целью повышения ее надежности, как правило, означает изменение ее функциональной и конструктивной схемы (за исключением резервирования) и возможна лишь в исключительных случаях.

#### *Повышение надежности элементов.*

Характеристики надежности минимально необходимого варианта системы не всегда удовлетворяют предъявляемым требованиям, что вынуждает изыскивать способы повышения надежности разрабатываемой системы.

Если конструктивные, технологические, эксплуатационные и организационные мероприятия по повышению надежности системы за счет повышения надежности ее элементов не дают желаемого эффекта или вообще неосуществимы, могут использоваться различные способы резервирования.

В зависимости от назначения, характера протекающих процессов, испытываемых нагрузок и положения в структуре технической системы могут использоваться различные методы повышения надежности элементов:

- разработка или выбор высоконадежных деталей, узлов, комплектующих и других составных частей элементов и систем;
- оптимизация режимов функционирования элементов;

- стандартизация и унификация деталей, узлов и единиц оборудования;
- защита элементов от перегрузок;
- защита элементов от неблагоприятного воздействия окружающей среды;
- разработка научно обоснованной системы технического обслуживания и ремонта;
- автоматизация и роботомеханизация процессов изготовления деталей, узлов и единиц оборудования;
- контроль качества изготовления;
- контроль качества сборки, монтажа и т.д.

Эффект увеличения надежности технической системы, достигаемый повышением надежности элементов, тем значительнее, чем сложнее структура системы и чем больше в ней элементов. Однако чаще всего более надежные элементы имеют большие габариты и массу, более сложную собственную структуру и, как правило, более высокую стоимость. Кроме того, осуществление некоторых методов повышения надежности элементов требует проведения достаточно сложных конструктивных, технологических, эксплуатационных и организационных мероприятий. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо соотнести полезный эффект от повышения надежности элемента с затратами на ее осуществление.

Часто, однако, использование методов повышения надежности элементов не дает значительного эффекта или неосуществимо по различным причинам. В этих случаях повышение надежности технической системы возможно только в результате изменения ее структурной схемы.

## **3.2 Методы обеспечения надёжности ИТС на стадии разработки**

### **3.2.1 Методы резервирования**

#### **3.2.1.1 Общие понятия**

Резервированием называют метод повышения надежности технической системы (ТС) за счет введения избыточности. Под избыточностью при этом понимают дополнительные средства и возможности сверх минимально необходимых для выполнения

ТС заданных функций. Таким образом, задачей введения избыточности является обеспечение нормального функционирования ТС после возникновения отказов в ее элементах.

В соответствии с ГОСТ 13377-75 [56] различает три основных вида резервирования:

- структурное,
- информационное,
- временное.

*Структурное резервирование (или аппаратное)* предусматривает использование избыточных элементов ТС. 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. При этом избыточные резервные структурные элементы, узлы, устройства и т.д. предназначены для выполнения рабочих функций при отказе соответствующих основных элементов, узлов и устройств.

*Информационное резервирование* предусматривает использование избыточной информации. Простейшим примером реализации такого вида резервирования является многократная передача одного и того же сообщения по каналу связи. В качестве другого примера можно привести использование специальных кодов, обнаруживавших и исправляющих ошибки (коды с повторением и инверсией, циклический код, код Хемминга и т.д.), которые появляются в результате сбоев и отказов аппаратуры. Здесь следует заметить, что использование информационного резервирования влечет за собой также необходимость введения избыточных элементов.

*Временное резервирование* предусматривает использование избыточного времени. В случае применения этого вида резервирования предполагается возможность возобновления функционирования ТС после того, как оно было прервано в результате отказа, путем его восстановления. При этом также предполагается, что на выполнение ТС необходимой работы отводится время, заведомо большее минимально необходимого.

Перечисленные виды резервирования могут быть применены либо к ТС в целом, либо к отдельным их элементам или к

группам таких элементов. В первом случае резервирование называется общим, во втором – отдельным.

Наиболее широкое распространение в настоящее время получило структурное резервирование (ГОСТ 27.002-2015) [55]. ТС с использованием этого вида резервирования могут классифицироваться по различным признакам, основными из которых являются [83]:

- реакция ТС на появление отказа;
- режим работы резервных элементов;
- вид схемы резервирования;
- способ включения резервных элементов;
- степень избыточности и т.д.

В первую очередь, различные резервированные ТС отличаются одни от других **реакцией на появление отказов**, т.е. своими «динамическими» свойствами. С этой точки зрения различают два метода резервирования: активное и пассивное.

При *активном* резервировании структура ТС такова, что при появлении отказа она перестраивается и происходит восстановление работоспособности, т.е. происходит как бы «саморемонт» ТС. При этом ТС активно реагирует на появление отказа. Отсюда и название метода резервирования.

При *пассивном* резервировании ТС отказ одного или даже нескольких элементов не влияет на его работу. Элементы соединены постоянно и перестроения структуры не происходит.

Как при активном, так и при пассивном методах резервирования большое значение имеют **режимы работы резерва**. Однако, если в первом случае для расчета важно знать нагрузку на резервные элементы до появления отказа, то во втором случае – после появления отказа.

По этому классификационному признаку для активного резервирования различают нагруженный, облегченный и ненагруженный резервы.

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

*Облегченный резерв* – резервный элемент находится в менее нагруженном режиме, чем основной. При этом принимается, что характеристики надежности резервных элементов в период их пребывания в качестве резервных выше, чем в период их использования вместо основных после их отказа.

*Ненагруженный резерв* – резервный элемент практически не несет нагрузки до начала выполнения им функций основного элемента. При этом принимается, что такой резервный элемент, находясь в резерве, отказывать не должен, т.е. обладает в этот период «идеальной» надежностью. В период же использования резервного элемента вместо основного после отказа последнего надежность резервного элемента становится равной надежности основного.

При отказе хотя бы одного из элементов ТС с пассивным резервированием может изменяться нагрузка, воспринимаемая элементами, оставшимися работоспособными. Именно поэтому в ТС с пассивным резервированием большое значение имеют условия работы элементов после появления отказа, т.е. стабильность нагрузки на элементы, оставшиеся работоспособными. По этому признаку различают три вида ТС с пассивным резервированием:

- с *неизменной нагрузкой* (при отказе одного или нескольких элементов не меняется нагрузка на элементы, оставшиеся работоспособными);

- с *перераспределением нагрузки* (при отказе хотя бы одного элемента изменяется, обычно в сторону увеличения, нагрузка на элементы, оставшиеся работоспособными);

- с *нагрузочным резервированием* (резервированием по нагрузке), в которых при отказе хотя бы одного элемента ТС выходят из строя, но интенсивность отказов элементов уменьшена за счет того, что нагрузка, которую должен был воспринимать один элемент, воспринимается несколькими элементами.

При пассивном резервировании наибольший выигрыш в надежности достигается в ТС с неизменной нагрузкой, наименьший – с резервированием по нагрузке.

Здесь следует подчеркнуть, что в ТС с активным резервированием происходит нарушение работы объекта на время с момента отказа основного элемента до момента включения резервного. Таким образом, если такой перерыв в работе ТС принципиально

недопустим, то, следовательно, метод пассивного резервирования является единственно возможным. И это один из самых существенных моментов, на который разработчик ТС должен обратить свое внимание при выборе между активным и пассивным методами резервирования.

Оба рассмотренных выше метода реализуются по *различным схемам резервирования*. Принципиального различия между видами схем резерва нет. Однако при этом все же различают резервирование *общее, автономное, отдельное, единичное, внутриэлементное, скользящее и с избирательными* схемами.

*Общее резервирование* состоит в резервировании ТС в целом и, благодаря своей простоте, этот способ наиболее известен (рис. 3.1.а).

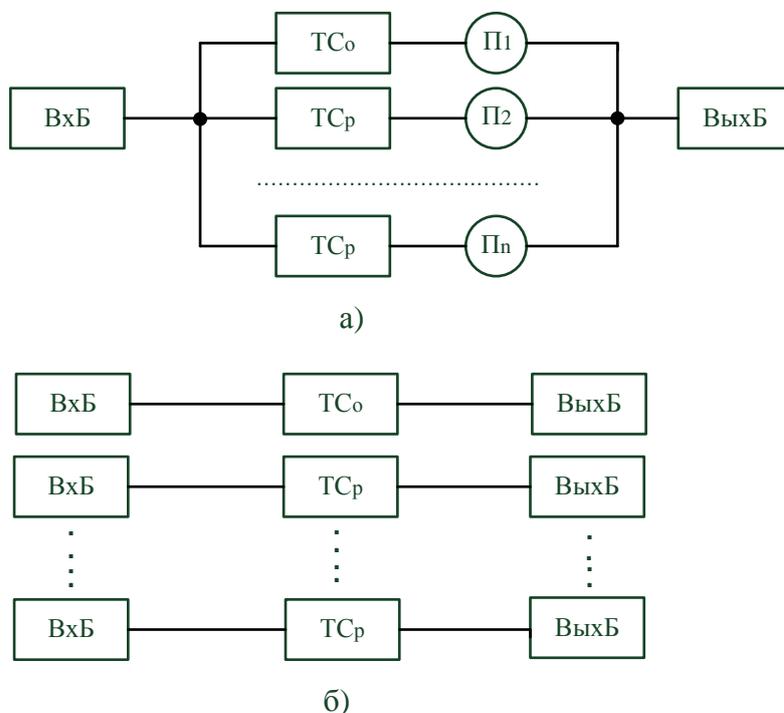


Рис. 3.1. Структуры общего резервирования:

а – схема общего активного резервирования;

б – схема автономного резервирования;

ВхБ – входной блок; ТС<sub>0</sub> – основные ТС; ТС<sub>р</sub> – резервные ТС; П<sub>і</sub> – переключатели; ВыхБ – выходной блок.

*Автономное резервирование* – один из вариантов общего. Оно состоит в применении нескольких независимых объектов, выполняющих одну и ту же задачу. Каждый из этих объектов имеет свой вход и выход и, обычно, независимые источники питания. Автономное резервирование обычно применяется при

проведении ответственных экспериментов в системах ответственного назначения. При этом автономное резервирование (рис. 3.1.б) всегда является пассивным.

*Раздельное резервирование* состоит в резервировании ТС по отдельным элементам или их группам (участкам). ТС с активным общим резервированием можно считать частным случаем ТС с раздельным резервированием при одном участке резервирования.

*Единичное резервирование* состоит в замене элементов ТС элементарными резервированными схемами (обычно пассивными). Единичное резервирование, при котором простейшие схемы резерва типовых элементов могут выполняться в виде готовых блоков (ячеек), часто оказывается удобным из-за простоты построения сложных резервированных ТС.

*Внутриэлементное резервирование* состоит в резервировании внутренних связей элемента. Если при единичном резервировании используются схемы из существующих элементов (ячейки), то применение внутриэлементного резервирования связано с изменением конструкции элемента.

*Скользящее резервирование* применяется в ТС с большим количеством одинаковых элементов. Оно состоит в том, что используется небольшое число резервных элементов, которые могут подключаться взамен любого из отказавших элементов основной ТС.

При *резервировании с избирательной схемой* сравниваются сигналы на выходе нечетного числа параллельно работающих устройств и во внешнюю цепь выдается сигнал, имеющийся на выходе большинства устройств. Избирательные схемы применяются в тех случаях, когда трудно установить, отказали или нет отдельные устройства.

*По способу включения резервных элементов* все рассмотренные выше схемы резервирования разделяются на схемы с постоянно включенным резервом (постоянное резервирование) и схемы резервирования замещением.

*Постоянное резервирование* – это такое резервирование, при котором резервные элементы участвуют в функционировании ТС наравне с основными. При этом основные и резервные элементы

могут иметь общий вход и общий выход, в частности, гальваническую связь по входу и выходу, а могут быть и автономными, т.е. не иметь такой связи. При постоянном резервировании в случае отказа основного элемента не требуется специальных переключательных устройств, вводящих в действие резервный элемент, поскольку он вводится в действие одновременно с основным.

*Резервирование замещением* – это такое резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного. При использовании этого вида резервирования необходимы контролирующие и переключающие устройства для обнаружения факта отказа основного элемента и переключения с основного на резервный.

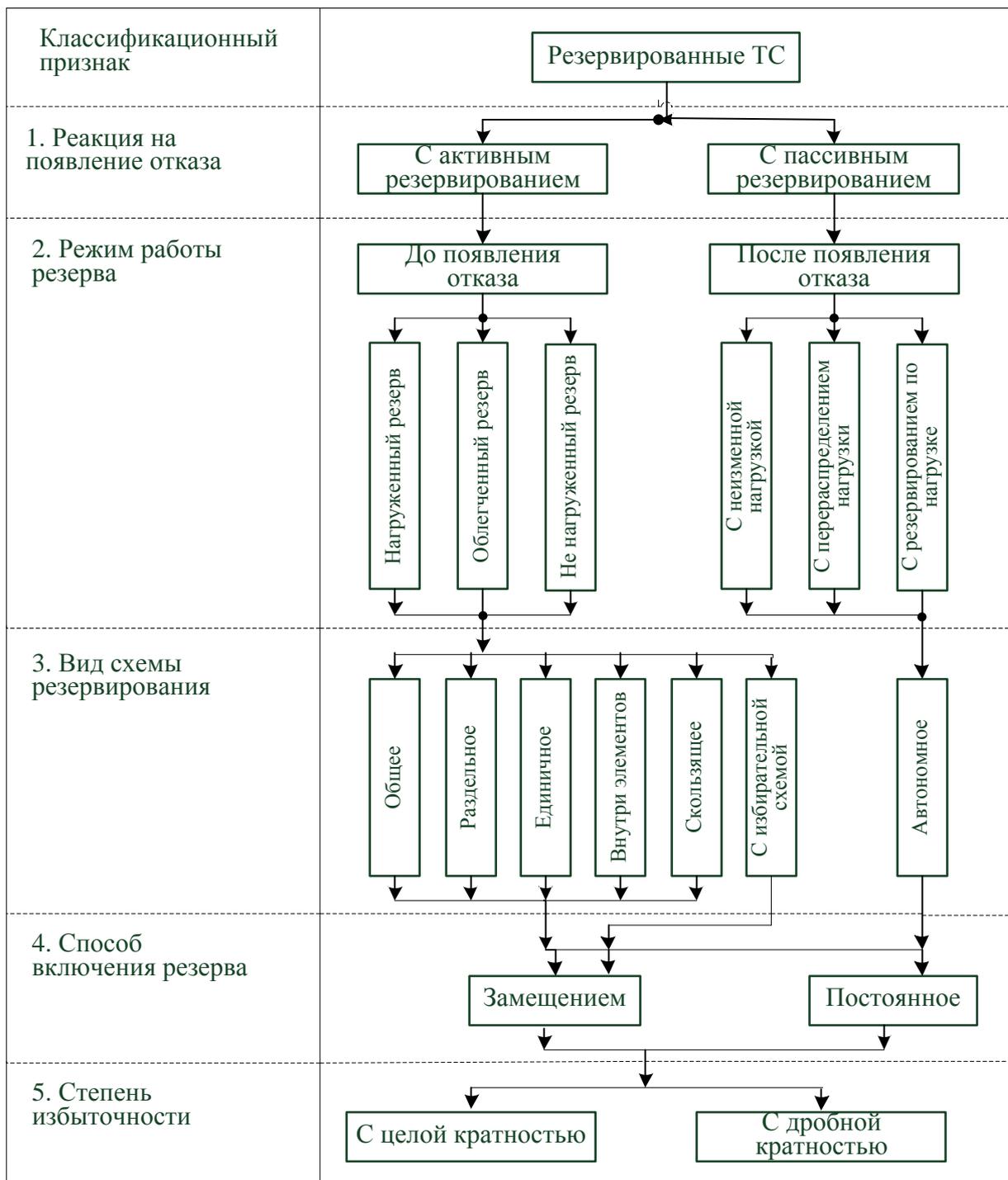
Еще одним классификационным признаком резервированных ТС является *степень избыточности*, которая характеризуется кратностью резервирования.

*Кратность резервирования* – это отношение числа резервных элементов к числу резервируемых или основных элементов ТС. Различают резервирование *с целой и дробной кратностью*. Резервирование с целой кратностью имеет место, когда один основной элемент резервируется одним и более резервными элементами. Резервирование с дробной кратностью имеет место, когда два и более однотипных элементов резервируются одним и более резервными элементами. Наиболее распространенным вариантом резервирования с дробной кратностью является такой, когда число основных элементов превышает число резервных. Резервирование, кратность которого равна единице, называется *дублированием*.

Надежность ТС в значительной степени определяется применением резервирования с восстановлением или без него. Резервирование, при котором работоспособность любого основного и резервного элементов ТС в случае возникновения отказов подлежит восстановлению в процессе эксплуатации системы, называется резервированием с восстановлением. В противном случае имеет место резервирование без восстановления.

Общая схема классификации резервированных технических систем представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Классификация резервированных ТС



### 3.2.1.2 Расчет надежности ТС при структурном резервировании

Для расчета надежности проектируемых ТС при использовании структурного резервирования обычно составляется *расчетно-логическая схема* резервированной системы. В большинстве случаев элементы ТС в этой схеме имеют параллельно-последовательное соединение.

В цепочке последовательно соединенных элементов отказ хотя бы одного из них приводит к выходу из строя всей цепочки. В резервированной группе параллельно соединенных элементов допускается выход из строя определенного числа элементов (в зависимости от кратности резервирования) без нарушения функционирования группы в целом.

Рассмотрим некоторые методы расчета показателей надежности (ПН) ТС со структурным резервированием с учетом следующих замечаний [83].

1. Расчет надежности для схем общего резервирования (рис. 3.1.а) можно осуществлять по расчетно-логической схеме одного резервированного элемента путем замены последовательно соединенных элементов (блоков, устройств, узлов) эквивалентными элементами, ПН которых находятся по известным формулам:

$$P(t) = \prod_{i=1}^K P_i(t), \quad (3.1)$$

$$\lambda_i(t) = \sum_{i=1}^K \lambda_i(t), \quad (3.2)$$

где  $P_i(t)$ ,  $\lambda_i(t)$  – соответственно, вероятность безотказной работы и интенсивность отказов  $i$ -го элемента;

$K$  – число последовательно соединенных элементов.

2. Для получения ПН ТС в целом при отдельном резервировании достаточно определить показатели надежности резервируемого элемента (блока, устройства, узла). В этом случае ПН всей ТС получают путем применения расчетных формул для основного соединения, в котором в качестве элементов выступают резервированные группы элементов.

3. В дальнейшем изложении многие расчетные формулы будут получены в предположении, что случайное время до отказа элемента распределено по экспоненциальному закону. Следует подчеркнуть, что это предположение многократно подтвердилось экспериментальным путем [83] в аппаратуре автоматики, построенной на элементах электроники и электротехники. В тех же случаях, когда фактическое распределение времени до отказа отличается от экспоненциального закона, его использование дает обычно заниженные оценки, т.е. нижние границы надежности аппаратуры.

4. Надежность резервированных ТС, особенно восстанавливаемых, в большой степени зависит от надежности аппаратуры встроенного контроля. Действительно, аппаратура контроля предназначена для определения факта отказа основной аппаратуры и выдачи команды устройству переключения на переход на резервную аппаратуру. Кроме того, аппаратура контроля служит также для локализации места неисправности. При расчетах надежности резервирования ТС надежность аппаратуры встроенного контроля может быть приближенно учтена путем включения в расчетно-логическую схему последовательно с резервированной группой элемента, соответствующего аппаратуре встроенного контроля.

*Общее резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью.*

Расчетно-логическая схема для постоянного включения резерва представлена на рис. 3.2.

На рисунке 3.2. основная цепь состоит из  $n$  – элементов  $O_1, O_2, \dots, O_n$ . Каждая из  $m$  резервированных цепей включает в себя также  $n$  элементов  $P_1, P_2, \dots, P_n$ . Для простоты рассуждений будем считать, что основная и резервные цепи имеют одинаковую надежность. Кратность такой схемы резервирования равна  $m$ . Следовательно, данная схема соответствует случаю, когда отказ ТС наступает при отказе всех  $(m+1)$  цепей как основной, так и резервных.

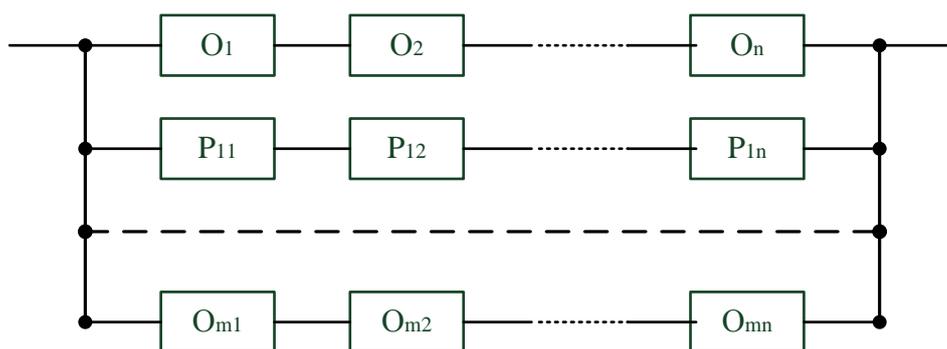


Рисунок 3.2. Общее резервирование с постоянно включенным резервом

Будем считать также, что основная и резервная цепи включаются в работу одновременно (нагруженный резерв), но используется лишь одна цепь – основная. При отказе основной цепи ее функции без всякого перерыва начинает выполнять одна из резервных.

В этом случае вероятность безотказной работы резервированной ТС будет определяться по следующей формуле:

$$P_{ТС}(t) = 1 - [1 - \prod_{i=1}^n P_i(t)]^{m+1} \quad (3.3)$$

где  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента в течение времени  $t$ ;

$n$  – число элементов основной или любой резервной цепи;

$m$  – кратность резервирования.

Если время до отказа каждой цепи резервированной ТС распределено по экспоненциальному закону, то в этом случае имеем для вероятности безотказной работы:

$$P_{ТС}(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda_0 t}]^{m+1} \quad (3.4)$$

Средняя наработка на отказ для экспоненциального распределения будет равна:

$$T_{ТСср} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} = T_{ср0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1}, \quad (3.5)$$

где  $\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i$  – интенсивность отказов основной цепи или любой из резервных;

$T_{ТСср}$  – средняя наработка до отказа основной цепи или любой из резервных.

*Раздельное резервирование с постоянно включенным резервом и целой кратностью*

Расчетно-логическая схема для такого типа резервирования представлена на рисунке 3.3.

При раздельном резервировании каждый элемент основной цепи  $O_i$  имеет свои резервные элементы  $P_i$  и соответственно свою кратность резервирования  $m_i$  (рис. 3.3.). В частном случае кратность резервирования может быть и одинаковой для всех основных элементов. Следовательно, при расчете надежности таких резервированных ТС в случае нагруженного резерва можно использовать формулы (3.3.) ÷ (3.5.) для элементов основной цепи, а затем, используя выражение (3.1.), определять ПН ТС в целом.

С учетом изложенного, вероятность безотказной работы ТС с раздельным резервированием будет определяться как:

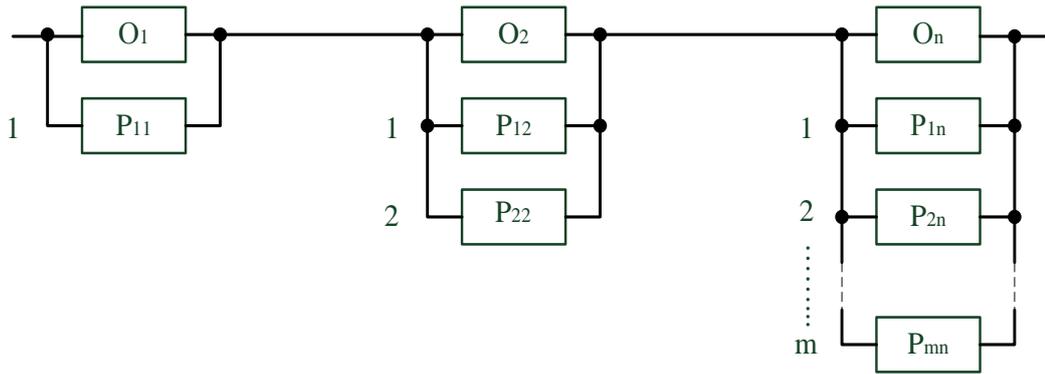


Рисунок 3.3. Раздельное резервирование с постоянно включенным резервом

$$P_{TC}(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - P_i(t)]^{m_i+1}\} \quad (3.6)$$

При экспоненциальном распределении будет равна:

$$P_{TC}(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - e^{-\lambda_i t}]^{m_i+1}\} \quad (3.7)$$

В частном случае, при равной надежности основных и резервных элементов, а также одинаковой кратности резервирования получим:

$$P_{TC}(t) = \{1 - [1 - e^{-\lambda_0 t}]^{m_i+1}\}^n \quad (3.8)$$

Средняя наработка на отказ при этом будет определяться из следующей формулы:

$$T_{TCcp} = \int_0^{\infty} P_{TC}(t) dt = \frac{(n-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{v_i(v_i+1)\dots(v_i+n+1)} \quad (3.9)$$

где  $v_i = (i+1)/(m+1)$ .

*Общее и раздельное резервирование замещением и целой кратностью*

Расчетно-логические схемы общего и раздельного резервирования замещением представлены на рис. (3.4.а.) и (3.4.б.).

При общем резервировании замещением и нагруженном резерве (рис. 3.4.а.) для подсчета  $P_{TC}(t)$  и  $T_{TCcp}$  обычно используют выражения (3.3) ÷ (3.5).

При ненагруженном резерве и экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы вероятность  $P_{TC}(t)$  и средняя наработка  $T_{TCcp}$  определяются из следующих выражений:

$$P_{TC}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}; \quad (3.10)$$

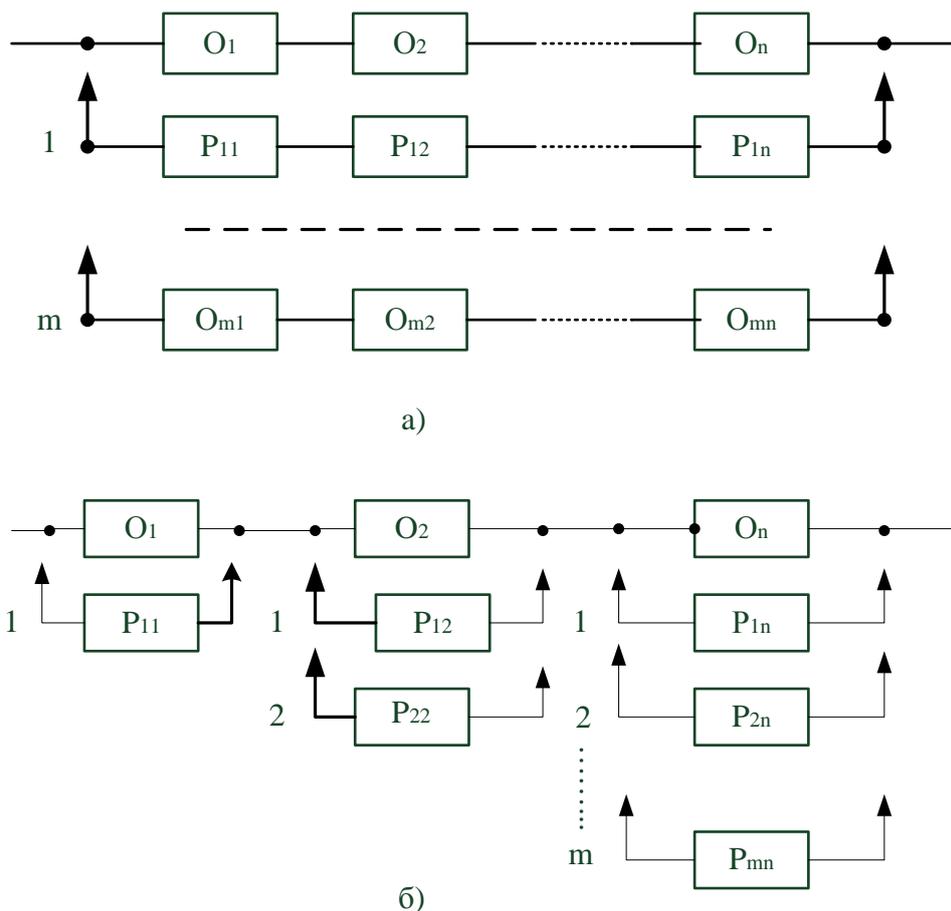


Рисунок 3.4. Резервирование замещением:  
а – общее; б – раздельное.

$$T_{\text{ТСср}} = T_{\text{срo}}(m+1), \quad (3.11)$$

где  $\lambda_0$ ,  $T_{\text{срo}}$  – интенсивность отказов и средняя наработка до отказа основной цепи ТС.

При облегченном резерве и экспоненциальном распределении соответственно имеем:

$$P_{\text{ТС}}(t) = e^{-\lambda_0 t} \left[ 1 + \sum_{i=0}^m \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1 t})^i \right]; \quad (3.12)$$

$$T_{\text{ТСср}} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1 + ik}; \quad (3.13)$$

где  $a_i = \prod_{j=0}^{i-1} \left( j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right)$ ;  $k = \frac{\lambda_1}{\lambda_0}$ ;

$\lambda_1$  – интенсивность отказов резервной цепи до замещения.

В случае раздельного резервирования замещением (рис. 3.4.б.), как уже говорилось, каждый элемент основной цепи  $O_1, O_2, \dots, O_n$  имеет свои резервные элементы  $P_i$  и, соответственно, свою контактность резервирования  $m_i$ , которая в частном случае может быть и одинаковой для всех основных элементов. Следо-

вательно, объединяя в отдельную группу каждый элемент основной цепи вместе со своими резервными элементами, мы получаем последовательное соединение отдельных резервированных групп, которые в совокупности и составляют резервированную ТС в целом.

Таким образом, расчет надежности каждой резервированной группы элементов можно произвести по известным уже формулам общего резервирования замещением:

- для нагруженного резерва использовать формулы (3.3) ÷ (3.5);

- для ненагруженного – (3.10), (3.11);

- для облегченного – (3.12), (3.13).

Для определения ПН резервированных ТС в целом расчет ведется в дальнейшем по известной формуле для последовательного соединения элементов (3.1). Отсюда вероятность безотказной работы ТС с отдельным резервированием замещением может быть определена из выражения:

$$P_{ТС}(t) = \prod_{i=1}^n P_n(t), \quad (3.14)$$

где  $P_n(t)$  – вероятность безотказной работы групп, резервированных по способу замещения элементов основной цепи ТС  $i$ -го типа.

$P_n(t)$  вычисляется по формулам (3.3)÷(3.5), (3.10)÷(3.13).

Все приведенные выше расчетные соотношения получены для случая *«идеального» переключателя*. На практике все переключатели имеют отказы, причем самого различного характера. Среди них следует отметить:

1) несрабатывание при отказе основной аппаратуры, в результате чего резервный элемент не будет включен взамен отказавшего основного, что приведет к отказу резервированной группы;

2) ложное срабатывание, в результате чего произойдет переключение на резерв при исправной основной аппаратуре, что приведет к уменьшению времени до отказа группы в целом;

3) отказы, которые выводят из строя резервную группу в целом.

Учет всех этих обстоятельств существенно усложняет определение ПН резервированной группы и полностью приводится

не будет. Здесь мы рассмотрим приближенное решение этой задачи, учитывая только отказы переключателя первой и третьей групп из вышеуказанных.

Схема для такого случая расчета надежности приведена на рис. 3.5.

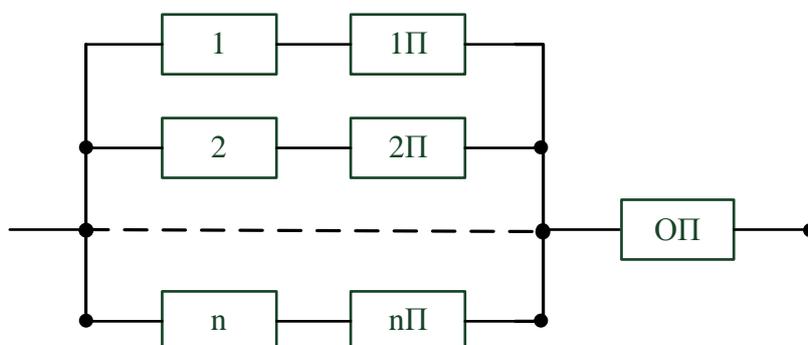


Рисунок 3.5. Расчетно-логическая схема резервированной группы с переключением

Элементы переключателя, отказы которых приводят к отказу резервной группы в целом, условно выделяются в отдельный блок ОП (общие элементы переключателя), включаемый последовательно с резервной группой.

Каждая ветвь резервной группы состоит из последовательно соединенных основного либо резервного элемента  $1, 2, 3, \dots$  и элементов переключателя П, которые управляет данной ветвью, и отказы которых выводят из строя данную ветвь. Вероятность безотказной работы резервной группы в этом случае в течение времени с учетом ненадежности переключателя и при указанных выше допущениях может быть определена по следующей формуле:

$$P_{РГ}(t) = \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)P_{iП}(t)] \right\} P_{ОП}(t) \quad (3.15)$$

где  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы основного либо резервного элемента;

$P_{iП}(t)$  - вероятность безотказной работы совокупности элементов переключателя, которые осуществляют включение  $i$ -й ветви резервной группы;

$P_{ОП}(t)$  - вероятность безотказной работы совокупности элементов переключателя, отказы которых приводят к отказу резервной группы в целом.

### Резервирование с дробной кратностью

Расчетно-логическая схема одного из вариантов общего резервирования с постоянно включенным резервом и дробной кратностью приведена на рис.3.6.

В рассматриваемой схеме используется  $n$  основных и  $(l-n)$  резервных элементов ( $l$  – общее число основных и резервных элементов).

При этом  $(l-n) > n$  и, следовательно, мы имеем дробную кратность резервирования равную  $m = (l-n)/n$ .

На основании ранее проведенных для других видов резервирования рассуждений можно получить выражения для вероятности безотказной работы и средней наработки на отказ для рассматриваемого случая общего резервирования ТС с дробной кратностью и постоянно включенным резервом при экспоненциальном распределении:

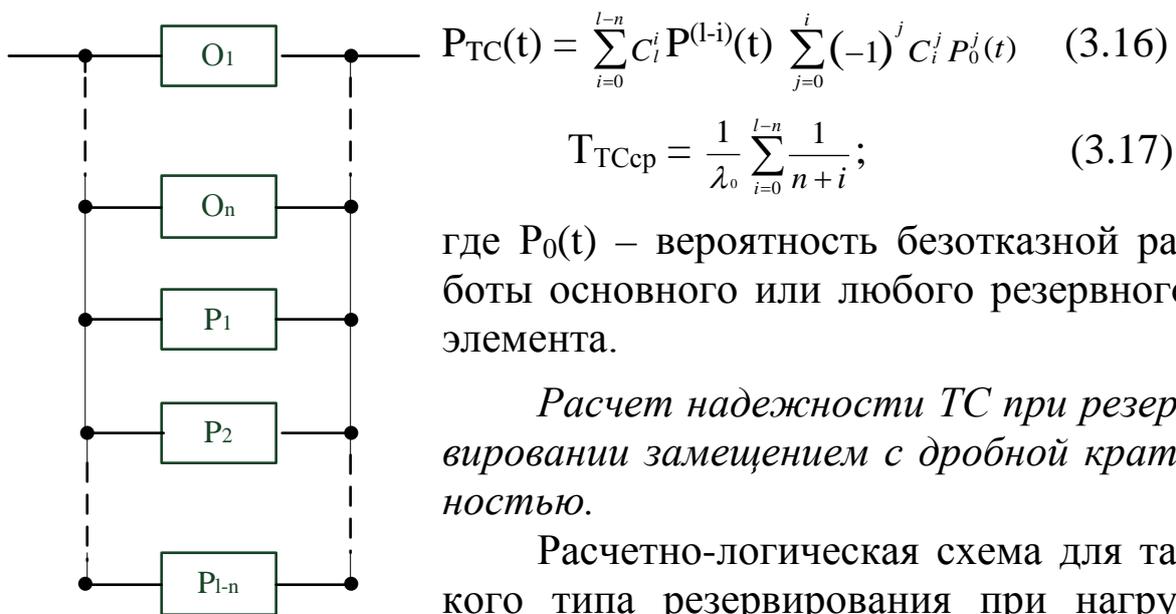


Рисунок 3.6. Дробное резервирование

$$P_{ТС}(t) = \sum_{i=0}^{l-n} C_l^{l-i} P^{(l-i)}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j P_0^j(t) \quad (3.16)$$

$$T_{ТСср} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^{l-n} \frac{1}{n+i}; \quad (3.17)$$

где  $P_0(t)$  – вероятность безотказной работы основного или любого резервного элемента.

*Расчет надежности ТС при резервировании замещением с дробной кратностью.*

Расчетно-логическая схема для такого типа резервирования при нагруженном резерве приведена на рис. 3.7. Резервованная ТС состоит из  $n$  основных однотипных и  $(v-n)$  резервных элементов, находящихся в нагруженном резерве ( $n > (v-n)$ ), где  $v$  – общее число основных и резервных элементов ТС.

При отказе одного из основных элементов на его место без перерыва в работе включается один из резервных.

Причем резервные элементы также могут отказывать. Таких замещений, не нарушающих работу ТС в целом, может быть не более  $(v-n)$ .

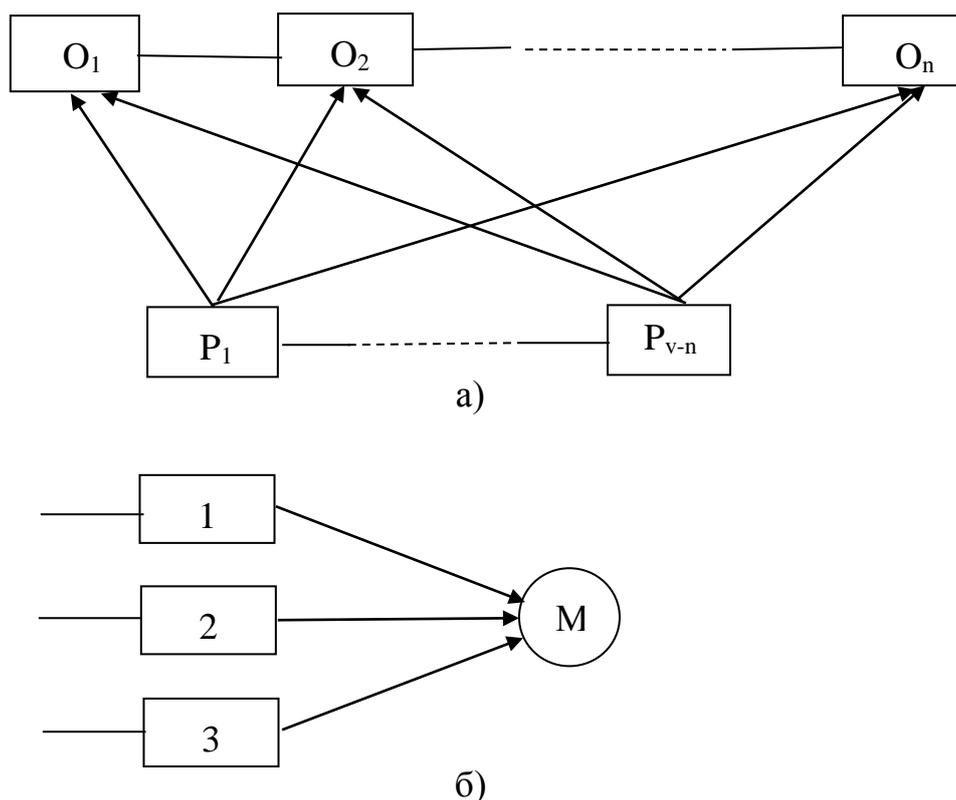


Рисунок 3.7. Резервирование замещением  
а – с дробной кратностью; б – мажоритарное.

Средняя наработка до отказа такой ТС в предположении абсолютно надежных переключающих устройств и равнонадежных элементов, каждый из которых имеет одинаковую интенсивность отказов  $\lambda_0$ , может быть определена по формуле:

$$T_{\text{ТС ср}} = \frac{1}{\lambda_0} \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{n+1} + \dots + \frac{1}{v} \right), \quad (3.18)$$

Вероятность безотказной работы резервированной ТС в течение времени  $t$  для данного случая (рис. 3.7.а.) определяется из следующего выражения:

$$P_{\text{ТС}}(t) = \sum_{i=0}^{v-n} C_v^i [1-P_0(t)]^i [P_0(t)]^{v-i}. \quad (3.19)$$

Рассмотрим частный случай резервирования с дробной кратностью, а именно мажоритарное резервирование, которое часто используется в устройствах дискретного действия (рис. 3.7.б.).

При мажоритарном резервировании вместо одного элемента (канала) включается три идентичных элемента (канала), выходы которых подаются на мажоритарный орган  $M$  (элемент приоритета). Если все элементы такой резервированной группы исправны,

то на вход М поступают три одинаковых сигнала и такой же сигнал поступает во внешнюю цепь с выхода М. Если один из трех резервированных элементов отказал, то на вход М поступают два одинаковых сигнала (истинных) и один сигнал ложный. На выходе М будет сигнал, совпадающий с большинством совпадающих сигналов на его входе, т.е. мажоритарный орган осуществляет операцию определения приоритета или выбора по большинству.

Следовательно, условием безотказной работы является безотказная работа любых двух элементов из трех и мажоритарного органа в течение заданного времени  $t$ .

Применяя выражение (3.19.) для  $n = 2$  и  $(1 - n) = 1$  с учетом вероятности безотказной работы в течение времени мажоритарного органа  $P_M(t)$ , получим формулу для определения вероятности безотказной работы ТС с мажоритарным резервированием:

$$P_{ТС}(t) = P_M(t)[3 P_0^2(t)] - 2 P_0^3(t). \quad (3.20)$$

В случае ненагруженного резерва при резервировании с дробной кратностью (рис. 3.7.а.), (заметим, что такой вид резервирования называют часто скользящим) отказ одного из  $n$  основных однотипных элементов приводят к включению на его место одного из  $(v-n)$  резервных. При этом по условию элементы, находящиеся в резерве, отказывать не могут до их включения на место отказавшего основного элемента.

Исходя из этого условия и учитывая, что в процессе нормального функционирования ТС в работе находится постоянно  $n$  элементов, интенсивность отказов каждого из которых равна  $\lambda_0$ , средняя наработка до отказа и вероятность безотказной работы в целом за время  $t$  при экспоненциальном распределении могут определяться из следующих выражений:

$$T_{ТСср} = \frac{1}{\lambda_0} \binom{v-n+1}{n} = T_{ср0} \binom{v-n+1}{n} \quad (3.21)$$

$$P_{ТС}(t) = e^{-n\lambda t} \sum_{i=0}^{v-n} \frac{(n\lambda t)^i}{i!} = e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{v-n} \frac{\lambda t}{i!}, \quad (3.22)$$

где  $T_{ср0}$  – средняя наработка на отказ основного и резервного элемента;

$\lambda = n\lambda_0$  – интенсивность отказов основной цепи ТС.

В рамках данной работы не планировалось полнообъемное рассмотрение вопросов повышения надежности ТС за счет резер-

вирования. Здесь рассмотрены основные понятия и классификация способов структурного резервирования, способы повышения надежности за счет введения избыточности и некоторые методы расчета показателей надежности ТС со структурным резервированием. При необходимости более широкого изучения вопросов повышения надежности ТС за счет применения различных способов резервирования рекомендуется обратиться к первоисточникам [1, 3, 5 и др.].

### 3.2.2 Особенности обеспечения надежности ИТС с учетом надежности программного обеспечения

#### 3.2.2.1 Общие положения

Надежность программного обеспечения (ПО) является наиболее неоднозначной предметной областью в теории и практике надежности [6]. При этом проблема оценки качества ПО является очень важной, поскольку именно ПО во многом определяет функциональность информационной системы или, другими словами, ее пользовательские характеристики. В международном стандарте ISO 9126:1991 [84] надежность выделена как одна из основных характеристик качества ПО.

Вместе с тем, попытки механического распространения математических моделей и методов традиционной теории надежности для оценки надежности ПО оказались практически безуспешными. Все классические понятия теории надежности (среднее время безотказной работы, среднее время восстановления, отказ и другие) применительно к ПО требуют самостоятельных трактовок.

Рассмотрим особенности методических вопросов применительно к ПО позиций основных постулатов, принятых в теории надежности, а именно [6]:

- случайная природа отказов;
- зависимость появления отказов от времени;
- независимость отдельных отказов (или вероятностная зависимость).

Прежде всего отметим, что отказы ПО имеют скорее псевдослучайный, чем случайный характер: они возникают всякий раз, когда повторяются породившие их условия. В некотором смысле, отказы программного обеспечения не являются «объек-

тивными», они зависят от вида выполняемых операций, от характера входных данных, наконец, даже от особенностей работы пользователя, т.е. от человеческого фактора.

Отказы программного обеспечения не зависят от времени так, как это принято понимать: если вы не используете программу, она не может отказаться.

Наконец, о независимости отказов. Для компьютерных программ нет понятия выборки, все программы идеально репродуцируются («cloning»). Замена «отказавших» программ не имеет смысла, т.к. это происходит при замене аппаратных компонентов изделия.

Кратко рассмотрим некоторые подходы к исследованию вопросов надежности программного обеспечения с учетом этапов жизненного цикла программного обеспечения (ЖЦПО). В [85] выделено шесть этапов ЖЦПО:

1. Анализ требований, предъявляемых к системе.
2. Определение спецификаций.
3. Проектирование.
4. Кодирование или собственно программирование.
5. Тестирование.
6. Эксплуатация и сопровождение.

На первом этапе определяются требования к ПО на основе требований к ИС, выполнение которых позволяет получить приемлемое решение проблемы. Он является важнейшим и оказывает влияние на дальнейшую разработку ПО. Ошибки, допущенные на этом этапе, обходятся очень дорого. По существу, именно на этом этапе необходимо обосновать рациональное распределение требований между аппаратным и программным компонентами ИС.

На этапе определения спецификации осуществляется точное описание функций ПО. Чем подробнее составлены спецификации, тем меньше вероятность возникновения ошибок в реализации системы. Однако любая ошибка в спецификации приводит к ошибке в ПО при сколь угодно квалифицированном программировании.

На этапе проектирования разрабатываются алгоритмы, реализующие требования спецификации и формируется общая структура системы ПО. Система разбивается на функционально

законченные модули, к которым также формулируются требования и спецификации. Четкое и логичное деление ПО на модули с минимальным интерфейсом между ними приводит к повышению надежности. И, напротив, механическое разделение ПО на модули по несущественным признакам (например, по объему программы) обычно приводит к усложнению межмодульного взаимодействия и, как следствие, к ошибкам ПО.

На этапе кодирования ошибки в основном устраняются с использованием синтаксических возможностей транслятора языка программирования. Устранение семантических ошибок, которое, по существу, начинается на этапе тестирования, может повлечь значительные затраты, иногда превышающие общие расходы на создание системы.

После завершения тестирования система ПО передается заказчику для эксплуатации. В период эксплуатации выявляются ошибки, требующие исправления. Исправление ошибок осуществляется разработчиком в процессе сопровождения. Под сопровождением понимается процесс изменения эксплуатируемого ПО (доработки ПО направленные на устранение ошибок, выявляемых в процессе эксплуатации) и отражение этих изменений в документации.

Проблема надежности программного обеспечения имеет две важнейших составляющих: первая связана с обеспечением надежности ПО; вторая – с оценкой надежности ПО [86].

Практически вся имеющаяся литература на эту тему посвящена первой составляющей, а именно – уменьшению числа ошибок в ПО на всех этапах его создания (и продолжается в процессе эксплуатации). Для обеспечения надежности программ предложено множество подходов, включая организационные методы разработки, различные технологии и технологические программные средства.

Представленные в доступной литературе модели обеспечения надежности программных средств подразделяются на *аналитические* и *эмпирические*. Аналитические модели дают возможность рассчитать количественные показатели надежности, основываясь на данных о поведении программы в процессе тестирования. Эмпирические модели базируются на анализе структурных особенностей программ.

Аналитические модели представлены двумя группами *динамические* и *статические* [87]. В динамических моделях (модель Шумана, модель Ла Падула, модель Джелинского – Моранды, модель Шика – Волвертона, модель Муса, модель переходных вероятностей и др.) поведение ПО (появление отказов) рассматривается во времени. Если фиксируются интервалы каждого отказа, то получается непрерывная картина появления отказов во времени (модели с непрерывным временем). Может фиксироваться только число отказов за произвольный интервал времени. В этом случае поведение ПО может быть представлено только в дискретных точках (модели с дискретным временем). В статических моделях появление отказов не связывают со временем, а учитывают зависимость количества ошибок либо от числа тестовых прогонов (модель Миллса, модель Липова, простая интуитивная модель, модель Коркорена и др.), либо от характеристики входных данных (модель последовательности испытаний Бернулли, модель Нельсона).

К *эмпирическим* моделям относятся *модель сложности* и *модель, определяющая время доводки программ*. В модели сложности ПО характеризуется его размером (количеством программных модулей), количеством и сложностью межмодульных интерфейсов. Под программным модулем в данном случае понимается программная единица, выполняющая определенную функцию и взаимосвязанная с другими модулями ПО. Существует несколько разновидностей модели сложности. В каждой из них дается некая оценка сложности программы, которая считается пропорциональной ее надежности.

В модели, определяющей время доводки программ анализ модульных связей ПО строится на том, что каждая пара модулей имеет конечную (возможно, нулевую) вероятность того, что изменения в одном модуле вызовут изменения в другом. Данная модель позволяет на этапе тестирования, а точнее при тестовой сборке системы, определять возможное число необходимых исправлений и время, необходимое для доведения ПО до рабочего состояния.

Практика разработки и применения ПО определила преимущественную значимость задачи обеспечения надежности над задачей ее оценки. Ситуация выглядит парадоксально: очевидно,

что прежде чем обеспечивать надежность, следует научиться ее измерять. Но для этого нужно иметь практически приемлемую единицу измерения надежности ПО и модель ее расчета.

Программа считается правильной, если она не содержит ошибок. Такая программа не дает неверных результатов, т.е. она абсолютно надежна. Этот факт породил ложное представление о том, что число ошибок в программе можно считать наиболее естественной мерой надежности ПО. Так, в известных работах [6, 60, 84-88] предлагались различные методы оценки числа оставшихся в программе ошибок по результатам ее тестирования, в том числе метод "засорения" известными ошибками. Однако, как показывают приводимые ниже соображения [86], количество ошибок в программе не имеет никакого отношения к ее надежности:

1. Число ошибок в программе - величина "ненаблюдаемая", наблюдаются не сами ошибки, а результаты их проявления.

2. Неверное срабатывание программы может быть следствием не одной, а сразу нескольких ошибок.

3. Ошибки могут компенсировать друг друга так, что после исправления какой-то одной ошибки программа может начать "работать хуже".

4. Надежность характеризует частоту проявления ошибок, но не их количество.

В то же время хорошо известно, что ошибки проявляются с разной частотой: некоторые ошибки остаются не выявленными после многих месяцев и даже лет эксплуатации, но, с другой стороны, нетрудно привести примеры, когда одна единственная ошибка приводит к неверному срабатыванию программы при любых исходных данных, т.е. к нулевой надежности.

Наконец, важно подчеркнуть, что с точки зрения надежности в результате исправления ошибки или любой другой коррекции получается новая программа с другим показателем надежности.

Таким образом, число ошибок в программе характеризует скорее не программу, а ее разработчиков и используемые инструментари.

### 3.2.2.2 Предложения по учету надежности программного обеспечения в процессе оценки надежности эксплуатируемых аппаратно-программных средств ИТС

Методы расчета надежности информационных систем (ИС) с учетом надежности ПО пока не регламентируются нормативно-техническими документами. Основная направленность и последовательность расчета программной надежности в принципе совпадает с методами расчета технической (аппаратурной) надежности. На этапах разработки и отладки программ производится оценка их на соответствие требованиям ТЗ, в соответствии с ГОСТ 28195-89 [89]. По результатам вырабатываются характеристики надежности программ, которые должны отражать следующее:

- интенсивность отказов программы (обнаруженную и прогнозируемую);
- вероятность безотказной реализации программы (обнаруженную и прогнозируемую);
- прогнозируемое среднее время восстановления работоспособности программы после отказов.

Расчет надежности производится с использованием двух методов: ориентировочного и расчетно-экспериментального.

Существо ориентировочного метода состоит в следующем. В оцениваемую структуру включается фиктивный блок – «программное изделие» с характеристиками надежности, полученными либо из паспорта «программного изделия», либо из результатов его испытаний. Затем, используя рассмотренные методы, рассчитывают надежность всей структуры. Даже такой ориентировочный расчет позволяет дать сравнительную характеристику влияния технических средств и ПО на надежность ИС.

Расчетно-экспериментальный метод учитывает влияние на надежность ИС надежности ПО, определенной на этапе совместных испытаний КТС и программ. Расчет производится по обычным правилам, т.е. с использованием логических моделей, структурных схем, графов событий. В качестве показателей надежности системы применяют программно-аппаратные показатели надежности, т. е. показатели надежности программно-управляемых частей ИС под управлением реальной программы. Естественно, что при этом получают различные результаты опреде-

ления значений показателей надежности системы для различных функций, реализуемых ею. Фактически ведется расчет функциональной надежности, так как исследуется надежность выполнения каждой функции.

Как уже отмечалось выше, относительно надежности программного обеспечения существует много противоречивых мнений. Однако большинство специалистов единодушны в том, что природа надежности программных и технических средств различна. Вместе с тем, следует учитывать тот факт, что при анализе некоторых свойств ПО, проявляющихся при его функционировании, приходится пользоваться категориями надежности (работоспособность, отказ, сбой, восстановление и др.). Поэтому, в номенклатуре показателей, характеризующих свойства ПО, признано целесообразным выделить в отдельную группу показатели, близкие по своим внешним проявлениям показателям надежности аппаратуры. Эта группа названа *показателями надежности функционирования*.

Действительно, в процессе эксплуатации аппаратно-программного средства для пользователя ИТС чаще всего не важно, по какой причине произошел отказ АПС (ошибка в программе или отказ оборудования), важно то, что данное АПС перестало выполнять возложенные на него функции. Поэтому для пользователя произошел отказ АПС.

С этой точки зрения, при оценке надежности эксплуатируемых аппаратно-программных средств ИТС, должны одинаково учитываться как отказы, вызванные ошибками программного обеспечения, так и отказы, вызванные неисправностью оборудования. Поэтому, при вычислении показателей надежности АПС, можно использовать выражения (1.1–1.4) при  $i = k + q$ , где  $k$  – количество отказов АПС из-за ошибок в ПО,  $q$  – количество отказов АПС из-за неисправности оборудования.

Другое дело, что с точки зрения персонала ответственного за эксплуатацию АПС процессы восстановления работоспособности АПС отличаются в зависимости причины отказа. При неисправности оборудования в любом случае требуется проведение ремонтно-восстановительных работ. Причины программного отказа чаще всего устраняются перезагрузкой программного обеспечения, однако в некоторых случаях для устранения отказа (ис-

правления ошибки в ПО) требуется привлечение разработчика программного обеспечения, в котором выявлена ошибка.

### 3.2.3 Диагностика средств вычислительной техники

Диагностика СВТ направлена на своевременное обнаружение факта отказа и на сокращение времени восстановления отказавших аппаратно-программных средств за счет локализации места возникновения неисправности различными средствами диагностики (аппаратными, программными, аппаратно-программными) различной глубины локализации.

В общем случае ремонт СВТ заключается [90]:

- в анализе симптомов отказа;
- в предварительном тестировании;
- в сокращении аппаратной и программной конфигурации вычислительных средств, для выделения отказавшего устройства;
- в углубленной диагностике неисправного устройства, для локализации места возникновения неисправности, до узла или компоненты схемы;
- в замене отказавшего узла, компоненты, или восстановлении работоспособности схемы устранением дефекта в монтаже, разъемном соединении и т.д.

Таким образом, процесс ремонта СВТ практически полностью состоит из диагностики АПС и включает пять этапов:

1. Анализ ситуации отказа;
2. Тестирование;
3. Ремонт;
4. Тестирование после ремонта;
5. Восстановление рабочей конфигурации и проверка функционирования.

К наиболее известным и типичным неисправностям ПК относится так называемое «зависание» или отказ в запуске системы при первом включении. Чаще обычного такого типа сбой может быть инициирован переходными процессами при загрузке. К ним относится, например, резкий перепад температуры на некоторых участках схемы, нестабильная работа чипов, плохой контакт модуля оперативной памяти или микросхемы и так далее. Если имеется такая проблема, то устранение отказа заключаться в простом перезапуске ПК.

В случае если при повторной перезагрузке ситуация не изменилась, тогда необходимо выявить характер проблемы: программная, аппаратная или аппаратно-программная неполадки. Определение типа поломки, воспользовавшись данной схемой классификации неисправностей, это гарантия того, что уже на 80% ремонт компьютеров будет произведен правильно. Следующий шаг - локализация проблемы, то есть распознавание конкретного неисправного блока, узла, либо микросхемы. Важно осознать, что в компьютерном сервисе для пользователя или специалиста по ремонту компьютеров основную задачу будет составлять диагностика и выявление причины (80% - 90% затраченного времени приходится на решение данной проблемы).

Диагностика неисправностей ЭВМ имеет два аспекта: аппаратный и программный.

*Аппаратный аспект* подразумевает использование аппаратных средств диагностики — стандартной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), специальной КИА, сервисных плат, устройств и комплексов.

При аппаратном методе диагностики, используются инструменты и приборы для измерений напряжений, параметров сигналов и логических уровней в схемах радиоэлектронных средств (РС). Этот метод требует глубоких знаний логики работы РС, микросхемотехники, радиоэлектроники, электро-радиоизмерительной аппаратуры и определенных навыков работы с сервисным тестовым оборудованием.

Следует отметить, что чисто аппаратная диагностика практически не встречается. Чисто аппаратной можно считать диагностику отдельных узлов ЭВМ, таких как типовой элемент замены (ТЭЗ), которые проверяются не при автоматическом выполнении АПС проверочных тестов, а при подаче тестирующих последовательностей на исследуемый узел непосредственно от сервисного устройства, например, от установки тестового контроля цифровых плат и ТЭЗ, или генератора стимулирующих воздействий.

*Программный аспект* диагностики подразумевает использование тестирующих программ различных классов: микропрограммные тесты, встроенные тест-программы, внешние тест-

программы общего применения, внешние тест-программы углубленного тестирования.

При программном методе диагностики, большая часть диагностических процедур возлагается на диагностические программные средства. Этот метод требует определенных знаний различных диагностических программ, начиная с POST-программы и кончая программными средствами углубленной диагностики компонент вычислительной системы (ВС).

Тем не менее, насколько трудно обойтись без программных средств диагностики, настолько и невозможно точно определить место неисправности с точностью до компонента схемы (интегральной микросхемы, большой интегральной микросхемы, конкретного электро-радио элемента), или до конкретной цепи, без применения аппаратных средств диагностики (осциллографа, мультиметра и т.д.).

### 3.2.3.1 Аппаратные средства диагностики радиоэлектронных средств.

*Стандартная контрольно-измерительная аппаратура* используется для замеров уровней напряжений, токов, сопротивлений, наблюдения осциллограмм сигналов в контрольных точках, измерений параметров электрических сигналов, можно использовать обычную, стандартную КИА, с характеристиками, соответствующими измеряемым сигналам и их параметрам.

К ним относятся: низковольтный тестер (с напряжением питания не более 1,5 В, но лучше — цифровой мультиметр); различные виды осциллографов (обычный, телевизионный, многоканальный, запоминающий); частотомер; генератор прямоугольных импульсов (вырабатывающий непрерывную последовательность импульсов с заданными параметрами и использующийся совместно с осциллографом).

*Специальная контрольно-измерительная аппаратура.*

При исследовании процессов в цифровой технике, стандартной КИА часто оказывается недостаточно - слишком велика трудоемкость регистрации и сравнения столь длинных неповторяющихся последовательностей импульсов, которые характерны для работы процессора, контроллеров и других узлов схемы компьютера. Поэтому развитие микропроцессорных систем потребо-

вало разработки широкого спектра специализированных приборов и сервисных средств регистрации цифровых логических сигналов, двоичных последовательностей и состояний узлов СВТ, начиная с простых логических пробников, фиксирующих наличие логических нуля или единицы в исследуемой точке, и кончая логическими анализаторами. Последние позволяют регистрировать входные и выходные двоичные последовательности для исследуемых узлов, автоматически сравнивать их с эталонными и сообщать оператору о месте и характере несовпадений логических состояний цифровой схемы с эталонными.

Наиболее широко известны и применяются в практике диагностики СВТ следующие приборы и устройства нестандартной контрольно-измерительной аппаратуры: логический пробник, индикатор тока, пульсатор, тест клипсы, сигнатурный анализатор, логический анализатор.

#### *Сервисные платы и комплексы.*

Для облегчения диагностики неисправностей РС, промышленностью выпускаются несколько типов сервисных плат. Наиболее популярны сервисные платы: RACER, ROM&DIAG, HD-tester, AnalBus (Анализатор шины).

Главное их достоинство состоит в том, что платы RACER и ROM&DIAG, имея встроенные ПЗУ с тестовыми программами, перехватывают на себя управление и запускают свою собственную программу тестирования компонент РС. Анализатор шины не имеет собственного ПЗУ с программой, а использует тест-программу, запускаемую стандартным образом. Таким образом, с помощью сервисных плат можно, в первом приближении, протестировать РС, который даже не выполняет загрузки ОС и, следовательно, недоступен для тестирования внешней тестирующей программой. Такое, даже предварительное, тестирование трудно переоценить. Так, если при включении, компьютер ничего не выполняет, ничего не сообщает, экран дисплея пуст, и неизвестно с чего начинать, можно, вставив сервисную плату в свободный слот расширения и включив питание компьютера, получить первичные сообщения программы сервисной платы о том, какая из подсистем или компонент РС неисправна и принять меры к "оживлению" компьютера настолько, чтобы получить возможности более углубленного его тестирования.

### 3.2.3.2 Программные средства диагностики радиоэлектронных средств

Программных средств проверки функционирования и диагностики неисправностей существует множество для самых разнообразных операционных систем.

Программный аспект диагностики предполагает использование тестирующих программ различных классов: микропрограммные тесты, встроенные тест - программы, внешние тест - программы общего применения и внешние тест - программы углубленного тестирования.

Контроль функционирования IBM-совместимых РС производится тремя способами:

- 1) контроль при включении и загрузке ОС;
- 2) самоконтроль основных узлов схемы РС;
- 3) проверка, с использованием внешних (загружаемых) тест-программ.

Каждое включение или перезагрузка компьютера вызывает автоматический запуск диагностической программы самотестирования - POST (Power On Self-Test), которая записана в микросхеме CMOS-памяти. Эта программа проверяет работоспособность всех важнейших компонентов компьютера: процессора, оперативной памяти, дисковой подсистемы, системной логики (чипсета) и всех устройств, от которых зависит нормальное функционирование компьютера.

Информация о результатах диагностики может выдаваться тремя способами.

*Звуковые сигналы.* Каждой неисправности соответствует серия звуковых сигналов, которые выдает POST в ходе тестирования устройств. Звуковое оповещение обычно используется в самых критичных случаях, когда компьютер лишен возможности отображения текстовой информации. Звуковые сигналы могут применяться также параллельно с текстовыми сообщениями, и именно на звуковые сигналы в первую очередь необходимо ориентироваться при возникновении неисправности.

*Текстовые сообщения.* Этим способом POST пользуется в дополнение к звуковым сигналам, если видеосистема компьютера исправна. При этом на экране появляется сообщение, кратко опи-

сывающее неисправность, и код ошибки. По коду неисправность можно изучить более подробно, воспользовавшись документацией к материнской плате или к BIOS. С помощью текстовых сообщений компьютер, как правило, информирует только о незначительных ошибках, например о неполадках с аккумуляторной батареей, неработоспособности контроллера клавиатуры и т. п. Хотя можно увидеть и более «страшные» сообщения: например, о плохом состоянии жесткого диска или сбойной оперативной памяти.

*Шестнадцатеричные коды* в конкретный порт по определенному адресу. Независимо от того, выдаются звуковые или текстовые сообщения, система использует и этот способ. Однако, чтобы прочитать шестнадцатеричные коды, необходимо иметь специальное оборудование - POST-карту. К данному способу определения неисправности обращаются специалисты сервисных центров, когда имеются очень серьезные поломки и другие способы оповещения о неисправностях не работают [5].

Поскольку POST-картой, необходимой для определения неисправности третьим способом, обладают далеко не все пользователи, чаще всего ошибки определяют по звуковым сигналам и текстовым сообщениям POST.

Самоконтроль основных узлов схемы радиоэлектронных средств.

Самоконтроль способны выполнять узлы и устройства PC, имеющие собственное микропрограммное управление, такие как CPU, FPU, контроллеры HDD, KBD, видеоконтроллер и некоторые другие интеллектуальные периферийные устройства.

Самоконтроль осуществляют специальные тест-микропрограммы, зашитые в ПЗУ микропрограмм этих узлов. Запускаются эти тест-микропрограммы либо при инициализации этих устройств во время загрузки операционной системы, либо автоматически, в режиме простоя (Ti-Idle) этих устройств.

Принтер обычно имеет встроенный режим автотестирования, который запускается пользователем, когда в этом есть необходимость, специальной кнопкой или комбинацией кнопок на его пульте управления.

В отличие от контроллеров, которые в состоянии сами сверить реакции на тестовые воздействия с эталоном, принтер печатает

тает диагональный тест всех доступных ему символов, а сверку с эталоном должен сделать сам пользователь или персонал обслуживания АПС.

Следует отметить, что все контроллеры проходят проверку их наличия и исправности, при их инициализации, но эта проверка далеко не полная и назвать ее тестированием нельзя.

Проверка, с использованием внешних (загружаемых) тест-программ.

Самый полный, и любой степени подробности, контроль функционирования выполняют внешние, загружаемые тест-программы. Эти тест-программы могут быть простыми, предназначенными для контроля АПС силами самого пользователя, и развитыми программами углубленного тестирования, которое выполняется персоналом обслуживания, при текущих и планово-предупредительных ремонтах АПС.

Запуск таких тест-программ ничем не отличаются от запуска любой пользовательской программы.

### 3.2.3.3 Принципы локализации неисправностей в персональных компьютерах

Диагностирование ПК и его периферийных устройств может занять много времени, и все же оказаться безуспешным [91, 92]. Чтобы предупредить это, следует избегать поспешных выводов и всегда планировать стратегию поиска неисправности. Примерный рекомендуемый план действий следующий:

- 1) повторить процедуру, в ходе которой обнаружены неполадки, тщательно выполняя каждый шаг, чтобы исключить ошибки оператора;

- 2) провести проверку наличия и правильности подключения всех компонент аппаратной части;

- 3) постараться вспомнить, не изменилось ли что-нибудь в аппаратной, программной части и конфигурации РС с тех пор, когда эта процедура выполнялась успешно в последний раз;

- 4) проверить себя, — правильно ли используется оборудование и программные средства РС. Например, совместимы ли дисковод и дискеты и т.п.;

5) выключить системный блок и периферийное оборудование, и включить все снова, в правильном порядке;

6) определить, какая именно подсистема отказывает и что именно — в ней;

7) если проблема связана с дисками, следует сделать резервные копии важных файлов диска, чтобы обезопасить себя от потери уникальных данных;

8) применять метод систематизированного исключения второстепенных компонент и программ, для локализации места возникновения неисправности;

9) выполнить эталонные тесты, проверяющие события, похожие по симптоматике на вашу проблему;

10) выполнить сначала общецелевую программу тестирования;

11) наконец, выполнять программы специализированного тестирования подозреваемой компоненты.

Любая диагностика дает некоторую информацию, не зависящую от испытателя. Однако количество воспринятой информации зависит от его индивидуальных особенностей [58]. Для опытного специалиста информация более различима, чем для неквалифицированного, поэтому первый быстрее установит, какой из элементов системы отказал. Более того, неопытный специалист может вообще неверно истолковать результаты диагностики и принять неправильное решение. Поэтому большое значение имеют методы обучения специалистов, их индивидуальные способности, опыт эксплуатации техники и т.д.

Современные компьютеры - сложная техника. Порой достаточно одной небольшой неисправности, чтобы компьютер начал работать с «глюками» или перестал работать совсем. Но не стоит паниковать. Чтобы не допустить критического состояния компьютера, требуется проведение своевременной диагностики.

### 3.2.4 Методические вопросы комплектования ЗИП

В перечне свойств технических средств, определяющих их надежность, важная роль наряду с другими свойствами отводится их ремонтпригодности [1-3, 27] как приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

В качестве показателя ремонтпригодности обычно рассматривается среднее время восстановления, которое определяется временем обнаружения и устранения причины отказа, и временем проверки работоспособности отремонтированного оборудования. Возможная нехватка запасных частей увеличивает продолжительность замены отказавшего элемента исправным запасным, что может существенно сказаться на времени восстановления ИТС. В этой связи анализ вопросов достаточности ЗИП для технических средств в составе ИТС и обоснование направлений по обеспечению надежности за счет оптимизации номенклатуры ЗИП представляется важным в деле повышения их надежности.

В [1, 4, 5, 61–63] рассмотрены методы оценки показателей надежности технических систем. Вместе с тем, в известных подходах к расчету комплектов ЗИП [54, 93-96] особенности формирования ЗИП с учетом требований ИТС в защищенном исполнении учитываются в недостаточной мере.

Ниже представлен один из методических подходов к расчету начальных комплектов ЗИП для комплексов средств автоматизации (КСА) ИТС и к их пополнению в процессе эксплуатации, который учитывает особенности создания и пополнения комплектов ЗИП для ИТС в защищенном исполнении. Рассмотрены основные понятия, представлены аналитические соотношения, позволяющие проводить необходимые расчеты комплектов ЗИП.

#### 3.2.4.1 Общий подход к обеспечению объектов ИТС комплектами ЗИП

Запасные части, инструменты, принадлежности и материалы (ЗИП) предназначены для постоянного поддержания работоспособности изделий при их эксплуатации [54, 93-96]. ЗИП применяются при проведении технического (регламентного) обслуживания, плановых и неплановых ремонтов изделий в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации.

Различают три вида комплектов ЗИП:

- одиночный комплект ЗИП (ЗИП-О);
- групповой комплект ЗИП (ЗИП-Г);
- ремонтный комплект ЗИП (ЗИП-Р).

Одиночный комплект ЗИП придается непосредственно объекту с целью поддержания его работоспособности в течение сро-

ка службы путем проведения технического обслуживания и ремонта в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации.

В зависимости от специфики изделия в состав комплекта ЗИП-О включаются:

- запасные части (детали и сборочные единицы) из числа наименее надежных составных частей изделия, влияющих на его работоспособность;

- инструмент, контрольно-измерительные приборы (не встроенные в изделие), необходимые для обеспечения эксплуатации изделия;

- принадлежности для обеспечения использования, хранения, транспортирования и обслуживания изделия;

- материалы, необходимые для устранения неисправностей и проведения технического обслуживания изделия.

Одиночный ЗИП по существу является объектовым ЗИП, т.к. рассчитывается применительно к конкретному объекту.

Групповой комплект ЗИП придается группе объектов для пополнения одиночных комплектов по мере их расходования или для обеспечения надежности по тем типам элементов, которые отсутствуют в номенклатуре одиночных комплектов ЗИП.

В состав комплекта ЗИП-Г включают:

- запасные части, необходимые для технического обслуживания и текущего ремонта группы изделий на месте их эксплуатации в объеме требований эксплуатационной документации;

- заменяемые составные части изделия, имеющие ресурс меньше ресурса изделия;

- комплект инструмента (в том числе специального), оборудования, контрольно-измерительных приборов и приспособлений, предназначенных для технического обслуживания и текущего ремонта изделий, в объеме требований эксплуатационной документации;

- принадлежности и материалы.

Групповой ЗИП, рассчитываемый для группы объектов, по существу, является системным.

Ремонтный комплект ЗИП предназначен для обеспечения капитального (среднего) ремонта заданного количества однотипных изделий на стационарных ремонтных предприятиях про-

мышленности, выполняющих ремонт изделий. Однако в связи с быстрым моральным старением и частой сменой поколений современных средств вычислительной техники в составе ИТС, считаем, что их капитальный (средний) ремонт не проводится и ЗИП-Р не используется.

Сущность проблемы расчета ЗИП для ИТС заключается в следующем.

Как правило, ИТС создаются в виде многоуровневых территориально-распределенных сетей со структурой, адекватной структуре системы управления ведомства, и с точки зрения теории надежности относятся к классу восстанавливаемых систем [48]. ИТС может включать в свой состав главный комплекс средств автоматизации (ГКСА), совокупность региональных и территориальных комплексов средств автоматизации [28].

В перечне задач по обеспечению функционирования и поддержки работоспособности объектов ИТС важная роль отводится организации своевременного восстановления работоспособности аппаратно-программных средств на ее объектах в случае появления отказов [58]. Организация работ по восстановлению программного обеспечения в ИТС в случае его некорректного функционирования или отказа чаще всего не требует значительного времени и материальных затрат и реализуется посредством его переустановки силами специалистов, обеспечивающих эксплуатацию объектов ИТС с использованием имеющихся в составе комплекта программного обеспечения дистрибутивов.

В то же время процесс восстановления работоспособности технических средств на объектах ИТС является более громоздким и реализуется с привлечением инфраструктуры ремонтных органов как ведомственной, так и иной принадлежности. Анализ проблемы своевременного восстановления работоспособности технических средств на объектах ИТС показывает, что существенные резервы повышения оперативности восстановления технических средств следует искать в направлении всестороннего обеспечения их ремонта непосредственно на объектах ИТС. В этой связи особую актуальность приобретает формирование рациональной номенклатуры ЗИП как в ИТС в целом, так и на ее объектах.

В настоящее время в составе ЗИП для технических средств ИТС обычно применяют комплектующие (системные платы, видеокарты, накопители на жестких магнитных дисках, встроенные блоки питания, клавиатуры, манипуляторы типа мышь и др.).

Срок службы ИТС обычно составляет не менее 10 лет. В то же время в связи с быстрым развитием средств вычислительной техники номенклатура выпускаемых промышленностью комплектующих для комплексов технических средств (системные платы, процессоры, память и др.) обновляется каждые 2–3 года. Это означает, что через 2–3 года после поставки оборудования на объекты ИТС пополнение ЗИП изначально предусмотренной номенклатурой запасных частей окажется невозможным.

Возможно два направления решения этой проблемы:

- создание системы ЗИП, обеспечивающей запасными частями КТС на весь срок службы объекта ИТС;

- создание системы ЗИП из расчета обеспечения заданных показателей надежности функционирования комплексов средств автоматизации с учетом принятой стратегии пополнения ЗИП в процессе эксплуатации. В дальнейшем, по мере расходования комплектующих из состава ЗИП, на заводе-изготовителе для них подбираются аналоги, которые по всем параметрам подходят для использования в КСА.

Первое направление представляется весьма сложным для реализации, что обусловлено рядом причин. Основные из них состоят в следующем:

- при расчете системы ЗИП на этапе проектирования в качестве исходных данных для расчета применяются усредненные данные по показателям надежности комплектующих, закладываемых в состав ЗИП. Однако реальные показатели надежности комплектующих в силу различных факторов могут отличаться от усредненных значений в ту или иную сторону. Вследствие этого на одних объектах ИТС рассчитанный комплект ЗИП может оказаться недостаточным, на других – избыточным, а это приводит к нерациональному расходованию материальных затрат;

- ряд элементов ЗИП по различным причинам может выйти из строя в процессе хранения, что может привести к их нехватке;

– материальные затраты на систему ЗИП при таком «затратном» варианте могут оказаться сопоставимы с затратами на создание КСА.

Поэтому, как правило, на практике реализуется второй вариант обеспечения объектов ИТС комплектами ЗИП.

Будем полагать, что применительно к ИТС:

– ЗИП-О поставляются на все объекты ИТС. В состав одиночного комплекта ЗИП ИТС включаются комплектующие комплексов технических средств (системные платы, процессоры, память и др.);

– ЗИП-Г поставляется на ГКСА ИТС и используется в интересах всех региональных и территориальных КСА. В состав группового комплекта ЗИП ИТС включаются запасные части, необходимые для технического обслуживания и текущего ремонта группы из  $S$  изделий на месте их эксплуатации

Рассмотрим показатели достаточности системы ЗИП.

Возможная нехватка запасных частей увеличивает среднее время замены отказавшего элемента исправным запасным, что может существенно сказаться на значении показателя надежности объекта. В этом случае имеет смысл говорить не о показателе надежности самого объекта (комплекса средств автоматизации), а о показателе надежности пары «объект – система ЗИП». Однако существующая практика проектирования надежных объектов предполагает раздельное проектирование объекта и приданной ему системы ЗИП. Поэтому вводится показатель достаточности системы ЗИП [5], характеризующий снижение надежности пары «объект – конкретная система ЗИП» по сравнению с надежностью пары «объект – бесконечная система ЗИП» («бесконечная система ЗИП» предполагает, что необходимые запасные элементы не закончатся в системе ЗИП до окончания срока эксплуатации объекта).

Показателем достаточности системы ЗИП может являться среднее время задержки в исполнении заявки на запасной элемент -  $\Delta t_{\text{зип}}$ , вызванное отсутствием необходимого запасного элемента в системе ЗИП.

При отсутствии в системе ЗИП необходимого запасного элемента в тот момент, когда он понадобился, время ремонта объекта увеличивается. Определим среднее время ремонта объек-

та, снабженного конкретной системой ЗИП, как  $t_p = t_\infty + \Delta t_{\text{зип}}$ , где  $t_\infty$  – среднее время замены отказавшего элемента исправным запасным при «бесконечной системе ЗИП».

При проектировании объекта требования к его надежности выражаются заданием  $R_0$  – требуемого значения показателя надежности. После завершения проектирования объекта можно считать известными расчетные значения функции  $R(t_p)$  – показателя надежности объекта в зависимости от среднего времени ремонта при условии, что необходимый запасной элемент всегда имеется.

Тогда требования к системе ЗИП, обеспечивающей заданную надежность объекта, выражаются ограничением на показатель достаточности системы ЗИП:

$$\Delta t_{\text{зип}} \leq \Delta t_0 = t_p - t_\infty, \quad (3.23)$$

где  $\Delta t_0$  – заданное среднее время задержки в исполнении заявки на запасной элемент, вызванное его отсутствием в системе ЗИП.

Задача проектирования системы ЗИП в этом случае формулируется в следующем виде: определить параметры такой системы ЗИП, показатель достаточности (ПД) которой не будет превышать  $\Delta t_0$ .

Если в качестве показателя надежности объекта выбран коэффициент готовности, то в качестве показателя достаточности системы ЗИП принимается коэффициент готовности системы ЗИП [5].

Коэффициентом готовности системы ЗИП  $K_{\text{г.зип}}$  называется средняя во времени вероятность того, что система ЗИП исправна, т. е. не находится в состоянии отказа [5]:

$$K_{\text{г.зип}} = \frac{T_{\text{зип}}}{T_{\text{зип}} + t_{\text{зип}}},$$

где:  $T_{\text{зип}}$  – среднее время между отказами системы ЗИП;

$t_{\text{зип}}$  – средняя продолжительность одного отказа системы ЗИП.

Отказом системы ЗИП условно называется такое состояние пары «объект – система ЗИП», при котором объект полностью или частично потерял работоспособность из-за отказа одного из составляющих его элементов, а система ЗИП не может предоставить нужного запасного элемента. Из этого определения следует,

что отказ системы ЗИП не обязательно совпадает с отказом выполнить требование на элемент, а лишь с таким отказом в выполнении требования, который ведет к простоя объекта.

Пусть показателем надежности пары «объект – система ЗИП» выбран результирующий коэффициент готовности  $K_{\Sigma} \approx K_{\infty} K_{г.зип}$ , где  $K_{\infty}$  – коэффициент готовности объекта при бесконечной системе ЗИП.

Задание требований к системе ЗИП в этом случае сводится к неравенству

$$K_{г.зип} \geq K_{0.зип} = R_0 / K_{\infty}, \quad (3.24)$$

где  $K_{0.зип}$  – требуемый коэффициент готовности системы ЗИП;

$R_0$  – требуемое значение коэффициента готовности объекта с учетом реальной системы ЗИП.

Рассмотрим основные подходы к пополнению ЗИП в процессе эксплуатации.

Начальное количество запасных элементов в составе ЗИП-О и ЗИП-Г зависит от общего количества элементов  $i$ -го типа в составе КТС КСА, от показателей надежности элементов этого типа и от принятой в ИТС стратегии пополнения состава ЗИП.

На практике при пополнении ЗИП в системах аналогичных ИТС используются следующие стратегии пополнения ЗИП [5]:

1. Периодическое пополнение – запас элементов данного типа восстанавливается до начального уровня через заранее заданные фиксированные периоды времени. Периодическое пополнение применяется для восстановления запасов во всех видах комплектов ЗИП (ЗИП-О, ЗИП-Г). Стратегия периодического пополнения запаса элементов  $i$ -го типа характеризуется одним числовым параметром  $T_{i,1} = T_{п}$  – периодом пополнения запаса элементов данного типа.

Периодическое пополнение является самым распространенным в практике проектирования (но не эксплуатации!) комплектов ЗИП. Согласно определению стратегии периодического пополнения, если отказ системы ЗИП наступил через время  $t < T_{п}$  после начала очередного пополнения, то изделие должно проставивать в течение времени  $T_{п} - t$  (до конца периода). Естественно, ответственные за эксплуатацию изделия не заинтересованы в длительных простоях и попытаются использовать любую возможность пополнения ЗИП, не дожидаясь конца периода попол-

нения, т. е. постараются произвести экстренную доставку элементов. Возникает противоречивая ситуация: ЗИП рассчитывается исходя из стратегии периодического пополнения, а эксплуатируется с применением стратегии периодического пополнения с экстренными доставками.

2. Периодическое пополнение с экстренной доставкой. При этом, помимо планового периодического восстановления, происходит еще и внеплановое восстановление запаса до первоначального уровня в том случае, когда объект простаивает из-за отсутствия запасного элемента соответствующего типа. Эта стратегия характеризуется двумя параметрами:  $T_{i,1} = T_{п}$ ,  $T_{i,2} = T_{эд}$ , где  $T_{эд}$  – среднее время экстренной доставки элементов.

3. Непрерывное пополнение. Стратегию непрерывного пополнения применяют для запасов восстанавливаемых элементов, которые либо пополняются из ЗИП более высокого уровня, либо восстанавливаются в ремонтном органе и возвращаются в тот комплект ЗИП, из которого были изъяты.

Данную стратегию часто используют в двухуровневых системах ЗИП для пополнения запасов в одиночных комплектах из группового комплекта ЗИП системы.

Ремонт отказавших элементов применяется для восстановления запасов во всех видах комплектов ЗИП. Эта стратегия пополнения характеризуется одним числовым параметром  $T_{i,1} = T_{р}$  – средним временем ремонта одного элемента данного типа. При пополнении из ЗИП более высокого уровня под  $T_{р}$  понимается среднее время доставки элемента из соответствующего источника пополнения.

Характерным для стратегии непрерывного пополнения является то, что заявка на пополнение формируется по каждому отказавшему элементу отдельно, а время доставки (ремонта) при этом отсчитывается от момента изъятия из комплекта ЗИП (отказа элемента в изделии) и поэтому может быть существенно меньше, чем  $T_{п}$  при периодическом пополнении.

4. Стратегия пополнения по уровню неснижаемого запаса. При этой стратегии для запасов элементов данного типа фиксируется целое число  $k$  ( $0 \leq k \leq n/2 - 1$ , где  $n$  – начальный уровень запаса) и, когда запас элементов данного типа исчерпывается до уровня  $k$ , посылается заявка на поставку  $n - k$  элементов

данного типа. Заявка выполняется через случайное время  $t_d$ . При непрерывном пополнении очередная заявка может быть послана только после выполнения предыдущей, независимо от того, отказывали ли элементы данного типа в процессе удовлетворения заявки или нет. Стратегия непрерывного пополнения применяется для восстановления запасов только в ЗИП-О и характеризуется двумя числовыми параметрами:  $T_{i,1} = T_d$  – средней продолжительностью исполнения заявки на пополнение, т. е. средним временем доставки элементов данного типа из источника пополнения, и  $T_{i,2} = T_k$  – средней продолжительностью снижения уровня запаса элементов данного типа до  $k$  элементов.

В качестве основных стратегий пополнения ЗИП в ИТС используются периодическое пополнение и периодическое пополнение с экстренной доставкой.

### 3.2.4.2 Методика расчета запасов в комплекте ЗИП при проектировании ИТС

Расчет запасов в комплекте ЗИП состоит из расчетов запасов каждого типа в отдельности и последующей оценки ПД и суммарных затрат по комплекту ЗИП в целом.

Под расчетом запаса одного типа понимают определение его начального уровня, удовлетворяющего заданным требованиям по ПД (или ограничениям по суммарным затратам на запасные части) при заданной (принятой) стратегии пополнения.

Начальный расчет комплектов ЗИП при проведении опытно-конструкторской работы по созданию ИТС осуществляется на этапе технического проектирования после (или в процессе) проведения проектной оценки надежности системы. При разработке комплектов ЗИП расчеты запасов в них должны проводиться с учетом оптимизации затрат на запасные части (ЗЧ).

В зависимости от предъявленных требований задача оптимизации запасов в комплекте ЗИП может решаться в двух постановках:

1) прямая задача – при требуемом ПД ( $\Delta t_{зип-о}^{mp}$  или  $K_{г.зип-о}^{mp}$ ) оптимизируют (минимизируют) затраты на достижение заданного ПД;

2) обратная задача – при ограниченных затратах оптимизируют (минимизируют  $\Delta t_{\text{зип-о}}$  или максимизируют  $K_{\text{г.зип-о}}$ ) показатель достаточности.

Рассмотрим задачу проектирования комплектов ЗИП ИТС, обеспечивающих заданный уровень ПД при минимальных затратах.

Необходимо отыскать начальное количество запасных элементов в ЗИП-О и ЗИП-Г, образующих систему ЗИП, с тем чтобы в зависимости от выбранного показателя достаточности выполнялось либо неравенство (3.23), либо неравенство (3.24) при минимуме общих затрат на ЗИП.

Следует отметить, что в [93] для оценки уровня достаточности запасов комплектов ЗИП рекомендуется использовать следующие показатели:

– для одиночных комплектов ЗИП:

$\Delta t_{\text{зип-о}}$  – среднее время задержки в удовлетворении поступившей в ЗИП-О заявки на запасные части;

$K_{\text{г.зип-о}}$  – коэффициент готовности комплекта ЗИП-О;

– для групповых комплектов ЗИП:

$\Delta t_{\text{зип-г}}$  – среднее время задержки в удовлетворении поступившей в ЗИП-Г заявки на запасные части;

$K_{\text{г.зип-о-гk}}$  – коэффициент готовности комплекта ЗИП-Г относительно k-го изделия из обслуживаемой группы изделий (применяется только для ЗИП-Г, непосредственно обслуживающих группу изделий, не имеющих ЗИП-О).

Для оценки ПД и расчета рациональных запасов используем математические модели (формулы), приведенные в [5]. В них приняты следующие допущения и ограничения:

а) поток заявок на ЗЧ в комплекты ЗИП является простейшим (т. е. случайное время между заявками распределено по экспоненциальному закону);

б) все работающие элементы отказывают независимо;

в) во время хранения элементы не отказывают;

г) приемлемая точность вычисления ПД комплектов ЗИП в целом по характеристикам отдельных запасов обеспечивается при условии, что требуемые значения ПД комплекта удовлетворяют неравенствам

$$K_{\Sigma_{\text{зип}}}^{mp} = \prod_{i=1}^N K_{\text{зи}} \geq 0,9 \quad (3.25)$$

или

$$\Delta t_{\text{зип}}^{mp} = \sum_{i=1}^N \Lambda_{\text{зи}} \leq 0,1, \quad (3.26)$$

где  $K_{\Sigma_{\text{зип}}}^{mp}$  – требуемое значение коэффициента готовности комплекта ЗИП;

$K_{\text{зи}}$  – коэффициент готовности запасных частей  $i$ -го типа в комплекте ЗИП;

$\Delta t_{\text{зип}}^{mp}$  – среднее время задержки в удовлетворении заявок на запасные части комплектом ЗИП;

$\Lambda_{\text{зи}}$  – интенсивность спроса на запасные части  $i$ -го типа в комплекте ЗИП.

Для расчета запасов в комплектах ЗИП-О или ЗИП-Г ИТС необходимы следующие исходные данные:

а) вид показателя достаточности ( $\Delta t_{\text{зип}}$  или  $K_{\Sigma_{\text{зип}}}$ ), а при решении прямой задачи оптимизации – требуемое (заданное) его значение;

б) тип затрат на ЗЧ и единица их измерения, а при решении обратной задачи оптимизации – и требуемое (заданное) значение ограничений по затратам ( $C_{\Sigma_{\text{зип-о}}}^{\text{опр}}$  или  $C_{\Sigma_{\text{зип-г}}}^{\text{опр}}$ );

в) общее число типов запасных частей (размер номенклатуры) комплекта ЗИП ( $N_o$  или  $N_{\Gamma}$ );

г) точность вычисления ПД комплектов ЗИП-О (ЗИП-Г) ( $\varepsilon_o$  или  $\varepsilon_{\Gamma}$ );

д) параметры запасов каждого типа отражаются в табл. 3.2.

Таблица 3.2 Исходные данные для оценки или расчета ЗИП

$i$	$m_i$ , шт.	$\lambda_{\text{зи}}$ или $\Lambda_i$ , 1/ч	$c_i$ , ед. затрат	$\alpha_i$	$T_i$ , ч	$\beta_i$ , ч или шт.	$n_i$ , шт.
1							
2							
...							
$N$							

где:  $i$  – порядковый номер типа запаса в комплекте ЗИП ( $i = 1 \dots N$ );

$m_i$  – количество составных частей  $i$ -го типа в изделии;

$\lambda_{\text{зи}}$  – интенсивность замен составных частей  $i$ -го типа в изделии ( $\lambda_{\text{зи}} = 1/T_{oi}$  где  $T_{oi}$  – средняя наработка на отказ  $i$ -го элемента);

$\Lambda_i = (\lambda_{\text{зи}} \times m_i)$  – интенсивность спроса на запасные части  $i$ -го типа в комплекте ЗИП;

$c_i$  – суммарные затраты на запасные части  $i$ -го типа в комплекте ЗИП;

$\alpha_i$  – условный индекс стратегии пополнения запаса  $i$ -го типа в комплекте ЗИП (номер индекса соответствует номеру рассмотренной выше стратегии пополнения);

$T_i$  – первый (основной) параметр стратегии пополнения запаса  $i$ -го типа в комплекте ЗИП;

$\beta_i$  – второй (дополнительный) параметр стратегии пополнения запаса  $i$ -го типа в комплекте ЗИП;

$n_i$  – начальный уровень запаса  $i$ -го типа в комплекте ЗИП (при начальном расчете системы ЗИП значения  $n_i$  являются результатом решения задачи).

Значение показателя достаточности комплекта ЗИП-О вычисляется [93] по формулам:

$$K_{2.3un-o} = \exp \left\{ - \sum_{i=1}^{N_o} R_{io}(n_{io}; a_{io}) \right\}, \quad (3.27)$$

$$\Delta t_{3un-o} = \frac{\sum_{i=1}^{N_o} R_{io}(n_{io}; a_{io})}{\sum_{i=1}^{N_o} m_{io} \lambda_{3io}}, \quad (3.28)$$

где  $a_{io}$  – среднее число поступающих в комплект ЗИП-О заявок на запасные части для запаса каждого типа за период пополнения – определяют как

$$a_{io} = m_{io} \lambda_{3io} T_{io} \quad (\text{при заданной } \lambda_{3io}) \quad (3.29)$$

или

$$a_{io} = \Lambda_{io} T_{io} \quad (\text{при заданной } \Lambda_{io}); \quad (3.30)$$

$R_{io}(n_{io}; a_{io})$  – промежуточный расчетный показатель, вычисляемый по следующим формулам [93]:

1) при периодическом пополнении ( $\alpha_i = 1$ ):

$$R_{io}(n_{io}; a_{io}) = - \ln \left\{ 1 - \frac{1}{a_{io}} \left[ e^{-a_{io}} \sum_{\gamma=n_{io}+2}^{\infty} (\gamma - n_{io} - 1) \frac{a_{io}^{\gamma}}{\gamma!} \right] \right\}; \quad (3.31)$$

2) при периодическом пополнении с экстренными доставками ( $\alpha_i = 2$ ):

$$R_{io}(n_{io}; a_{io}) = - \ln \left\{ 1 - \frac{T_{\partial io}}{T_{io}} \left[ e^{-a_{io}} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{\gamma=l(n+1)}^{\infty} \frac{a_{io}^{\gamma}}{\gamma!} \right] \right\}; \quad (3.32)$$

3) при непрерывном пополнении ( $\alpha_i = 3$ ):

$$R_{io}(n_{io}; a_{io}) = - \ln \left[ 1 - \frac{a_{io}^{n_{io}+1}}{(n_{io} + 1)! \sum_{\gamma=0}^{n_{io}+1} \frac{a_{io}^{\gamma}}{\gamma!}} \right]. \quad (3.33)$$

Примечание. При расчетах по формулам (3.31) и (3.32) выражения в квадратных скобках, содержащие бесконечные суммы, вычисляются до тако-

го значения индекса суммирования  $\gamma$ , при котором эти выражения впервые удовлетворяют неравенству

$$[a_{io}, n_{io}, \gamma] \leq \varepsilon_0/2N. \quad (3.34)$$

Суммарные затраты на ЗЧ в оцениваемом комплекте ЗИП-О определяют по формуле

$$C_{\Sigma \text{зип-о}} = \sum_{i=1}^{N_0} n_{io} c_{io}. \quad (3.35)$$

Значение показателя достаточности комплекта ЗИП-Г вычисляется [93] по формуле

$$\Delta t_{\text{зип-г}} = \frac{1}{\Lambda_z} \sum_{i_2=1}^{N_z} R_{i_2}(n_{i_2}; a_{i_2}). \quad (3.36)$$

Оценку проводят в следующем порядке:

1. В соответствии с табл. 3.2 формируют исходные данные применительно к комплекту ЗИП-Г и принятой стратегии его пополнения.

2. Для запаса каждого типа вычисляют среднее число заявок на ЗЧ этого типа, поступающих в комплект ЗИП-Г за период пополнения, по формулам

$$a_{io} = S m_{i\Gamma} \lambda_{\text{зип-г}} T_{i\Gamma} \quad (\text{при заданной } \lambda_{\text{зип-г}}) \quad (3.37)$$

или

$$a_{i\Gamma} = \Lambda_{i\Gamma} T_{i\Gamma} \quad (\text{при заданной } \Lambda_{i\Gamma}). \quad (3.38)$$

3. Последовательно вычисляют:

– среднюю суммарную интенсивность спроса на ЗЧ всех типов в комплекте ЗИП-Г по формуле

$$\Lambda_z = \sum_{i_2=1}^{N_z} \Lambda_{i_2}; \quad (3.39)$$

– промежуточные расчетные показатели  $R_{i\Gamma}(n_{i\Gamma}; a_{i\Gamma})$  по следующим формулам:

а) при периодическом пополнении ( $\alpha_i = 1$ ):

$$R_{i_2}(n_{i_2}; a_{i_2}) = \frac{1}{a_{i_2}} [e^{-a_{i_2}} \sum_{I=1}^{\infty} \sum_{\gamma=n_{i_2}+I+1}^{\infty} \frac{a_{i_2}^{\gamma}}{\gamma!}]; \quad (3.40)$$

б) при периодическом пополнении с экстренной доставкой ( $\alpha_i = 2$ ):

$$R_{i_2}(n_{i_2}; a_{i_2}) = \frac{T_{\text{эоиз}}}{T_{i_2}} (1 + \frac{\Lambda_{i_2} T_{\text{эоиз}}}{2}) [e^{-a_{i_2}} \sum_{I=1}^{\infty} \sum_{\gamma=I(n+1)}^{\infty} \frac{a_{i_2}^{\gamma}}{\gamma!}]; \quad (3.41)$$

в) при непрерывном пополнении ( $\alpha_i = 3$ ):

$$R_{iz}(n_{iz}; a_{iz}) = \{a_{iz}(1 - e^{-F_1[(n_{iz}-1); a_{iz}]})\}, \quad (3.42)$$

где значения функции  $F_1[(n_{iГ} - 1); a_{iГ}]$  вычисляются по формуле (3.33) при  $n_{i0} = (n_{iГ} - 1)$ .

Примечание. При расчетах по формулам (3.40) и (3.41) без использования ПЭВМ выражения в квадратных скобках, содержащие бесконечные суммы, вычисляются до такого значения индекса суммирования  $\gamma$ , при котором эти выражения впервые удовлетворяют неравенству

$$[a_{iz}, n_{iz}, \gamma] \leq \varepsilon_z \Lambda_z / 2N_z. \quad (3.43)$$

При расчетах на ПЭВМ правая часть неравенства заменяется значением  $1 \times 10^{-7}$ , что во всех случаях обеспечивает высокую точность вычисления ПД.

Рассмотрим примеры расчета начального уровня запаса ЗЧ в комплекте ЗИП.

Пусть комплект ЗИП объекта ИТС состоит из  $N=10$  ( $i=1 \dots N$ ) типов элементов. Известна  $\lambda_{zi}$  – интенсивность замен составных частей  $i$ -го типа в изделии. В качестве стратегии пополнения ЗИП примем периодическое пополнение ( $\alpha_i = 1$ ) с периодом пополнения запасов элементов  $i$ -го типа в составе ЗИП  $T_i = 720$  часов [23]. В качестве ПД примем  $K_{г.зип-0}$  – коэффициент готовности комплекта ЗИП-О.

Исходные данные для расчетов представлены в табл. 3.3 (колонки 1–7).

При начальном расчете комплекта ЗИП значения  $n_i$  (колонка 8) не известны и являются результатом решения задачи. Для удобства вычислений в таблицу введены две дополнительные колонки (9 и 10) для промежуточных расчетных показателей ( $a_{i0}$  и  $R_{i0}$ ).

Расчет комплекта ЗИП проводим в следующей последовательности:

1. Используя выражение (3.29), определим  $a_{i0}$  – среднее число поступающих в комплект ЗИП-О заявок на запасные части для запаса каждого типа за период пополнения и заполним колонку 9 таблицы 3.3.

2. Значение промежуточного расчетного показателя  $R_{i0}(n_{i0}; a_{i0})$  вычислим по формуле (3.31). Численное значение выражения в квадратных скобках в (3.31) при фиксированном  $i$  зависит только от  $n_i$ . Для получения заданной точности вычисления

Таблица 3.3 Исходные данные для расчета начального уровня запаса ЗЧ в комплекте ЗИП-О

$i$	$m_i$ , шт.	$\lambda_{zi}$ , 1/ч	$c_i$ , тыс. руб.	$\alpha_i$	$T_i$ , ч	$\beta_i$ , ч	$n_i$ , шт.	$a_{io}$	$R_{io}(n_{io}; a_{io})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6	$33,0 \times 10^{-6}$	170	1	720	0	1	0,14256	0,0030
2	23	$83,0 \times 10^{-6}$	78	1	720	0	5	1,37448	0,0017
3	4	$100,0 \times 10^{-6}$	5,25	1	720	0	1	0,288	0,0104
4	2	$100,0 \times 10^{-6}$	7,3	1	720	0	1	0,144	0,0030
5	12	$100,0 \times 10^{-6}$	15,4	1	720	0	3	0,864	0,0059
6	22	$100,0 \times 10^{-6}$	13,68	1	720	0	5	1,584	0,0031
7	4	$33,0 \times 10^{-6}$	70	1	720	0	1	0,095	0,00137
8	1	$25,0 \times 10^{-6}$	235	1	720	0	1	0,018	0,000053
9	2	$20,0 \times 10^{-6}$	97	1	720	0	1	0,0288	0,00013
10	6	$5,0 \times 10^{-6}$	382	1	720	0	1	0,0216	0,000076
		$\sum_{io=1}^{N_o} R_{io}(n_{io}; a_{io})$							0,028729

показателя достаточности принимаем  $\varepsilon_o = 0,1$  (в соответствии с (3.34)  $\varepsilon_o/2N = 0,005$ ) и путем итераций, начиная с  $n_i = 1$  и увеличивая  $n_i$  на каждом шаге на единицу, отыскиваем такое значение  $n_i$ , при котором выполняется неравенство (3.34).

Полученные таким образом значения  $n_i$  и  $R_{io}(n_{io}; a_{io})$  вставляем в табл. 3.3 (графы 8 и 10 соответственно).

Рассмотрим для примера  $i = 5$ .

Шаг 1.  $n_5 = 1$ .

$$R_{5o}(n_{5o}; a_{5o}) = -\ln\left\{1 - \frac{1}{0,864} \left[ e^{-0,864} \sum_{\gamma=1+2}^{\infty} (3-1-1) \frac{0,864^3}{3!} \right] \right\} =$$

$$= -\ln\left\{1 - 1,157 \left[ 0,423 \times \frac{0,645}{6} \right] \right\} = -\ln\{1 - 3,472[0,04547]\}.$$

Численное значение, полученное в квадратных скобках, больше, чем  $\varepsilon_o/2N = 0,005$ , т. е. неравенство (3.34) не выполняется, поэтому переходим к следующей итерации.

Шаг 2.  $n_5 = 2$ .

$$R_{5o}(n_{5o}; a_{5o}) = -\ln\left\{1 - \frac{1}{0,864} \left[ e^{-0,864} \sum_{\gamma=2+2}^{\infty} (4-2-1) \frac{0,864^4}{4!} \right] \right\} =$$

$$= -\ln\{1 - 1,157 [0,423 \times 2 \times \frac{0,557}{24}]\} = -\ln\{1 - 1,157[0,0196]\}.$$

Число, полученное в квадратных скобках, все еще больше, чем  $\varepsilon_0/2N = 0,005$ , поэтому переходим к третьему шагу итерации.

Шаг 3.  $n_5 = 3$ .

$$R_{50}(n_{50}; a_{50}) = -\ln\{1 - \frac{1}{0,864} [e^{-0,864} \sum_{\gamma=3+2}^{\infty} (5-3-1) \frac{0,864^{\gamma}}{\gamma!}]\} =$$

$$= -\ln\{1 - 1,157 [0,423 \times 3 \times \frac{0,481}{120}]\} = -\ln\{1 - 1,157[0,0050]\}.$$

На этом шаге значение, полученное в квадратных скобках, равно  $\varepsilon_0/2N = 0,005$ , т. е. условие (3.34) выполняется. Таким образом,  $n_5 = 3$  определено. Завершаем вычисление  $R_{50}(n_{50}; a_{50}) = -\ln 0,9941 = 0,0059$ .

3. Аналогично поступаем для всех остальных  $i$ .

4. Просуммируем все полученные значения  $R_{i0}(n_{i0}; a_{i0})$  в колонке 10 и, подставив полученный результат в выражение (3.27), получим значение искомого показателя достаточности  $K_{Г.ЗИП-0} = 0,9717$ . Неравенство (3.25) выполнено.

5. Суммарная стоимость начального уровня запаса элементов в комплекте ЗИП-О в соответствии с (3.35) равна:

$$C_{\Sigma \text{ зип-о}} = C_1 + 5C_2 + C_3 + C_4 + 3C_5 + 5C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10} = 1471,15 \text{ тыс. руб.}$$

Минимизация стоимости достигается за счет включения в состав комплекта ЗИП минимального количества запасных элементов каждого типа, при котором выполняются требования к точности вычисления показателя достаточности.

Одной из важных задач комплектования ЗИП для ИТС является определение рационального соотношения при распределении запасных частей между ЗИП-О и ЗИП-Г. Рассмотрим один из возможных подходов к перераспределению ЗЧ из ЗИП-О в ЗИП-Г.

При анализе результатов вычислений в табл. 3.3 видно, что значение промежуточного расчетного показателя  $R_{i0}(n_{i0}; a_{i0})$  для элементов 8–10 существенно (на 2–3 порядка) отличается от значения промежуточного расчетного показателя для других элементов. Используя этот факт, попробуем уменьшить затраты на комплект ЗИП ИТС.

Пусть ИТС включает в свой состав главный КСА и  $S$  региональных КСА. Состав ЗИП-О всех региональных комплексов средств автоматизации идентичен. Суммарная стоимость ЗИП-О всех  $S$  объектов в таком случае составит  $C_{\Sigma \text{зип}} = S C_{\Sigma \text{зип-о}}$ .

Рассмотрим случай, когда в состав ЗИП-О всех  $S$  объектов включены элементы 1–7, а элементы 8–10 всех  $S$  объектов включены в состав ЗИП-Г. Определим  $n_i$  для элементов 8–10 в составе ЗИП-Г, при которых выполняется неравенство (3.43). Результаты расчетов  $n_{i2}$  и  $R_{i2}(n_{i2}; a_{i2})$  для случая  $S = 3$  представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 Исходные данные для расчета начального уровня запаса ЗЧ в комплекте ЗИП-Г

$i$	$m_i$ , шт.	$\lambda_{zi}$ , 1/ч	$c_i$ , тыс. руб.	$\alpha_i$	$T_i$ , ч	$\beta_i$ , ч	$n_{i2}$ , шт.	$a_{i2}$	$R_{i2}(n_{i2}; a_{i2})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	3	$25,0 \times 10^{-6}$	235	1	720		2	0,054	0,0000062
9	6	$20,0 \times 10^{-6}$	97	1	720		3	0,0864	0,0000004
10	18	$5,0 \times 10^{-6}$	382	1	720		2	0,0648	0,000011
		$\sum_{i2=1}^{N_z} R_{i2}(n_{i2}; a_{i2})$							0,0000176

Расчеты проведены с использованием выражений (3.37) и (3.40).

Используя выражение (3.36), получим значение искомого показателя достаточности  $\Delta t_{\text{зип-г}} = 1468,43 \times 0,0000176 = 0,026$ , что обеспечивает выполнение неравенства (3.26).

Показатель достаточности для ЗИП-О для этого случая ( $\sum_{i0=1}^{N_o} R_{i0}(n_{i0}; a_{i0}) = 0,02847$ ) составит  $K_{\Gamma, \text{зип-о}} = 0,9720$ .

Оценим стоимость рассмотренных вариантов пополнения комплекта ЗИП (без учета стоимости ЗИП ГКСА):

– для первого варианта  $C_{\Sigma \text{зип}} = S C_{\Sigma \text{зип-о}} = 3 \times 1471,15 = 4413,45$  тыс. рублей;

– для второго варианта  $C_{\Sigma \text{зип}} = C_{\Sigma \text{зип-г}} + S \times C_{\Sigma \text{зип-о}} (1-7) = 1525 + 3 \times 757,15 = 3796,45$  тыс. рублей.

Получили, что выигрыш в стоимости второго варианта комплектования ЗИП по сравнению с первым составит 617 тысяч рублей.

Основные трудности при проведении расчетов комплектов ЗИП состоят в подготовке исходных данных по показателям надежности ( $\lambda$ ) запасных частей, входящих в систему ЗИП.

### 3.2.4.3 Особенности комплектования ЗИП в системах в защищенном исполнении

Анализ, обобщение и оценка опыта работ по техническому надзору за информационно-телекоммуникационными системами в защищенном исполнении (ИТС ЗИ) показывают, что выбор подходов к обеспечению их надежности и, прежде всего, ремонтпригодности технических средств (ТС) во многом ограничивается требованиями по защите информации.

Основные особенности организации восстановления работоспособности отказавших технических средств информационно-телекоммуникационных систем в защищенном исполнении рассмотрены в подразделе 2.3.

Напомним, что длительность ремонта отказавших ТС в ИТС ЗИ, за счет организационных простоев (связанных с необходимостью проведения специальных проверок комплектующих, используемых для ремонта, проведением специальных исследований отремонтированных комплексов технических средств и получением предписания на эксплуатацию от экспертной организации) может достигать 2–3 месяцев.

Поэтому поиск путей сокращения времени восстановления работоспособности функциональных изделий за счет изменения номенклатуры ЗИП на объектах ИТС ЗИ, является актуальной задачей.

Один из возможных путей решения этой задачи, представлен ниже.

В состав одиночных комплектов ЗИП объектов ИТС обычно включают следующие комплектующие: системные платы, НЖМД, модули памяти, сетевые карты, источники бесперебойного питания (ИБП) и т. п.

Для сокращения времени восстановления работоспособности отказавших функциональных изделий комплексов средств автоматизации ИТС ЗИ представляется целесообразным изменить номенклатуру комплектующих в составе ЗИП ИТС ЗИ [21]. Исходя из опыта проведенных работ по поддержанию работоспо-

способности ИТС ЗИ, предлагается в составе ЗИП предусматривать следующие группы оборудования:

Группа 1 – отдельные функциональные изделия (серверные ЭВМ, комплекты ЭВМ для рабочих станций, телекоммуникационные средства и средства защиты информации), прошедшие СП и СИ и имеющие соответствующие регистрационные документы. При этом перед включением в состав ЗИП серверов и рабочих станций они должны быть загружены общим и специальным программным обеспечением (СПО).

При использовании оборудования ЗИП этой группы, время, для восстановления работоспособности отказавшего функционального изделия (ФИ), включает:

– время, необходимое на организацию получения и доставку оборудования из мест хранения ЗИП в место эксплуатации отказавшего ФИ;

- время загрузки необходимого ПО;

– время включения ФИ в состав КСА ИТС ЗИ;

– время проверки работоспособности ФИ в составе КСА.

Замена отказавшего функционального изделия на исправное осуществляется службой эксплуатации объекта, и суммарное время восстановления функционального изделия может составить несколько часов.

После этого организуется ремонт отказавшего функционального изделия.

В таком случае время, необходимое на организацию и проведение ремонта отказавших технических средств, из состава отказавшего ФИ, лежит за пределами времени восстановления работоспособности функционального изделия (оно уже функционирует) и не оказывает влияния на показатели надёжности объекта.

После проведения ремонта отказавшее ФИ возвращается обратно в состав КСА объекта. Отремонтированное функциональное изделие по решению службы эксплуатации либо используется для восполнения ЗИП, либо возвращается на прежнее место функционирования, а заменившее его функциональное изделие из состава ЗИП возвращается обратно в состав ЗИП. В обоих указанных случаях время проведения ремонта отказавшего функционального изделия (с учетом времени, необходимого на прове-

дение СИ и получение заключения от экспертной организации) можно считать временем пополнения состава ЗИП.

Опыт работ по техническому надзору за ИТС ЗИ показывает, что ЗИП обычно пополняется не чаще, чем один раз в год. Использование ЗИП первой группы, позволяет сократить период пополнения ЗИП до 2–3 месяцев

Таким образом, использование оборудования ЗИП первой группы позволяет сократить время восстановления функциональных изделий ИТС ЗИ с нескольких месяцев до нескольких часов, а период пополнения ЗИП первой группы с 1–2 лет до 2–3 месяцев.

Группа 2 – отдельные компоненты функциональных изделий (системные блоки ЭВМ, мониторы, периферийные устройства (принтеры и сканеры) из состава автоматизированных рабочих мест, клавиатура, источники бесперебойного питания и др.), прошедшие специальные проверки.

Вторая группа оборудования ЗИП используется для замены отказавших технических средств в составе отказавших функциональных изделий, которые были заменены функциональными изделиями из состава ЗИП первой группы.

При использовании оборудования второй группы время восстановления функционального изделия включает:

– время замены отказавшего оборудования ФИ на исправное из состава ЗИП, время включения оборудования в схему отказавшего функционального изделия. Дозагрузку оборудования специальным программным обеспечением с учетом специфики функционального назначения отказавшего ФИ, проведение проверки его работоспособности. Суммарно это время может составить несколько часов;

– время на организацию проведения (вызов специалистов из специализированной организации) и проведение специальных исследований отремонтированного ФИ. Суммарно это время может составить от нескольких дней до нескольких недель.

– время на получение предписания на эксплуатацию по результатам СИ от экспертной организации, которое может составлять до 2–3 месяцев.

Таким образом, использование оборудования ЗИП второй группы позволяет сократить время восстановления отказавших

функциональных изделий за счет исключения времени необходимого на закупку аналогов отказавшего оборудования и проведение специальной проверки закупленного оборудования.

Группа 3 – отдельные узлы, блоки и платы компонентов функциональных изделий, в том числе:

а) материнские платы, видеокарты, прошедшие СП и тематические исследования встроенного ПО микросхем BIOS;

б) НЖМД, платы памяти, контроллеры, встроенные блоки питания и др. устройства, прошедшие СП.

Третья группа оборудования ЗИП предназначена для замещения компонентов в составе отказавших ТС, замененных из ЗИП оборудованием второй группы.

При использовании оборудования этой группы для восстановления работоспособности ТС время восстановления функционального изделия включает те же затраты времени, что и при использовании оборудования второй группы и может составить до 2–3 месяцев.

Группа 4 – расходные материалы (аккумуляторные батареи, картриджи и др.), прошедшие СП.

Таким образом, наиболее весомый вклад в сокращение времени восстановления работоспособности функциональных изделий в ИТС ЗИ обеспечивается за счет использования для ремонта оборудования ЗИП первой группы. Вместе с тем в составе ЗИП необходимо иметь все четыре группы оборудования и компонентов. Так, необходимость включения в состав ЗИП оборудования второй и третьей групп объясняется следующими основными причинами.

1. После восстановления работоспособности функционального изделия, отказавшие ТС из его состава, могут быть восстановлены службой эксплуатации объекта с использованием оборудования ЗИП второй и третьей групп. При их отсутствии в составе ЗИП неисправное оборудование необходимо отправлять в ремонтные органы, а это влечет за собой дополнительные временные затраты.

2. Срок службы ИТС ЗИ обычно составляет не менее 10 лет. В то же время в связи с быстрым развитием средств вычислительной техники номенклатура выпускаемых промышленностью комплектующих для ремонта ТС (системные платы, процессоры,

память и др.) обновляется каждые 2–3 года [29]. Это означает, что через 2–3 года после поставки оборудования на объекты ИТС ЗИ в ремонтных органах может не оказаться нужной номенклатуры комплектующих и будет необходимо заменять их современными аналогами. В этом случае для системных плат и других элементов, содержащих устройства BIOS, потребуется проводить их тематические исследования, что также связано с дополнительными временными и финансовыми затратами.

Оценку количественных характеристик комплектования ЗИП с учетом предложенных групп оборудования ЗИП произведем в соответствии с методикой расчета запасов в комплекте ЗИП, изложенной в 3.2.4.2.

Пусть объект состоит из 6 серверов и 15 рабочих станций. Кроме количественного состава известна  $T_{oi}$  – средняя наработка на отказ оборудования  $i$ -го типа в каждой группе оборудования. Предложенный состав объекта позволит рассмотреть наиболее типовые варианты комплектования ЗИП.

Исходные данные по составу оборудования объекта, учитываемые при оценке состава ЗИП, представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 Исходные данные по составу оборудования объекта

Оборудование	$i$	Обозначение	$T_{oi}$ (час)	$m_i$ , шт.	Наименование оборудования
Первой группы	1	1-1	30 000	6	Сервер
	2	1-2	12 000	15	АРМ
Второй группы	1	2-1	15 000	15	Системный блок
	2	2-2	25 000	15	Монитор
	3	2-3	18 000	15	Клавиатура
	4	2-4	18 000	15	Манипулятор мышь
	5	2-5	12 000	15	ИБП
Третьей группы	1	3-1	14 000	6	Сменный модуль питания сервера 750 Вт
	2	3-2	18 000	6	Модуль памяти сервера
	3	3-3	18 000	6	Системная плата сервера
	4	3-4	20 000	6	Сетевая карта сервера
	5	3-5	10 000	6	НЖМД сервера
	6	3-6	20 000	6	Средство контроля доступа
	7	3-7	30 000	6	Процессор сервера
	8	3-8	18 000	15	Системная плата ЭВМ
	9	3-9	18 000	15	Процессор ЭВМ
	10	3-10	18 000	15	Модуль памяти ЭВМ
	11	3-11	10 000	15	НЖМД ЭВМ
	12	3-12	20 000	15	Сетевая карта ЭВМ
	13	3-13	20 000	15	Видеокарта ЭВМ
	14	3-14	12 000	15	Сменный модуль питания ЭВМ 450 Вт

Рассмотрим два варианта комплектования ЗИП.

По первому варианту – принятая в настоящее время система комплектования ЗИП, период пополнения запасов элементов данного типа  $T_{mn} = 8760$  часов (1 год). В состав ЗИП включаются системные платы, НЖМД, модули памяти, сетевые карты, источники бесперебойного питания, клавиатура, конвертеры и т. п.

По второму варианту предлагаемая 4-х уровневая система комплектования.

Исходные данные для расчетов первого варианта представлены в табл. 3.6 (колонки 1–5).

Таблица 3.6 Исходные данные и результаты расчетов при первом варианте комплектования ЗИП

$i$	Обозначение	$m_i$ , шт.	$\lambda_{zi}$ , 1/ч	$T_{mn}$ , ч	$n_{io}$ , шт.	$a_{io}$	$R_{io}(n_{io}, a_{io})$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3-1	6	0,000071	8760	10	3,73176	0,00098899
2	3-2	6	0,000056	8760	7	2,94336	0,00579369
3	3-3	6	0,000056	8760	7	2,94336	0,00579369
4	3-4	6	0,00005	8760	7	2,628	0,00320029
5	3-5	6	0,0001	8760	12	5,256	0,00170599
6	3-6	6	0,00005	8760	7	2,628	0,00320029
7	3-7	6	0,000033	8760	6	1,73448	0,0012477
8	3-8	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
9	3-9	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
10	3-10	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
11	3-11	15	0,0001	8760	23	13,14	0,00213117
12	3-12	15	0,00005	8760	14	6,57	0,00175696
13	3-13	15	0,00005	8760	14	6,57	0,00175696
14	3-14	15	0,000083	8760	20	10,9062	0,00208838
15	2-2	15	0,00004	8760	12	5,256	0,00170599
16	2-3	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
17	2-4	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
18	2-5	15	0,000083	8760	20	10,9062	0,00208838
$\sum_{io=1}^{N_o} R_{io}(n_{io}, a_{io})$							<b>0,04362113</b>

Используя выражение (3.29), определим  $a_{io}$  и заполним колонку 7 табл. 3.6. Значение промежуточного расчетного показателя  $R_{io}(n_{io}, a_{io})$  вычислим по формуле (3.31). Численное значение выражения в квадратных скобках в (3.31) при фиксированном  $i$  зависит только от  $n_{io}$ .

Для получения заданной точности вычисления показателя достаточности принимаем  $\varepsilon_0 = 0,1$  (в соответствии с (3.34)  $\varepsilon_0/2N = 0,005$ ) и путем итераций, начиная с  $n_{io} = 1$  и увеличивая  $n_{io}$  на каждом шаге на единицу, отыскиваем такое значение  $n_{io}$ , при котором выполняется неравенство (3.34). Полученные таким образом значения  $n_{io}$  и  $R_{io}(n_{io}, a_{io})$  вставляем в табл. 3.6 (графы 6 и 8 соответственно).

Анализ полученных результатов (колонка 6) показывает, что для обеспечения заданных показателей надежности функционирования  $n = 6$  серверов с показателем достаточности не менее 0,9 и при периодическом пополнении состава ЗИП один раз в год потребуется иметь в составе ЗИП объекта от 6 до 12 запасных элементов различного типа.

Для обеспечения заданных показателей надежности функционирования  $m = 15$  АРМ потребуется иметь в составе ЗИП объекта от 12 до 23 запасных элементов различного типа.

Результирующее значение показателя  $R_{io}(n_{io}, a_{io})$  представлено в нижней строке табл. 3.6. Подставляя это значение в выражение (3.27) получим значение показателя достаточности комплекта ЗИП-О  $K_{z.zup} = 0,957$ .

Другими словами, при указанном в колонке 6 количестве запасных частей в составе ЗИП коэффициент готовности системы ЗИП составит  $K_{z.zup} = 0,957$ .

Во втором варианте для пополнения оборудования ЗИП 1-й группы и части оборудования 2-й группы (оборудование, которое может быть отремонтировано на объекте путем замены отказавших комплектующих из ЗИП третьей группы, например системный блок ЭВМ) используется отремонтированное оборудование и поэтому принята стратегия непрерывного пополнения с числовым параметром пополнения  $T_{np} = 1440$  часов (2 месяца), а для оборудования 3-й группы и оставшегося оборудования 2-й группы – периодическая стратегия пополнения с параметром  $T_{i,1} = 8760$  часов.

Исходные данные и результаты расчета комплекта ЗИП при втором варианте его формирования представлены в табл. 3.7 (колонки 1–5).

Результаты вычислений с использованием выражения (3.33) представлены в колонке 6 – для оборудования первой группы

(сервер и АРМ) в строках 1–2, для оборудования второй группы (системный блок ЭВМ) – строка 1. Для оборудования 3-й группы результаты расчетов такие же, как и в табл. 3.6.

Таблица 3.7 Исходные данные и результаты расчетов при втором варианте комплектования ЗИП

Оборудование	$i$	Обозначение	$m_i$ , шт.	$\lambda_{zi}$ , 1/ч	$T_i$ , ч	$n_i$ , шт.	$a_{io}$	$R_{io}(n_{io}, a_{io})$
0	1	2	3	4	5	6	7	8
Первой группы	1	1-1	6	0,000033	1440	2	0,28512	0,0029096
	2	1-2	15	0,000083	1440	6	1,7928	0,0019695
Второй группы	1	2-1	15	0,000067	1440	5	1,4472	0,00300821
	2	2-2	15	0,000040	8760	12	5,256	0,00170599
	3	2-3	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
	4	2-4	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
	5	2-5	15	0,000083	8760	20	10,9062	0,00208838
Третьей группы	1	3-1	6	0,000071	8760	10	3,73176	0,00098899
	2	3-2	6	0,000056	8760	7	2,94336	0,00579369
	3	3-3	6	0,000056	8760	7	2,94336	0,00579369
	4	3-4	6	0,00005	8760	7	2,628	0,00320029
	5	3-5	6	0,0001	8760	12	5,256	0,00170599
	6	3-6	6	0,00005	8760	7	2,628	0,00320029
	7	307	6	0,000033	8760	6	1,73448	0,0012477
	8	3-8	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
	9	3-9	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
	10	3-10	15	0,000056	8760	15	7,3584	0,00203253
	11	3-11	15	0,0001	8760	23	13,14	0,00213117
	12	3-12	15	0,00005	8760	14	6,57	0,00175696
	13	3-13	15	0,00005	8760	14	6,57	0,00175696
	14	3-14	15	0,000083	8760	20	10,9062	0,00208838
$\sum_{io=1}^{N_o} R_{io}(n_{io}, a_{io})$								<b>0,05150844</b>

Результирующее значение промежуточного показателя  $R_{io}(n_{io}, a_{io})$  представлено в нижней строке табл. 3.7. Подставляя это значение в выражение (3.25), получим значение ПД комплекта ЗИП  $K_{z.zip-o} = 0,9499$ .

Из табл. 3.7 следует, что для обеспечения заданных показателей надежности функционирования 6 серверов и 15 АРМ потребуется иметь в составе ЗИП объекта 2 сервера, 6 АРМ и 5 системных блоков ЭВМ. При этом на порядок сокращается время восстановления неисправного оборудования.

При расчетах минимизация затрат, на создание комплекта ЗИП, обеспечивалась включением в состав ЗИП минимального

количества запасов каждого типа, при которых обеспечивается заданный уровень ПД.

Таким образом, предложенная иерархическая система комплектования ЗИП с учетом особенностей ИТС ЗИ за счет рационального подхода к формированию номенклатуры компонентов ЗИП позволяет сократить в 8–12 раз время, обусловленное организационными простоями в процессе организации и проведения ремонта ТС в составе ИТС ЗИ. Этот подход к формированию номенклатуры ЗИП апробирован в ходе выполнения работ по обеспечению функционирования и поддержания работоспособности ведомственной ИТС ЗИ.

При расчете объемов запасных частей в комплектах ЗИП необходимо учитывать, что оснащение объектов ИТС ЗИ комплектами ЗИП связано с существенными материальными затратами, иногда сопоставимыми по стоимости со стоимостью самих объектов. Здесь требуется взвешенный системный подход, поскольку завышенные требования к составу ЗИП ведут к неэффективным затратам, а заниженные требования приводят к снижению надежности функционирования объекта (увеличению среднего времени восстановления).

### 3.2.5 Программа обеспечения надежности ИТС

Для создания изделий, удовлетворяющих заданным требованиям надежности, составляют программу обеспечения надежности (ПОН) — документ, регламентирующий совокупность взаимосвязанных требований, организационно-технических мероприятий и правил принятия решений, направленных на достижение указанных целей.

ПОН должна устанавливать цели расчета на каждом этапе видов работ, применяемые при расчете нормативные документы и методики, сроки выполнения расчета и исполнителей, порядок оформления, представления и контроля результатов расчета.

На необходимость разработки ПОН для АСУ указывает ГОСТ 24.701-86 [50], а для средств вычислительной техники - ГОСТ 21552-84 [51].

В рамках ГОСТ 34.602 [71] для автоматизированных систем разработка ПОН не требуется в обязательном порядке. При необходимости (по условиям договора или так принято у Заказчика)

ПОН приводят не в виде отдельного документа, а в разделе технического задания под названием «Состав и содержание работ по созданию (развитию) системы».

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 [55] под «Программой обеспечения надежности» (ПОН) понимают документ, устанавливающий комплекс взаимосвязанных организационно-технических требований и мероприятий, подлежащих проведению на определенных стадиях жизненного цикла объекта и направленных на обеспечение заданных требований к надежности и (или) на повышение надежности.

ГОСТ РВ 27.1.02-2005 [97] предусматривает разработку ПОН на следующих этапах:

- ПОНр – на стадии разработки;
- ПОНп – на стадии производства;
- ПОНкр – на стадии капитального ремонта;
- ПОНэ – на стадии эксплуатации.

Однако, учитывая, что в связи с быстрым моральным старением и частой сменой поколений современных средств вычислительной техники в составе ИТС, считаем, что их капитальный ремонт не проводится. Поэтому ПОНкр рассматривать не будем.

Основной задачей разработки ПОН является определение обоснованного перечня работ и мероприятий, проводимых на всех стадиях создания и эксплуатации системы и ее изделий с целью достижения требуемого уровня надежности.

В решении этой задачи может оказаться полезным ГОСТ Р 51901.6-2005 (МЭК 61014:2003) [98] в котором устанавливаются требования и даются рекомендации по повышению надежности аппаратных средств и программного обеспечения на всех этапах жизненного цикла изделия.

### 3.2.5.1 Общий подход к формированию программы обеспечения надежности

В ПОНр предусматривают следующие основные мероприятия, выполняемые в процессе ОКР:

- анализ требований к надежности, установленных в ТТЗ (ТЗ), условий и специфики эксплуатации изделия;
- выбор и обоснование способов технического обслуживания и ремонта;

- прогнозирование надежности возможных вариантов схемного и конструктивного построения изделия, обоснование оптимального варианта, удовлетворяющего предъявленным требованиям в пределах установленных ограничений стоимости, массы, габаритных размеров и других параметров;

- предварительный выбор и обоснование элементной базы и конструктивных материалов применительно к выбранному варианту построения изделия;

- установление критериев отказов и предельных состояний;

- распределение требований к надежности, предъявляемых к изделию, между составными частями (СЧ) изделия;

- включение требований к надежности СЧ в ТЗ на выполнение ОКР СЧ;

- расчет показателей надежности изделия;

- анализ возможных видов, причин и последствий отказов и разработку мер по предупреждению наиболее опасных отказов;

- анализ и оценку влияния внешних воздействующих факторов на надежность изделия, разработку и реализацию мероприятий, направленных на повышение стойкости изделия к внешним воздействующим факторам;

- проведение экспериментальной отработки, оценку показателей надежности образца изделия, его СЧ;

- контроль реализации разработанных способов обеспечения надежности;

- сбор и анализ данных об отказах, проведение необходимых доработок, оценку эффективности принятых мер по устранению их причин в процессе экспериментальной отработки;

- определение оптимальных структуры, состава и конструктивного исполнения комплектов ЗИП;

- установление требований обеспечения надежности изделия на стадии эксплуатации в эксплуатационной документации;

- оценку по результатам проведения приемочных (государственных) испытаний соответствия изделия требованиям к надежности, установленным в ТТЗ (ТЗ);

- определение необходимости доработок, оценку их влияния на уровень надежности изделий;

- разработку предложений по содержанию ПОНп и ПОНэ.

ПОНр должна быть разработана в начале выполнения ОКР и охватывать все этапы ОКР, предусмотренные в ТТЗ (ТЗ). Основные мероприятия ПОНр должны быть включены в планы выполнения ОКР и планы подразделений-исполнителей.

ПОНр разрабатывает головной исполнитель ОКР. Главный конструктор ОКР и руководители подразделений, принимающих участие в выполнении, подписывают ПОНр, согласовывают ее с заказчиком (представителем заказчика). Утверждает ПОНр руководитель предприятия.

Ответственным за реализацию ПОНр является головной исполнитель ОКР, а также головной изготовитель опытного образца изделия, если в ПОНр предусмотрены мероприятия для изготовления опытного образца изделия (опытной партии).

В ПОНп предусматривают следующие основные мероприятия, подлежащие выполнению при постановке на производство и серийном производстве:

- подготовка производства к выпуску изделий, удовлетворяющих требованиям к надежности;
- разработку нормативных документов, необходимых для реализации ПОНп;
- включение в систему контроля технологических процессов операций, позволяющих выявлять и устранять отклонения от конструкторской и технологической документации, влияющие на уровень надежности изделий;
- сбор информации об отказах, возникающих в процессе изготовления;
- организацию и проведение испытаний на надежность;
- сбор, распределение и реализацию информации о надежности изделий по результатам испытаний и данным эксплуатации;
- оценку соответствия изделий требованиям к надежности по результатам испытаний и данным эксплуатации;
- анализ причин отказов изделий, определение необходимости и корректировку конструкторской и эксплуатационной документации, проведение испытаний для проверки вносимых изменений, оценку эффективности проведенных мероприятий;
- организацию обучения персонала подразделений, участвующих в реализации ПОНп;

- подготовку отчетных документов, установленных в ПОНп.

ПОНп разрабатывает головной исполнитель в процессе подготовки производства с учетом предложений по содержанию ПОНп головного исполнителя ОКР. ПОНп должна охватывать все этапы постановки на производство. Ответственным за разработку и реализацию ПОНп является главный инженер предприятия (заместитель руководителя по качеству).

ПОНп подписывают руководители подразделений, участие в ее реализации, согласовывают с представителем заказчика и главным конструктором ОКР, а утверждает руководство предприятия (руководитель или его заместитель, отвечающий за обеспечение надежности).

В ПОНэ предусматривают следующие основные мероприятия, выполняемые при вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации:

- подготовку необходимого оборудования и персонала эксплуатирующей организации к выполнению требований по обеспечению надежности образца, установленных в эксплуатационной и ремонтной документации и ПОНэ;

- организацию и учет данных о надежности образца при проведении предусмотренных эксплуатационной и ремонтной документацией работ (в процессе ввода в эксплуатацию, использования по назначению, технического обслуживания, транспортирования, хранения, текущего ремонта);

- организацию и проведение наблюдений за надежностью образцов;

- сбор и анализ данных об отказах, выявление и устранение причин их возникновения;

- выявление необходимости и корректировку конструкторской, технологической эксплуатационной и ремонтной документации;

- контроль за соблюдением требований эксплуатационной документации, выявление и устранение нарушений правил эксплуатации, приводящих к отказам образцов;

- планирование авторского надзора;

- периодическую оценку фактических значений показателей надежности образцов по данным эксплуатации;

- оценку эффективности проведенных доработок и мероприятий;

- подготовку отчетных документов, установленных в ПОНэ.

ПОНэ изделий разрабатывают в том случае, если по результатам выполнения ОКР, освоения производства или опыта эксплуатации установлена необходимость проведения дополнительных мероприятий по обеспечению надежности на стадии эксплуатации, кроме мероприятий, предусмотренных в эксплуатационной и ремонтной документации.

Основанием для разработки ПОНэ является совместное решение заказчика, разработчика и изготовителя образца изделия, устанавливающее:

- организацию, ответственную за разработку ПОНэ;

- порядок и сроки разработки, согласования и утверждения ПОНэ;

- предприятия и организации, ответственные за реализацию ПОНэ;

- порядок и контроль реализации ПОНэ.

В разработке ПОНэ принимают участие головной исполнитель ОКР, изготовитель образца и заказчик

ПОНэ согласовывают с представителями заказчика при предприятиях и организациях, принимающих участие в разработке ПОНэ, и утверждают изготовитель образца и заказчик.

### 3.2.5.2 Требования к составу и содержанию программы обеспечения надежности

В общем случае ПОН содержит три раздела:

- общие положения;

- перечень мероприятий по обеспечению надежности;

- порядок контроля выполнения и корректировки ПОН.

В разделе «Общие положения» приводят:

- основание для разработки программы;

- перечень нормативных документов (стандартов, правил и рекомендаций по стандартизации, методик, руководств, инструкций и т.п.) используемых при выполнении мероприятий ПОН;

- для ПОНр (ПОНп) образца – перечень ПОНр (ПОНп) составных частей с указанием предприятий, ответственных за их разработку и реализацию.

Раздел «Перечень мероприятий по обеспечению надежности» рекомендуется оформлять в виде таблицы по следующей форме:

Виды работ, этапы видов работ	Мероприятия по обеспечению надежности	Срок исполнения	Ответственный исполнитель, исполнители	Нормативная документация	Отчетные документы

В графе «Виды работ, этапы видов работ» указывают этапы разработки, производства, эксплуатации которым соответствуют мероприятия по обеспечению надежности.

В графе «Мероприятия по обеспечению надежности» указывают перечень конкретных мероприятий для каждого этапа с учетом специфики изделия и порядка разработки, производства, эксплуатации.

В графе «Срок исполнения» указывают календарный срок или срок по отношению к определенному этапу вида работ, к которому следует завершить выполнение соответствующего мероприятия.

В графе «Ответственный исполнитель, исполнители» указывают подразделения, участвующие в выполнении соответствующего мероприятия. Первым указывается подразделение, ответственное за выполнение данного мероприятия.

В графе «Нормативная документация» указывают обозначения документов, которыми следует руководствоваться при выполнении данного мероприятия и, при возможности, наименования документов. Допускается вместо обозначения документа приводить его порядковый номер по перечню, установленному в разделе «Общие положения».

В графе «Отчетные документы» указывают наименование (вид) отчетного документа, отражающего результаты выполнения конкретного мероприятия.

В состав отчетных документов ПОНр могут входить:

- отчет о результатах анализа надежности изделий-аналогов;
- разделы пояснительных записок эскизного и технического проектов;
- расчет надежности изделия;
- планы экспериментальной отработки;

- программы и методики испытаний на надежность;
- методики оценки надежности;
- протоколы и акты испытаний;
- расчет ЗИП;
- отчет о результатах анализа причин выявленных неисправностей;
- предложения по содержанию ПОНп и ПОНэ;
- отчеты о реализации ПОНр на контрольных этапах.

В состав отчетных документов ПОНп могут входить:

- методики оценки надежности;
- нормативная документация по обеспечению надежности;
- программы и акты испытаний;
- отчет о результатах анализа причин отказов;
- предложения по содержанию ПОНэ, периодические отчеты о реализации ПОНп на контрольных этапах.

В состав отчетных документов ПОНэ могут входить:

- документы планирования и организации наблюдения за надежностью образцов;
- отчеты о результатах сбора данных и анализа причин отказов;
- результаты периодической оценки уровня надежности по данным эксплуатации;
- отчеты (сообщения) о принятых мерах по устранению причин отказов и отчеты о реализации ПОНэ на контрольных этапах.

В разделе «Порядок контроля выполнения и корректировки ПОН» устанавливаются контрольные этапы и отчетные документы, порядок контроля и корректировки ПОН.

Более подробные сведения о порядке разработки и содержания программ обеспечения надежности на различных этапах жизненного цикла изделий могут быть получены из указанных выше (и других) государственных стандартов.

### **3.3 Проверка требований по надёжности на этапе испытаний**

#### **3.3.1 Организация и условия проведения испытаний**

Экспериментальные данные для оценки показателей надежности могут быть получены либо по результатам испытаний –

специальных или совмещенных, либо в процессе наблюдения за функционированием изделия в условиях эксплуатации.

Специальные (определяющие) испытания организуются специально с целью определения показателей надежности испытываемого изделия.

Совмещенными называются испытания, при которых определение (контроль) показателей надежности совмещается с экспериментальными исследованиями других параметров изделия.

Специальные испытания организуются обычно для изделий, выпускаемых в достаточно большом количестве. Специальные испытания для сложных изделий (таких как ИТС) как правило, не проводятся, так как объем выпуска обычно ограничивается единицами экземпляров, а процессы изготовления, отладки, проверки функционирования и доводки занимают много времени. Показатели надежности таких изделий оцениваются в основном по результатам совмещенных испытаний, либо в процессе наблюдений за надежностью изделия на этапе эксплуатации.

Экспериментальные оценки надежности преследуют одну из следующих целей:

- определение фактических значений показателей надежности;
- контроль соответствия изделия заданному требованию.

Применительно к ИТС следует иметь в виду, что в соответствии с ГОСТ 34.603-92 [99] испытания автоматизированных систем (АС) проводят с целью проверки соответствия создаваемой системы требованиям технического задания. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать, в основном, контрольные испытания.

Для автоматизированных систем устанавливаются следующие виды испытаний: предварительные испытания, опытная эксплуатация и приемочные испытания. Испытания могут быть автономные и комплексные. Автономные испытания охватывают части АС. Их проводят по мере готовности частей АС к сдаче в опытную эксплуатацию. Комплексные испытания проводят для групп взаимосвязанных частей АС или для АС в целом.

Допускается последовательное проведение испытаний и сдача частей АС в опытную и постоянную эксплуатацию. При проведении испытания сложных систем, которые имеют значительный пространственный размах, сложную многоуровневую

структуру и разветвленную топологию, допускается создание «Опытного участка». В состав опытного участка должны включаться такие составляющие сложной системы (устанавливается в ТЗ), которые позволят обеспечить проверку выполнения требований ТЗ к создаваемой системе в полном объеме.

Для планирования проведения каждого вида испытаний разрабатывается документ «Программа и методика испытаний», в котором устанавливается необходимый и достаточный объем испытаний, обеспечивающий заданную достоверность получаемых результатов.

*Предварительные испытания АС* проводят для определения ее работоспособности и решения вопроса о возможности приемки в опытную эксплуатацию.

Испытания АС следует проводить на объектах заказчика. Однако, по согласованию между заказчиком и разработчиком, приемку программных средств и значительный ряд проверок предусмотренных «Программой и методикой предварительных испытаний», допускается проводить на технических средствах разработчика при создании условий получения достоверных результатов испытаний.

Проведение таких проверок возможно, если при проведении ОКР создается [100] стенд Главного конструктора (СГК). СГК создается с целью экспериментальной отработки системотехнических и аппаратно-программных решений по построению системы в целом, ее подсистем, элементов и видов обеспечения АС. Кроме того, СГК может применяться в качестве аппаратно-программной основы для оперативной разработки проблемных вопросов, возникающих в ходе опытной и постоянной эксплуатации АС на объектах заказчика. СГК позволяет решать широкий перечень стоящих перед разработчиком задач на всех стадиях и этапах создания (включая сбор статистических данных об отказах и восстановлении отдельных аппаратно-программных средств и типовых аппаратно-программных комплексов).

В процессе проведения предварительных испытаний на объектах заказчика должен проводиться сбор статистических данных о надежности технических и программных средств.

Результаты сбора статистических данных на технических средствах разработчика и на объектах заказчика должны объеди-

няться и фиксироваться в протоколах предварительных испытаний.

*Опытную эксплуатацию АС* проводят с целью определения фактических значений количественных и качественных характеристик АС и оценки готовности персонала к работе в условиях функционирования АС, определения фактической эффективности АС, корректировки (при необходимости) документации.

Опытную эксплуатацию АС проводят в соответствии с программой, в которой указывают:

- 1) условия и порядок функционирования частей АС и АС в целом;
- 2) продолжительность опытной эксплуатации, достаточную для проверки правильности функционирования АС при выполнении каждой функции системы и готовности персонала к работе в условиях функционирования АС;
- 3) порядок устранения выявленных недостатков.

Во время опытной эксплуатации АС ведут рабочий журнал, в который заносят сведения о продолжительности функционирования АС, отказах, сбоях, аварийных ситуациях, изменениях параметров объекта автоматизации, проводимых корректировках документации и программных средств, наладке технических средств.

По результатам опытной эксплуатации принимают решение о возможности (или невозможности) предъявления частей АС и системы в целом на приемочные испытания.

Протоколы предварительных испытаний и рабочие журналы опытной эксплуатации (содержащие, в числе прочего, сведения о надежности оборудования и программных средств) представляются в комиссию по проведению приемочных испытаний.

На *приемочных испытаниях* определяется соответствие АС техническому заданию, оценивается качество опытной эксплуатации и решается вопрос о возможности приемки АС в постоянную эксплуатацию.

Приемочные испытания АС проводятся на объектах заказчика и должны включать проверку [99]:

- 1) полноты и качества реализации функций при штатных, предельных, критических значениях параметров объекта автома-

тизации и в других условиях функционирования АС, указанных в ТЗ;

- 2) выполнения каждого требования, относящегося к интерфейсу системы;
- 3) работы персонала в диалоговом режиме;
- 4) средств и методов восстановления работоспособности АС после отказа;
- 5) комплектности и качества эксплуатационной документации.

Проверка средств восстановления работоспособности АС после отказа ЭВМ должна включать:

- 1) проверку наличия в эксплуатационной документации рекомендаций по восстановлению работоспособности и полноту их описания;
- 2) практическую реализуемость рекомендованных процедур;
- 3) работоспособность средств автоматического восстановления функций (при их наличии).

В процессе проведения испытаний должен проводиться сбор статистических данных о надежности технических и программных средств на каждом объекте.

Результаты испытаний объектов фиксируются в протоколах. Работу завершают оформлением акта приемки АС в постоянную эксплуатацию.

### 3.3.2 Основные методические подходы к оценке надежности ИТС при проведении совмещенных (контрольных) испытаний

#### 3.3.2.1 Сбор информации об отказах и восстановлениях аппаратно-программных средств и ее предварительная обработка

Вопросы организации испытаний, сбора и предварительной обработки статистических данных являются общими и одинаково важными для определения (контроля) показателей надежности при любых видах испытаний [7].

Как указывалось выше, информация о надежности ИТС и ее элементов может поступать из двух источников:

- 1) данные, полученные в процессе испытаний системы – специальных или совмещенных;
- 2) результаты наблюдений за функционированием изделия, в процессе эксплуатации.

Считается, что информация о надежности изделий, полученная в процессе испытаний, более достоверна, чем эксплуатационная. Это объясняется тем, что в процессе испытаний поддерживаются и контролируются заданные режимы и условия работы. Испытания на надежность обычно проводятся в наиболее тяжелых условиях и режимах работы, оговоренных техническими условиями.

В процессе же эксплуатации условия для работы изделий оказываются самыми разнообразными, отличными часто от номинальных и даже предельно допустимых. Информация о надежности, полученная в процессе эксплуатации, отражает надежность работы изделий в естественных условиях. В процессе эксплуатации изделий отказы определяются не только конструктивными и технологическими факторами, но и нарушениями режимов и условий эксплуатации, а также ошибками обслуживающего персонала.

Достоверность информации о надежности в процессе эксплуатации определяется точным учетом всех отказов, независимо от причины их возникновения, последствий отказов и трудоемкости их устранения.

Информация о надежности, полученная в процессе испытаний, обычно опережает информацию, полученную в процессе эксплуатации. Однако, информация о надежности в процессе эксплуатации получается от большого количества работающих изделий в течение длительного времени работы.

Отмеченные выше особенности двух источников информации о надёжности дифференцируют области их использования. Так, для оперативной оценки качества и надёжности создаваемого изделия и своевременного воздействия на процесс создания целесообразно проводить испытания. Информация о надёжности, полученная в процессе эксплуатации, служит дополнением и корректировкой к информации, полученной при испытаниях, а также для новых разработок.

*Основные требования к информации о надёжности:*

Собранная информация должна быть полной для правильной оценки надёжности и выдачи рекомендаций. Следует подчеркнуть, что полнота и достоверность информации об отказах и восстановлениях во многом определяется квалификацией и добросовестностью персонала, ведущего сбор информации об отказах и ремонте.

Объём собираемой информации определяется поставленной перед испытаниями целью, то есть тем, какие характеристики надёжности необходимо получить. Так, например, для определения  $P(t)$ ,  $T_0$  и выявления наименее надёжных элементов необходимы следующие сведения об отказавшем изделии:

- а) наименование и тип элемента (узла) по причине которого наступил отказ в изделии;
- б) сведения о времени наступления отказа;
- в) сведения о наработке изделия с начала эксплуатации или испытаний;
- г) сведения о причине возникновения отказа.

Для определения влияния условий эксплуатации на характеристики надёжности необходимо измерять и регистрировать параметры окружающей среды: температура окружающей среды, влажность, запыленность, электромагнитные поля и т.п.

Для оценки ремонтпригодности изделий необходимо также знать время простоя, время восстановления на месте или в мастерских, время поиска причин отказа.

Для определения показателя достаточности ЗИП (необходимого количества запасных частей, инструментов и принадлежностей) необходимы также сведения о способе восстановления: с заменой отказавшего изделия (или элемента) или без замены, и какие элементы были заменены до этого.

Основными видами первичной документации об отказах являются журналы учета отказов, формуляры или карточки учета неисправностей. Возможная форма ведения журнала учета отказов регламентируется отраслевыми стандартами или стандартами предприятия - разработчика. Ниже (таблица 3.8) представлена примерная форма журнала учета отказов.

Получаемые в результате испытаний статистические данные о надёжности функционирования ИТС, ее технических и программных средств, представляют собой совокупность ситуаций



очень разнородных как по причинам возникновения, так и по их влиянию на те или иные показатели надежности. Так в условиях совмещенных испытаний сложных изделий статистическая информация может быть в значительной степени засорена фактами нарушения исправности, не имеющими отношения к оцениваемому (или контролируемому) показателю надежности. Поэтому обработка результатов наблюдений обязательно должна включать этап предварительного качественного анализа полученных данных [7].

При проведении качественного анализа, в целях увеличения объема статистической информации, осуществляется объединение сведений об отказах и наработке однотипных изделий, полученных на всех этапах испытаний.

Кроме того, в зависимости от целей анализа, статистическую информацию можно классифицировать по разным признакам – по причинам, месту и способу восстановления, характеру влияния на работоспособность изделия, отношению к конкретным показателям надежности и т.п.

Наиболее важными считаются две группы классификации отказов [5] – по причинам возникновения и по отношению к оцениваемым показателям надежности.

#### 1. Классификация отказов по причинам возникновения.

Группы, на которые классифицируются отказы по причинам возникновения, определяются в основном тем, какие мероприятия могут способствовать улучшению качества изделия. Выделяются следующие группы отказов:

- конструктивные, определяемые качеством разработки изделия;
- технологические, определяемые качеством технологической документации и технологического оснащения производства;
- производственные, обусловленные нарушениями требований технологии при изготовлении;
- эксплуатационные, обусловленные эксплуатацией изделия в режимах и условиях, не предусмотренных технической документацией.

Для изделий, управляемых программно могут быть выделены еще две группы нарушений функционирования, которые

внешне проявляются как отказы: алгоритмические и программные.

2. Классификация отказов по отношению к оцениваемым показателям надежности.

Все отказы по этому показателю разделяются на «учитываемые» и «не учитываемые». При этом к не учитываемым отказам относятся:

- отказы, вызванные внешними воздействиями, не предусмотренными в технической документации на изделие;
- отказы опытных образцов, причины которых устранены в процессе доработок и эффективность доработок подтверждена последующим ходом испытаний;
- отказы, связанные с проведением специальных экспериментов;
- отказы, вызванные нарушением обслуживающим персоналом инструкций по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту.

### 3.3.2.2 Оценка показателей надежности ИТС на основе полученных результатов

Контроль показателей надежности должен включать [70]:

- получение и математическую обработку исходных данных;
- принятие решения о соответствии или несоответствии изделий установленным требованиям;
- анализ причин и последствий отказов с целью разработки мероприятий по повышению надежности изделия.

Оценку показателей надежности сложных систем, таких как ИТС, на этапе испытаний проводят, как правило, расчетно-экспериментальным методом. Для этого на всех этапах испытаний фиксируется статистическая информация об отказах и восстановлениях аппаратных, аппаратно-программных средств и комплексов средств автоматизации в целом. Производится предварительная обработка собранной информации, и вычисляются показатели надежности типовых элементов на объектах ИТС. Для увеличения достоверности получаемых результатов статистические данные о надежности однотипных элементов, полученные на отдельных объектах ИТС, могут объединяться.

Затем, используя методический подход, предложенный в подразделе 1.6 для сложных систем, определяются показатели надежности аппаратно-программных комплексов на объектах ИТС или(и) ИТС в целом.

Далее подробнее остановимся на определении показателей надежности типовых элементов ИТС с использованием собранной в процессе испытаний статистической информации.

Предварительно обработанные (в соответствии с изложенным в п.п. 3.3.2.1) результаты испытаний подлежат статистической обработке. Статистическая обработка сводится к оценке параметров функции распределения случайных величин, определяемых искомыми показателями надежности, т.е. к традиционной задаче математической статистики.

Возможность и целесообразность использования того или иного метода обработки, трудоемкость обработки и качество получаемых оценок существенно зависят от типа оцениваемого показателя надежности, объема априорных сведений о наблюдаемой случайной величине, характера статистического материала, который подлежит обработке [5].

Наиболее существенными, для этапа статистической обработки, являются следующие факторы:

- типы оцениваемых показателей надежности;
- характер априорных сведений о наблюдаемой случайной величине;
- характер статистического материала при различных стратегиях испытаний.

Типы оцениваемых показателей надежности.

При оценках надежности по экспериментальным данным, независимо от того какое свойство исследуется, все многообразие оцениваемых показателей сводится к показателям двух типов:

- показатели типа наработка – средняя наработка до отказа, между отказами, время восстановления, срок сохраняемости и т.п.;
- показатели типа вероятность (безотказной работы, исправного состояния в произвольный момент, восстановления за заданное время и т.д.).

При определении показателей типа наработки непосредственно наблюдаемыми величинами являются случайные интер-

валы - наработки до отказа, между отказами, времени восстановления, времени хранения до отказа и т.п.

При определении показателей типа вероятности непосредственно наблюдаемыми случайными величинами являются числа событий в испытаниях – число отказов, число восстановлений, число предельных состояний и т.д.

Характер априорных сведений при определении показателей надежности по экспериментальным данным

С точки зрения априорных сведений о функции распределения все многообразие практических задач сводится к двум вариантам.

1. Вид функции распределения наблюдаемой случайной величины известен априори. Например, для электронной аппаратуры вычислительных средств, средств автоматики и релейной защиты справедлив экспоненциальный закон распределения показателей надежности. Это подтверждается многочисленными опытными данными, полученными в условиях эксплуатации [19, 64, 65].

Задача статистической обработки – получение оценки для показателей надежности с учетом вида функции распределения и характера имеющегося статистического материала.

2. Вид функции распределения наблюдаемой случайной величины неизвестен или известен лишь предположительно. В этом случае на основании анализа процессов, приводящих к отказам, опыта эксплуатации аналогичных изделий и предварительного анализа полученной при испытаниях информации принимается некоторая гипотеза о виде функции распределения. Задача обработки – проверить, не противоречат ли экспериментальные данные принятой гипотезе, и оценить параметры этой функции распределения. Процедуры проверки гипотезы широко описаны в доступной литературе [2, 3, 5, 49, 60, 70], и здесь на них не будем останавливаться.

Особым, наиболее распространенным, является случай, когда оценка параметров распределения не производится – требуется оценить непосредственное значение функции распределения в некоторой фиксированной точке. Например, вероятность отказа или безотказной работы для фиксированной наработки. Этот случай является наиболее простым с точки зрения организации ис-

пытаний, трудоемкости сбора и статистической обработки информации. Подлежащие статистической обработке результаты испытаний представляют собой только два числа – общее число испытаний  $N$  фиксированной длительности (число опытов) и число успешных  $n$  или неуспешных ( $N - n$ ) опытов. И, как это указано в (1.2), вероятность безотказной работы для фиксированной наработки  $t$  определяется выражением:

$$\frac{n}{N} \approx P(t)$$

Аналогично, для изделий эксплуатация которых описывается следующим образом: в начальный момент времени изделие начинает работать и работает до первого отказа; после отказа происходит восстановление работоспособности, и изделие вновь работает до отказа и т.д., показатель среднее время наработки на отказ  $T_0$  определяется как:

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{n},$$

где:  $n$  – количество отказов объекта;  $t_{oi}$  – наработка объекта между  $i - 1$  и  $i$ -м отказами.

Естественно, что получаемая в результате статистической обработки оценка несет лишь минимальную информацию – значение функции распределения в единственной точке, соответствующей фиксированной наработке при испытаниях. За исключением полученного значения функции в этой точке, мы не имеем никакой другой информации и не имеем право экстраполировать оценку для других значений наработки.

### 3.3.2.3 Интервальная оценка показателей надежности

Количество статистических данных для оценки надежности, полученных в процессе контрольных испытаний или эксплуатации, принципиально ограничено. Полученные по ограниченному объему информации точечные оценки могут оказаться весьма приближенными. Поэтому кроме точечной оценки желательно знать практически надежные границы для оцениваемого параметра, т.е. найти такой интервал оценок, который с достаточно высокой вероятностью «накрывает» неизвестный параметр.

Ясно, что достоверными границами для параметров и показателей надежности (абсолютно надежными границами) являются: для  $T$  и  $\lambda$   $[0, \infty]$ ; для  $P(t)$  и  $q(t)$   $[0, 1]$ .

Указание других границ сопряжено с риском совершить ошибку. Вероятности ошибок  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  называются уровнями значимости оценок:  $\varepsilon_1$  – вероятность того, что найденный интервал не накроет параметр своим левым концом;  $\varepsilon_2$  – вероятность того, что найденный интервал не накроет неизвестный параметр своим правым концом.

В качестве меры достоверности оценки – доверительной вероятности в математической статистике – принимается величина  $\gamma^* = 1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2$ , показывающая, с какой вероятностью можно утверждать, что доверительный интервал накроет истинное значение параметра:

$$\gamma^* = P\{T_n < T < T_b\},$$

где  $T_n$  – нижняя граница доверительного интервала для параметра  $T$ ;  $T_b$  – верхняя граница доверительного интервала для параметра  $T$ .

Таким образом, доверительный интервал – случайный интервал, длина и положение которого зависят от исходов наблюдений. При фиксированной точности (величине доверительного интервала) коэффициент доверия (доверительная вероятность) будет возрастать по мере увеличения числа отказов. При фиксированном числе отказов невозможно повысить доверительную вероятность, не уменьшая точность оценки, т.е., не расширяя доверительный интервал, и наоборот, нельзя увеличить точность оценки, не уменьшая доверительную вероятность.

Чаще всего вероятности  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  выбирают одинаковыми, тогда  $\gamma^* = 1 - 2\varepsilon$  и, следовательно, каждая из доверительных границ определяется с уровнем значимости

$$\varepsilon = (1 - \gamma^*)/2 \quad (3.44)$$

или с односторонней доверительной вероятностью,  $\gamma = (1 + \gamma^*)/2 = 1 - \varepsilon$ .

Если известен вид функции распределения оценки, то принцип вычисления доверительных интервалов состоит в том, что в качестве нижней и верхней доверительных границ принимаются квантили этого распределения по соответствующему уровню [5].

Нижняя доверительная граница определяется как квантиль по уровню  $\varepsilon$ , а верхняя – как квантиль по уровню  $\gamma = 1 - \varepsilon$ .

Вид распределения оценки определяется, в свою очередь, видом распределения исследуемой случайной величины. Предположим, что истинное значение средней наработки до отказа составляет  $T_0$ , а средняя наработка до отказа определена по полученным отказам:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

где  $n$  - количество отказов за время испытаний,  $t_i$  - наработка до  $i$ -го отказа.

Распределение  $T_{\text{ср}}$  есть распределение суммы  $n$  независимых случайных величин, которое целиком определяется распределением исходной случайной величины  $t_i$  и числом отказов  $n$ . В частности, если слагаемое  $t_i$  имеет экспоненциальное распределение, то оценка  $T_{\text{ср}}$  имеет  $\gamma$ -распределение с  $n$  числом степеней свободы [5], что совпадает с  $\chi^2$ -распределением с числом степеней свободы  $2n$ .

Нижняя и верхняя границы доверительного интервала для средней наработки на отказ определяются по формулам [5]:

$$T_{\text{но}} = 2t_{\Sigma} / \chi^2_{\varepsilon; 2n} \quad (3.45)$$

$$T_{\text{во}} = 2t_{\Sigma} / \chi^2_{1-\varepsilon; 2n}, \quad (3.46)$$

где:  $t_{\Sigma}$  - суммарная наработка за время испытаний;

$n$  – суммарное число учитываемых отказов за время испытаний;

$\chi^2$  - квантили  $\chi^2$  - распределения, по уровню  $\varepsilon$  или  $1 - \varepsilon$  (определяются по таблице, представленной в приложении 1).

На практике часто принимается доверительная вероятность  $\gamma^* = 0,9$ , что соответствует  $\varepsilon = 0,05$ . Доверительный интервал для средней наработки до отказа при равных вероятностях  $\varepsilon$  выхода за правую (верхнюю) и левую (нижнюю) границы для экспоненциального распределения определяется по выражению

$$T_{\text{но}} = 2t_{\Sigma} / \chi^2_{\varepsilon; 2n} < T_{\text{ср}} < T_{\text{во}} = 2t_{\Sigma} / \chi^2_{1-\varepsilon; 2n} \quad (3.47)$$

Если в результате испытаний число отказов  $n = 0$ , то определяется лишь нижняя доверительная граница

$$T_{\text{ср}} > T_{\text{но}} = 2t_{\Sigma} / \chi^2_{\varepsilon; 2} \quad (3.48)$$

Таким образом, для заданных уровней значимости  $\varepsilon$  и числа степеней свободы  $2n$  по таблице (приложение 1) находят соответствующие значения  $\chi^2$ , подставляют в выражение (3.47) и находят  $T_{\text{но}}$  и  $T_{\text{во}}$ . Величина  $\varepsilon$  задается в зависимости от требований, предъявляемых к анализируемой системе. Как известно, для экспоненциального закона  $P(t) = e^{-\lambda t}$  и  $T_0 = 1/\lambda$ , и выражения оценки надежности верхнего и нижнего значений вероятности безотказной работы имеют вид

$$P_{\text{н}}(t) = e^{-\lambda_{\text{н}} t} = e^{-\frac{1}{T_{\text{н}}} t} \quad (3.49)$$

$$P_{\text{в}}(t) = e^{-\lambda_{\text{в}} t} = e^{-\frac{1}{T_{\text{в}}} t}$$

где  $T_{\text{н}}$  и  $T_{\text{в}}$  определяются выражениями (3.45) и (3.46).

Из практических соображений более важно определить  $P_{\text{н}}(t)$ . Если значение  $P_{\text{н}}(t)$  удовлетворяет заданному уровню надежности  $P_{\text{зад}}(t)$  на интервале времени от 0 до  $t$ , то истинное значение:

$$P(t) = e^{-\frac{1}{T_0} t} > P_{\text{н}}(t) > P_{\text{зад}}(t).$$

Это говорит о запасе надежности анализируемого устройства на интервале времени от 0 до  $t$ .

В [101] описаны модели и количественные методы оценки повышения надежности, основанные на данных об отказах системы. Эти процедуры позволяют определять точечные оценки и доверительные интервалы повышения надежности системы.

### 3.4 Методические вопросы поддержания надёжности на стадии эксплуатации ИТС

#### 3.4.1 Обеспечение надежности сложных технических систем в условиях постоянной эксплуатации

Надёжность современных сложных технических систем, созданных на основе наукоемких технологий, в период их эксплуатации определяется рядом условий и факторов, среди которых важную роль приобретают [58]:

- научно-методическое обеспечение процесса их эксплуатации, включая методы и технологии мониторинга технического состояния элементов системы, диагностики наиболее нагружен-

ных ее подсистем и технических средств, методы поиска неисправностей и выявления причин их возникновения;

- полнота и качество эксплуатационной документации;
- обеспеченность необходимыми компонентами для своевременного и качественного ремонта;
- квалификация обслуживающего персонала и др.

В целях обеспечения надёжности сложных технических систем в условиях эксплуатации проводятся следующие группы мероприятий:

- сбор, анализ, обобщение и оценка опыта эксплуатации;
- совершенствование методов эксплуатации на основе научно-обоснованных рекомендаций;
- повышение квалификации обслуживающего персонала.

*Совершенствование методов эксплуатации* включает научно обоснованные методы подготовки системы к работе, методы проведения технического обслуживания, ремонта и других проведения мероприятий по повышению надёжности сложных технических систем в процессе их эксплуатации. Порядок и технология проведения этих мероприятий определена в соответствующих руководствах и инструкциях по эксплуатации конкретных систем, комплексов и отдельных средств. В процессе эксплуатации системы должны выполняться установленные инструкциями условия и правила их применения.

*Сбор, анализ, обобщение и оценка опыта эксплуатации.* Качественное выполнение эксплуатационных мероприятий по повышению надёжности обеспечивается на основе использования результатов анализа статистических данных полученных при исследовании материалов по надёжности систем, комплексов и отдельных средств. Большое значение имеет правильная организация процесса сбора и обработки сведений об отказах (подробно эти вопросы рассмотрены в 3.3.2.1), анализ причин выявленных дефектов и неисправностей, обобщение и оценка опыта использования систем, комплексов и отдельных средств.

*Повышение квалификации обслуживающего персонала.* В процессе эксплуатации систем и их элементов важную роль играет формирование опыта, в т.ч. в процессе обучения по специальности, самостоятельного изучения технической и эксплуатационной документации на объектах, в процессе эксплуатации кон-

кретных систем и проведения работ по сопровождению эксплуатации, технического и авторского надзора.

Обобщение и анализ опыта выполнения в течение шестилетнего периода работ по обеспечению функционирования и поддержке работоспособности объектов ИТС ведомственного назначения, как автоматизированной информационной системы в защищенном исполнении показывает, что основными условиями обеспечения надежности комплексов средств автоматизации в составе ее объектов являются:

- своевременное и качественное проведение технического обслуживания, включая диагностику технических средств в целях раннего выявления причин отказов (в первую очередь, ключевых компонентов (накопителей на жестких магнитных дисках серверов и рабочих станций, источников централизованного и индивидуального бесперебойного питания и др.) и принятия мер по их устранению;

- обеспечение внешних условий функционирования комплексов средств автоматизации в соответствии с требованиями, установленными в технической документации на изделие (в части поддержания требуемого температурно-влажностного режима в местах размещения серверного, телекоммуникационного оборудования и рабочих станций, обеспечения требуемых параметров качества внешней сети электропитания оборудования, и др.);

- рациональное эшелонирование ЗИП по уровням иерархии объектов ИТС, оптимизация их состава по номенклатуре и количеству;

- организация и проведение детального входного контроля поступающих в ремонт неисправных технических средств в целях всестороннего анализа и своевременного выявления причин их возникновения, оперативное проведение ремонта;

- поддержание требуемой квалификации пользователей, администраторов и обслуживающего персонала на объектах ИТС.

В общем случае надёжность ИТС как сложной технической системы в период ее постоянной эксплуатации определяется следующими условиями и факторами:

1. Технологический уровень разработанных на стадии технического и рабочего проектирования, реализованных на стадии

изготовления и ввода в действие ИТС системотехнических решений по ее структурному построению, алгоритму функционирования и составу технических и программных средств;

2. Полнота и качество комплекса мер по организации и проведению технического обслуживания и ремонта ИТС в период ее эксплуатации:

- комплексный подход к организации технического обслуживания и ремонта основных и вспомогательных технических средств на объектах ИТС

а) техническое обслуживание с периодичностью до одного месяца силами обслуживающего персонала на объектах ИТС, в т.ч. проведение мелкого ремонта (замена периферийного оборудования (клавиатура, ручной манипулятор, аккумуляторные батареи в составе ИБП, соединительные кабели (патч-корды) и др.) в составе серверов и рабочих станций;

б) техническое обслуживание и тестирование аппаратно-программных средств с восстановлением их работоспособности силами комплексных рабочих групп специалистов головного исполнителя работы по обеспечению функционирования и поддержке работоспособности объектов ИТС и соисполнителей по видам технических средств и программного обеспечения (общего и специального) с периодичностью 1-2 раза в год;

- организация работ по своевременному проведению специальных проверок оборудования (компонентов), приобретаемого для проведения ремонта и пополнения ЗИП, а также организация и проведение специальных исследований отремонтированного оборудования.

3. Мониторинг условий эксплуатации и состояния технических и программных средств на объектах ИТС, всесторонний анализ причин отказов технических средств и сбоев в функционировании программных средств, применяемых в составе ИТС, разработка и реализация практических мер по их устранению и конкретным рекомендациям эксплуатирующим подразделениям по упреждению случаев их возникновения:

- сбор информации о параметрах качества внешней сети электроснабжения (перепады напряжения и изменения частоты переменного тока, выходящие за пределы установленных норм), о диапазоне изменения температурно-влажностных показателей в

технических помещениях на объектах ИТС, обеспечиваемых централизованными или децентрализованными системами микроклимата на объектах, и об их выходе за пределы нормы;

- своевременное принятие организационных и технических мер по восстановлению требуемых параметров внешней сети электропитания и микроклимата на объектах ИТС, своевременное предъявление установленным порядком претензий к организациям-поставщикам электроэнергии и подразделениям обеспечения эксплуатации помещений на объектах ИТС;

- разработка и реализация упреждающих мер по предотвращению внезапных отказов ключевых компонентов серверов и рабочих станций (накопителей на жестких магнитных дисках (НЖМД) и стримерах), проведение тестирования НЖМД, анализ динамики изменения времени отклика секторов на НЖМД и обоснование рекомендаций по их своевременной замене с проведением полного комплекса работ по переустановке программных средств общего, специального программного обеспечения и антивирусных средств;

- внесение установленным порядком изменений в документацию по совершенствованию эксплуатации технических и программных средств на объектах ИТС с учетом анализа, обобщения и оценки опыта их эксплуатации.

### 3.4.2 Организация технического обслуживания в процессе эксплуатации ИТС

#### 3.4.2.1 Техническое обслуживание в процессе эксплуатации

*Техническое обслуживание* – в соответствии с [102] это комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании.

В [60] под *техническим обслуживанием* понимается комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение отказов АПС, на обеспечение их исправного состояния в процессе эксплуатации и готовности к использованию.

К основным задачам технического обслуживания относятся [58]:

- контроль технического состояния АПС;

- поддержание основных технических характеристик элементов и системы в целом на заданном уровне;
- продление межремонтных сроков эксплуатации систем.

Анализ задач технического обслуживания и ремонта (ТОиР) позволяет выделить следующие направления работ по обеспечению надежности функционирования аппаратно-программных средств (АПС) ИТС:

1. *Обеспечение работоспособности аппаратно-программных средств.* Такая задача состоит в контроле работоспособности и прогнозировании потребностей в обновлении состава АПС и их элементов. В ходе ее решения необходимо осуществлять диагностику, анализ и прогнозирование состояния АПС, программного обеспечения и существующих задач, что позволит решать существующие проблемы в плановом порядке.

2. *Обеспечение работоспособности операционных систем и прикладного программного обеспечения.* При этом задача состоит:

- в правильном подборе драйверов и решении проблем их взаимодействия;
- в необходимости контроля работоспособности установленного программного обеспечения и прогнозирования потребности в его обновлении;

3. *Обеспечение целостности, сохранности и работоспособности информационных массивов.* Данная задача сводится к резервному архивированию данных и обеспечению их защиты от вирусов;

4. *Обеспечение работоспособности периферийного, сетевого и коммуникационного оборудования.*

Методы обеспечения работоспособности аппаратно-программных средств (АПС) можно разделить на активные и пассивные.

При *активном методе* обеспечения работоспособности выполняются операции, направленные на продление времени безотказной работы АПС. Они сводятся, главным образом, к мониторингу состояния технических и программных средств, качественному проведению их технического обслуживания и своевременному восстановлению работоспособности.

*Пассивные методы* обычно направлены на защиту АПС от внешних неблагоприятных воздействий. Речь идет об установке защитных устройств в сети электропитания, поддержании чистоты и приемлемых температурно-влажностных характеристик в помещениях, где установлены АПС, уменьшение уровня вибрации, сохранение заданных параметров заземления и т.п.

К основным *активным методам* обеспечения работоспособности АПС с учетом очередности их применения можно отнести:

- удаление пыли и загрязнений с вентиляционных устройств технических средств и компонентов их внутреннего монтажа. Важно отметить, что ухудшение условий охлаждения таких элементов внутреннего монтажа системных блоков серверов и рабочих станций, как процессоры, накопители на жестких магнитных дисках (НЖМД), видеокарты, сетевые карты и др. приводит к их перегреву, повышению интенсивности отказов и, как следствие, к существенному сокращению срока службы.

- резервное копирование системы. Это позволяет восстановить работоспособность при крупном аппаратно-программном сбое (отказе);

- диагностика и обслуживание накопителей на жестких магнитных дисках. Чтобы гарантировать сохранность данных и повысить эффективность работы НЖМД необходимо в процессе проведения технического обслуживания выполнять тестирование его физической поверхности с применением широко известных утилит, как входящих в состав штатного программного обеспечения, так и специализированных. На основе анализа SMART-таблиц по результатам тестирования НЖМД могут быть сделаны оценки по степени ухудшения качества его функционирования, спрогнозирована возможность продолжения его эксплуатации в период до очередного технического обслуживания.

- дефрагментация файлов. По мере записи на жесткий диск и удаления с него файлов, многие из них фрагментируются, т.е. разбиваются на множество разбросанных по всему диску частей. Периодическое выполнение дефрагментации файлов решает две задачи:

а) если файлы занимают непрерывные области на диске, то перемещение головок при их считывании и записи становится

минимальным, что уменьшает износ привода головок и самого диска. Увеличивается скорость считывания файлов с диска.

б) при серьезных повреждениях таблиц размещения файлов (FAT) и корневого каталога данных на диске легче восстановить, если файлы записаны как единое целое;

- антивирусные средства. Своевременное обновление баз в составе антивирусных средств является важным условием защиты программного обеспечения и ключевых узлов средств вычислительной техники от угроз.

**Виды технического обслуживания АПС** определяются периодичностью и комплексом технологических операций по поддержанию эксплуатационных свойств АПС.

Для каждого узла, механизма, аппаратно-программного средства в целом может быть определена оптимальная периодичность ТО. В этой связи на стадии эксплуатации АПС может иметь место значительная доля времени нахождения ее в состоянии технического обслуживания, а с учетом реальных затрат времени на выполнение вспомогательных операций (транспортировка АПС к месту проведения ремонта, регламентированная процедура закупки комплектующих для проведения ремонта, процедуры их проверки и др.) доля непроизводительных затрат времени резко возрастает.

Поэтому, после выделения из всей совокупности действий тех, которые должны выполняться при ТО и определении оптимальной периодичности каждой операции, производят группировку операций по видам ТО. Это позволяет уменьшить количество выводов АПС на ТО и время простоев в период проведения ТО и ремонта. Однако, надо иметь в виду, что совокупность операций неизбежно связана с отклонением периодичности ТО данного вида от оптимальной периодичности ТО отдельных операций. Для определения периодичности ТО группы АПС («групповой» периодичности) применяются специальные методы [55].

В соответствии с ГОСТ 28470-90 [67] определены следующие виды ТО: регламентированное, периодическое, с периодическим контролем и с непрерывным контролем.

*Регламентированное техническое обслуживание* должно выполняться в объеме и с учетом наработки, предусмотренном в

эксплуатационной документации на АПС, независимо от текущего технического состояния.

*Периодическое техническое обслуживание* должно выполняться через интервалы времени и в объеме, установленном в эксплуатационной документации на АПС.

*Техническое обслуживание с периодическим контролем* должно выполняться с установленной в эксплуатационной документации периодичностью контроля технического состояния АПС и необходимым комплексом технологических операций, зависящих от технического состояния АПС.

*Техническое обслуживание с непрерывным контролем* должно выполняться в соответствии с эксплуатационной документацией на АПС или технологической документацией по результатам постоянного контроля за техническим состоянием АПС.

Необходимым условием для выполнения технического обслуживания и ремонта является создание системы технического обслуживания и ремонта (СТОИР) [102].

#### 3.4.2.2 Система технического обслуживания и ремонта

*Система технического обслуживания и ремонта техники* [102] – это совокупность взаимосвязанных средств, документации, технического обслуживания, ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в состав системы

СТОИР включает: изделия - объекты, средства и исполнителей СТОИР (организации, специалисты), документацию (конструкторскую (в т.ч. эксплуатационную и ремонтную), нормативную, организационную, технологическую и др.), устанавливающую требования к составляющим СТОИР и к связи между ними.

СТОИР должна соответствовать следующим требованиям:

- обеспечение заданных уровней эксплуатационной надежности парка АПС при рациональных материальных и трудовых затратах;
- иметь планово-нормативный характер, позволяющий планировать и организовывать ТО и ремонт на всех уровнях;

- конкретность, доступность и пригодность для руководства и принятия решений всеми звеньями инженерно-технической (сервисной) службы;

- стабильность основных принципов и гибкость конкретных нормативов, учитывающих изменения условий эксплуатации, конструкции, качества и надежности АПС;

- учет разнообразия условий эксплуатации АПС.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие виды систем технического обслуживания и ремонта:

- планово-предупредительное (регламентное) обслуживание;

- обслуживание по техническому состоянию;

- комбинированное обслуживание.

**Планово-предупредительное (регламентное) обслуживание** – обслуживание, которое проводится по достижении параметрами изделия некоторых регламентированных показателей.

Этот вид обслуживания применяется тогда, когда известна связь работоспособности изделия и показатели некоторых его технических параметров, например, силы тока, напряжения, сопротивления, яркости и т.д.

Если в качестве такого параметра принято время, в течении которого изделие эксплуатируется или хранится, то техническое обслуживание назначается в строго определенные календарные сроки вне зависимости от состояния изделия. Такое техническое обслуживание называется календарным регламентным.

К ним относятся:

Регламент 1-й – *ежедневный*, основная цель которого состоит в выявлении и устранении дефектов, возникающих случайно во времени и в устранении (чистка, смазка, регулировка и т.п.) причин, которые могут привести к появлению отказов в последующие сутки эксплуатации), а также работы предусмотренные ежедневным ТО (в соответствии с инструкцией по эксплуатации) всех внешних устройств;

Регламент 2-й – *недельный*, включающий объем работ первого регламента и проверку функционирования системы во всех режимах (проведение диагностических тестов);

Регламент 3-й – *месячный*, включающий объемы работ предыдущих регламентов и отличающийся более глубокой проверкой компонент системы (с помощью всей системы тестов,

входящих в состав ее программного обеспечения) с целью выявления неисправностей, накапливаемых в течение месяца. Проверки производятся при номинальных значениях источников питания. Проводится пополнение израсходованных элементов ЗИП объекта и заполнение эксплуатационной документации.

Во время ежемесячного ТО выполняются все необходимые работы, предусмотренные в инструкции по эксплуатации внешних устройств;

Регламент 4-й – *квартальный*, включающий объемы работ предыдущих регламентов, а также проверку состояния компонент системы, коммутационных цепей, элементов, измерение их параметров и характеристик;

Регламент 5-й – *полугодовой* (сезонный), включающий объемы работ предыдущих регламентов, и сочетающий полугодовое техническое обслуживание и сезонные смазочные работы (разборку, чистку и смазку всех механических узлов внешних устройств с их одновременной регулировкой или заменой деталей). Кроме этого, производится осмотр кабелей и питающих шин. Время проведения этого регламента определяется с учетом климатических условий эксплуатации системы;

Регламент 6-й – *годовой*, включающий объемы работ предыдущих регламентов, обычно совмещаемый со временем проведения пятого регламента, и предусматривающий наиболее полную инструментальную проверку параметров и характеристик компонент системы и определение возможности дальнейшей ее эксплуатации в течение следующего года. При проведении этого регламента обязательно проверяется исправность и укомплектованность ЗИП, контролируется ведение формуляров и журналов учета регламентных работ и контроля технического состояния системы.

Достоинство такого вида системы технического обслуживания – обеспечение максимальной готовности АПС. Вместе с тем, при этом требуются большие материальные затраты. Подробное описание работ по техническому обслуживанию отдельных устройств приводится в инструкциях по эксплуатации, выпускаемых заводом-изготовителем.

При **обслуживании по техническому состоянию** [23] выполнение работ по ТО имеет внеплановый характер и выполняет-

ся по мере необходимости исходя из состояния объекта (результатов тестирования), что соответствует техническому обслуживанию с непрерывным контролем или техническому обслуживанию с периодическим контролем.

К внеплановому ТО относятся внеочередные работы, назначаемые, главным образом, после устранения серьезных неисправностей АПС. Объем мероприятий определяется характером возникшей неисправности и ее возможными последствиями. Вывод АПС на внеплановое ТО можно также производить, когда количество сбоев, возникающих за определенный установленный период времени, превышает допустимые значения. Система требует наличия и правильного применения различных средств для проведения тестирования. Система позволяет минимизировать затраты на эксплуатацию АПС, но готовность АПС к использованию ниже, чем при использовании планово-предупредительной СТОИР.

При **комбинированной системе технического обслуживания** менее объемные виды ТО проводятся по мере необходимости, как при ТО по состоянию, исходя из наработки и условий работы конкретного вида АПС или результатов его тестирования. Выполнение более объемных видов ТО и ремонтов планируется и проводится.

Рациональная организация СТО должна предусматривать накопление статистического материала по результатам эксплуатации АПС с целью его обобщения, анализа и выработки рекомендаций по совершенствованию структуры обслуживания, повышению эффективности использования АПС, снижению эксплуатационных расходов. Техническое обслуживание (сервис), независимо от принятой системы ТО, может организовываться с использованием известных методов ТО.

**Метод технического обслуживания (ремонта) АПС** определяется совокупностью организационных мероприятий и комплексом технологических операций по техническому обслуживанию (ремонту).

**По признаку организации** перечень методов технического обслуживания (ремонта) включает фирменный, автономный, специализированный и комбинированный.

*Фирменный метод* [23] заключается в обеспечении работоспособного состояния АПС предприятием-изготовителем, проводящим работы по техническому обслуживанию и ремонту АПС собственного производства.

*Автономный метод* заключается в поддержании работоспособного состояния АПС в период эксплуатации, при котором техническое обслуживание и ремонт АПС пользователь выполняет своими силами.

*Специализированный метод* заключается в обеспечении работоспособного состояния АПС предприятием сервиса, проводящим работы по техническому обслуживанию и ремонту АПС.

*Комбинированный метод* заключается в обеспечении работоспособного состояния АПС пользователем совместно с предприятием сервиса, либо с предприятием-изготовителем и сводится к распределению между ними работ по техническому обслуживанию и ремонту АПС.

**По характеру выполнения** методы технического обслуживания (ремонта) могут быть индивидуальными, групповыми и централизованными.

*При индивидуальном ТО* обеспечивается обслуживание одного СВТ силами и средствами персонала данного СВТ. В состав комплекта оборудования для этого типа ТО входят:

-аппаратура контроля элементной базы СВТ и электропитания;

-контрольно-наладочная аппаратура для автономной проверки и ремонта средств СВТ;

-комплект электроизмерительной аппаратуры, необходимой для эксплуатации СВТ;

-комплект программ (тестов) для проверки работы СВТ;

-инструмент и ремонтные принадлежности;

-вспомогательное оборудование и приспособления;

-специальная мебель для хранения имущества и оборудования рабочих мест оператора и наладчика элементной базы.

Все перечисленное оборудование предусматривает возможность оперативного поиска и устранения неисправностей с помощью стендовой и контрольно-измерительной аппаратуры. Данный комплект в сочетании с необходимыми ЗИП (запасные

части, инструменты и принадлежности) должен обеспечить заданное время восстановления СВТ.

При наличии необходимой сервисной аппаратуры и квалифицированного технического персонала индивидуальный сервис позволяет существенно сократить время восстановления СВТ, но при этом требуются значительные расходы на содержание технического персонала и сервисной аппаратуры.

Эффективность работы СВТ в большей степени зависит от квалификации обслуживающего персонала, своевременности проведения профилактических и ремонтных работ и качества их выполнения.

*Групповое ТО* служит для обслуживания нескольких СВТ, сосредоточенных в одном месте, средствами и силами специального персонала. Структура состава оборудования при групповом сервисе та же, что и при индивидуальном, но при этом предполагается наличие большего числа аппаратуры, приспособлений и т. д., исключая неоправданное дублирование. Комплект группового сервиса включает как минимум комплект оборудования индивидуального сервиса СВТ, дополненный аппаратурой и приспособлениями других СВТ.

*Централизованное техническое обслуживание* является более прогрессивной формой обслуживания СВТ. Система централизованного технического обслуживания представляет собой сеть региональных центров обслуживания и их филиалов – пунктов технического обслуживания.

При централизованном обслуживании сокращаются расходы на содержание технического персонала, сервисной аппаратуры и ЗИП. Такое обслуживание предполагает ремонт элементов, узлов и блоков СВТ на базе специальной мастерской, оснащенной всем необходимым оборудованием и приборами. Помимо этого, централизованное техническое обслуживание позволяет сосредоточить в одном месте материалы по статистике отказов элементов, узлов, блоков и устройств СВТ, а также получить эксплуатационные данные с большого количества однотипных СВТ при прямом контроле достоверности. Все это дает возможность использовать информацию для прогнозирования необходимого ЗИП, выдачи рекомендаций по эксплуатации СВТ.

Более подробно вопросы проектирования и создания как изделий наукоемкой продукции (ИНП), так и системы их послепродажного обслуживания (СТОИР), удовлетворяющих наилучшим значениям баланса качества ИНП и стоимости их жизненного цикла рассмотрены в [23, 24]. Проведенные исследования направлены на достижение минимальных затрат по обслуживанию и ремонту ИНП при обеспечении требуемых характеристик и показателей функционального качества и технической готовности продукции на этапе ее эксплуатации.

В [25, 26] предложено решение проблемы оптимального проектирования системы обслуживания, ремонта и снабжения для обеспечения эксплуатации изделий с минимальной стоимостью на годы вперед, вплоть до их списания.

#### 3.4.2.3 Особенности выполнения работ по обеспечению функционирования и поддержке работоспособности программных средств

В соответствии с техническим заданием на выполнение работ по обеспечению функционирования объектов ИТС и поддержанию их работоспособности устанавливаются требования по проведению тестирования общего и специального программного обеспечения (ОПО и СПО) с целью выявления и анализа причин возникающих сбоев в процессе их применения в составе систем и обоснования мер по их устранению. К общим задачам проведения тестирования ОПО и СПО относятся проверки:

- работоспособности системы в соответствии с определенными временами отклика клиента и сервера;
- корректности выполнения критических последовательностей действий с системой конечного пользователя;
- изменения в базах данных не оказывают неблагоприятного влияния на существующие программные модули;
- работа пользовательских интерфейсов осуществляется корректно.

Проведение тестирования программных средств должно осуществляться таким образом, чтобы не только обнаруживать, но и предупреждать дефекты в их составе.

Архитектура объектов анализируемой ИТС построена по схеме «толстый» клиент - сервер и имеет доменную структуру. Такой подход учитывает необходимость обеспечения автономно-

сти функционирования отдельных АРМ пользователей в условиях территориально распределенной системы.

В условиях отведенного времени на проведение работ по регламентному обслуживанию тестирование ОПО и СПО на серверах и АРМ на объектах Заказчика проводится по четырем направлениям:

1. Тестирование ОПО серверов с использованием встроенных утилит диагностики операционной системы Windows Server, позволяющее выявить некорректности в работе доменов.

Служба Active Directory – это реализация службы каталогов корпорации Microsoft для операционных систем семейства Windows NT. Active Directory позволяет администраторам использовать групповые политики для обеспечения единообразия настройки пользовательской рабочей среды, развертывать программное обеспечение на множестве компьютеров через групповые политики, устанавливать обновления операционной системы, прикладного и серверного программного обеспечения на всех компьютерах в сети.

Active Directory хранит данные и настройки среды в централизованной базе данных. Сети Active Directory могут быть различного размера: от нескольких десятков до нескольких миллионов объектов.

2. Комплексное тестирование ОПО при проведении диагностики контроллера домена серверной группы на объекте системы с использованием утилиты DcDiag, позволяющее установить статус текущего состояния его функционирования, выявить причины его некорректного функционирования.

3. Комплексное тестирование общесистемного программного обеспечения серверов и текущего распределения памяти в НЖМД серверов, позволяющего провести оптимизацию ее распределения и сократить непроизводительные затраты времени обращения к хранящейся информации по секторам НЖМД и, тем самым, повысить быстродействие серверов.

4. Тестирование программных средств в составе СПО, обеспечивающего функционирование информационного хранилища и электронного документооборота, подсистем геоинформационного обеспечения и других программных средств.

Согласно ГОСТ РВ 15.1 709-92, в рамках технического надзора предприятиями промышленности, в процессе эксплуатации изделий основное внимание должно уделяться обеспечению заданных в тактико-техническом задании на разработку и создание ИТС показателей ее надежности, прежде всего, по времени наработки на отказ и времени восстановления технических и программных средств в случае возникновения отказа или сбоя в функционировании. Оценивая опыт создания и применения объектов ИТС в целом, следует отметить, что:

- при создании ИТС как крупномасштабной автоматизированной информационной системы (АИС) с территориально распределенной структурой и топологией должно осуществляться сквозное планирование необходимых процессов в организационном, техническом и научном плане, обеспечивающих качественное функционирование системы, комплексов средств автоматизации (технических и программных средств), подсистемы защиты информации, вспомогательных подсистем и комплексов на заданный срок службы системы;

- в целях поддержания ИТС, как автоматизированной информационной системы в защищенном исполнении, в течение заданного срока службы в активном состоянии необходимо заблаговременно предусматривать возможность проведения оперативной модернизации интенсивно стареющих компонентов с проведением необходимых мероприятий по выполнению требований по защите информации.

С этой целью, в ходе технического и рабочего проектирования АИС представляется целесообразным заблаговременно проводить разработку вопросов оперативной модернизации компонентов системы на основе реализации модульного принципа построения комплексов средств автоматизации.

### **3.5 Анализ надежности отдельных элементов ИТС за период эксплуатации с 2011 по 2016 годы**

Сбор статистических данных по надежности АПС объектов ИТС проводился в рамках авторского надзора в процессе эксплуатации объектов ИТС.

Отказы, возникающие в процессе эксплуатации, принято подразделять на две основные категории – внезапные отказы и постепенные.

*Внезапные отказы* связаны с наличием в изделии скрытых производственных дефектов, причинами конструктивного характера, ошибками обслуживающего персонала.

*Постепенные отказы* системы обусловлены постепенными изменениями параметров. Такое изменение параметров в основном вызвано старением элементной базы системы.

В первом приближении можно принять, что все отказы, возникающие в процессе эксплуатации, являются *независимыми*. Поэтому надёжность всей системы при предположении независимости отказов равна

$$P = P_1 P_2 P_3,$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – вероятности безотказной работы системы соответственно по непрогнозируемым внезапным отказам, внезапным отказам, которые могут быть предотвращены при своевременном техническом обслуживании, и постепенным отказам.

Одной из причин отсутствия отказов элементов системы является качественное техническое обслуживание, которое направлено на предотвращение прогнозируемых внезапных отказов и постепенных отказов. Вероятность безотказной работы системы, обусловленная качеством обслуживания, равна

$$P_2 = \prod_{i=1}^n P_i$$

где  $P_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента, связанная с техническим обслуживанием.

По мере совершенствования обслуживания значение вероятности безотказной работы  $P_2$  приближается к единице.

Замена элементов с возрастающей во времени интенсивностью отказов возможна во всех сложных технических системах. С целью уменьшения во времени интенсивности отказов вводят техническое обслуживание системы, которое направлено на снижение внезапных отказов.

Статистические данные об отказах аппаратно-программных средств объектов ИТС, зафиксированные в 2011-2016 гг., пред-

ставлены в таблице (приложение 2). Из таблицы видно, что за шесть лет эксплуатации ИТС было зафиксировано:

- 66 проблемных ситуаций с серверами, из них 45 программных и 21 аппаратных, в 36 случаях зафиксированы внезапные отказы серверов, а в остальных 30 случаях проблемные ситуации устранялись либо путем настройка отдельных программных средств без нарушения функционирования сервера в целом, либо выявленные неисправности устранялись в процессе проведения планового технического обслуживания;

- в 151 проблемной ситуации с автоматизированными рабочими местами 5 программных и 146 аппаратных отказов, в 67 случаях зафиксированы внезапные отказы АРМов, а в остальных 84 случаях проблемные ситуации выявлялись и устранялись в процессе проведения планового технического обслуживания при проведении тестирования оборудования.

К основным причинам проблемных ситуаций с АРМ относятся неисправности:

- встроенных блоков питания - 17;
- НЖМД и приводов DVD - по 22;
- кулеров процессора и корпуса системного блока - 26;
- патч-кордов - 14;
- оптических сетевых карт - 6;
- видеокарт - 5;
- материнской платы - 2;
- принтеров – 7.

Кроме того, имели место 53 проблемные ситуации с источниками бесперебойного питания, при этом в 36 случаях причинами отказа связаны с аккумуляторными батареями, в 17 случаях причинами внезапных отказов были проблемы с различным оборудованием ИБП (инверторов, узлов зарядки, транзисторов и др.). Среди 12 проблемных ситуаций с плоттерами в 5 случаях отказы из-за износа ремня привода каретки плоттера, в 7 случаях по другим причинам (приложение 2 раздел «Дополнительное оборудование»);

Перечень объектов ИТС и периоды сбора статистических данных на них представлены в таблице 3.9.

В таблице указано зафиксированное количество отказов различного оборудования на объектах за соответствующий пери-

од в следующем виде: А/Б/В, где А – отказы серверов, Б – отказы АРМ, В – отказы источников бесперебойного питания.

Таблица 3.9 Нарботка объектов и количество зафиксированных отказов за период наблюдений

Объект \ Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Нарботка, час.
Объект № 1	2/1/3	0/0/0	---	---	---	---	17520
Объект № 2	---	---	0/0/0	0/0/2	---	---	17520
Объект № 3	0/0/0	0/1/0	0/0/0	---	---	---	35040
Объект № 4	4/0/1	0/0/2	0/0/2	0/2/2	1/0/4	0/0/0	52560
Объект № 5	0/1/1	0/2/0	1/5/1	0/6/1	0/4/0	0/2/0	52560
Объект № 6	0/1/0	0/0/0	0/3/3	0/3/5	0/1/0	0/0/2	52560
Объект № 7	0/0/0	1/2/1	0/1/0	0/0/4	1/5/0	0/3/0	52560
Объект № 8	0/0/0	0/2/2	0/1/0	0/1/7	2/2/5	1/1/6	52560
Объект № 9	---	1/2/1	0/1/0	3/0/3	1/7/11	2/4/0	43800
Объект № 10	---	---	0/0/0	1/0/0	0/0/0	---	26280
Объект № 11	---	---	0/0/0	0/0/0	2/2/0	---	26280
Объект № 12	---	---	---	---	---	0/0/0	8760
Количество отказов	6/2/2	2/9/6	1/11/6	4/12/24	5/21/20	3/10/8	<b>21/65/66</b>

В таблице указано зафиксированное количество отказов различного оборудования на объектах за соответствующий период в следующем виде: А/Б/В, где А – отказы серверов, Б – отказы АРМ, В – отказы источников бесперебойного питания.

При расчетах среднего времени наработки на отказ будем считать, что серверное оборудование работает круглосуточно. Применительно к автоматизированным рабочим местам - предположение другое. Некоторые из АРМ также работают круглосуточно (АРМ дежурной службы, АРМ ввода данных и некоторые другие), часть АРМ различных должностных лиц (ДЛ) включается только на время работы ДЛ на рабочем месте и есть АРМ которые включаются в работу по мере необходимости. Поэтому при расчетах среднего времени наработки на отказ будем считать, что АРМ функционируют в среднем 10 часов в сутки. Источники бесперебойного питания серверов работают круглосуточно, ИБП в составе АРМ включаются и выключаются вместе с включением и выключением АРМ. Поэтому при расчетах примем что ИБП функционируют в среднем 12 часов в сутки.

В правом нижнем углу таблицы 3.9 представлено общее количество отказов конкретного оборудования на всех объектах за указанный период наблюдения.

При расчетах будем использовать математический аппарат, который применяется для изделий, работоспособность которых может быть восстановлена в случае появления отказов.

Статистически средняя наработка на отказ  $j$ -го изделия в составе  $r$ -го объекта (среднее время наработки на отказ), в соответствии с (1.1), определяется как:

$$T_{o,j,r} = T_{\Sigma,j,r} / n_{j,r}, \quad (3.50)$$

где:  $n_{j,r}$  – количество отказов изделий  $j$ -го типа в составе  $r$ -го объекта;

$T_{\Sigma,j,r}$  – суммарная наработка изделий  $j$ -го типа в составе  $r$ -го объекта

$$T_{\Sigma,j,r} = \sum_{j=1}^{m_r} t_{0,j} - \sum_{i=1}^{n_{i,j,r}} t_{vi,j,r}, \quad (3.51)$$

где:  $m_r$  – количество однотипных изделий в составе  $r$ -го объекта;

$n_{j,r}$  – количество отказов  $j$ -го изделия в составе  $r$ -го объекта за период наблюдения;

$t_{0,j,r}$  – наработка  $j$ -го изделия в составе  $r$ -го объекта за период наблюдения;

$t_{vi,j,r}$  – длительность восстановления  $i$ -го отказа  $j$ -го изделия на  $r$ -м объекте.

Учитывая, что  $t_{0,j,r} \gg t_{vi,j,r}$  то при малых значениях  $n$  второй суммой в выражении (3.51) можно пренебречь.

Значение  $t_{0,j,r}$  определяется из выражения:

$$t_{0,j,r} = k_{j,r} \times D_r \times 365, \quad (3.52)$$

где  $k_{j,r}$  – продолжительность эксплуатации  $j$ -го изделия на  $r$ -м объекте в течении суток (часов);  $D_r$  – продолжительность периода наблюдений для  $r$ -го объекта (лет).

Исходные данные для расчетов представлены в таблицах 3.9 и 3.10.

Используя выражения (3.50), (3.51), (3.52) и представленные в таблицах данные рассчитаем значения  $t_{0,j,r}$ ,  $T_{\Sigma,j,r}$  и  $T_{o,j,r}$ . Порядок расчета указанных показателей рассмотрим на примере объекта № 1 ( $r = 1$ ).

Таблица 3.10 Состав объектов ССЦ

Оборуд. Объект	сервер	АРМ	ИБП	принтер	плоттер	коммутатор	СЗИ
Объект № 1	8	27	1	2	1	3	2
Объект № 2	6	9	6	1	1	2	2
Объект № 3	2	5	1	1	-	1	2
Объект № 4	4	36	39	8	1	3	2
Объект № 5	6	21	6	1	1	4	2
Объект № 6	4	11	15	5	1	3	2
Объект № 7	4	11	15	5	1	3	2
Объект № 8	6	14	13	4	1	4	2
Объект № 9	6	28	31	3	-	6	2
Объект № 10	6	22	13	3	-	5	2
Объект № 11	6	20	24	3	-	6	2
Объект № 12	5	4	1	1	-	2	2
<b>Всего</b>	<b>63</b>	<b>208</b>	<b>165</b>	<b>37</b>	<b>8</b>	<b>42</b>	<b>24</b>

Используя выражения (3.50), (3.51), (3.52) и представленные в таблицах данные рассчитаем значения  $t_{0j,r}$ ,  $T_{\Sigma,j,r}$  и  $T_{o,j,r}$ . Порядок расчета указанных показателей рассмотрим на примере объекта № 1 ( $r = 1$ ).

Для серверов ( $j = c$ ):

$$t_{0c,1} = k_{c,1} \times D_1 \times 365 = 24 \times 2 \times 365 = 17520 \text{ часов};$$

$$T_{\Sigma,c,1} = \sum_{j=1}^8 t_{0j} = 17520 \times 8 = 140160 \text{ часов};$$

$$T_{o,c,1} = T_{\Sigma,c,1} / n_{c,1} = 140160/3 = 46720 \text{ часов.}$$

Для автоматизированных рабочих мест ( $j = a$ ):

$$t_{0a,1} = k_{a,1} \times D_1 \times 365 = 10 \times 2 \times 365 = 7300 \text{ часов};$$

$$T_{\Sigma,a,1} = \sum_{j=1}^{27} t_{0j} = 7300 \times 27 = 197100 \text{ часов};$$

$$T_{o,a,1} = T_{\Sigma,a,1} / n_{a,1} = 197100/2 = 98550 \text{ часов.}$$

Для источников бесперебойного питания ( $j = и$ ):

$$t_{0и,1} = k_{и,1} \times D_1 \times 365 = 12 \times 2 \times 365 = 8760 \text{ часов};$$

$$T_{\Sigma,и,1} = \sum_{j=1}^{28} t_{0j} = 8760 \times 28 = 245280 \text{ часов};$$

$$T_{o,и,1} = T_{\Sigma,и,1} / n_{и,1} = 245280/4 = 61320 \text{ часов.}$$

Аналогично для других объектов.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.11 (графы 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12). Кроме того, в таблице 3.11 представлено среднее время наработки на отказ однотипных изделий для всех объектов:  $T_{o\text{ ср}} = \sum_{k=1}^r T_{oj,k} / r$ , где  $r$  – количество объектов ССЦ на которых проводился сбор статистических данных;  $T_{oj,k}$  – среднее время наработки на отказ  $j$ -х изделий в составе  $k$ -го объекта. В таблице 3.11 получены точечные оценки среднего времени наработки на отказ ( $T_{oj,r}$ ), которые могут оказаться очень приближенными (см. подраздел 3.3.2.3). Поэтому кроме точечной оценки желательно знать практически надежные границы для оцениваемого параметра, т.е. найти такой интервал оценок, который с достаточно высокой вероятностью «накрывает» неизвестный параметр. Для определения интервальных значений искомого параметра воспользуемся выражением (3.47). Для нашего случая получим:

$$T_{\text{но}j,r} = 2T_{\Sigma,j,r} / \chi^2_{\varepsilon; 2n} < T_{oj,r} < T_{\text{во}j,r} = 2T_{\Sigma,j,r} / \chi^2_{1-\varepsilon; 2n} \quad (3.53)$$

где:  $\chi^2$  – квантили  $\chi^2$  – распределения, по уровню  $\varepsilon$  или  $1 - \varepsilon$  (определяются по таблице в приложении 1).

Если в результате испытаний число отказов  $n = 0$ , то определяется лишь нижняя доверительная граница

$$T_{oj,r} > T_{\text{но}j,r} = 2 T_{\Sigma,j,r} / \chi^2_{\varepsilon; 2}. \quad (3.54)$$

Из практических соображений более важно определить  $T_{\text{но}}$ . Если значение  $T_{\text{но}}$  удовлетворяет заданному уровню надежности  $T_{o\text{ зад}}$ , то истинное значение  $T_o > T_{\text{но}} > T_{o\text{ зад}}$ . Это говорит о запасе надежности анализируемого устройства.

Проведем оценку  $T_{\text{но}j,r}$  на примере объекта № 1. Пусть доверительная вероятность  $\gamma^* = 0,9$ , тогда  $\varepsilon = (1 - \gamma^*)/2 = 0,05$ .

Нижнюю доверительную границу  $T_{\text{но}j,r}$  при  $\varepsilon = 0,05$  определим используя выражение (3.48), а значение квантили  $\chi^2$  – распределения из таблицы в приложении 1. Количество отказов  $n$ , для определения значения квантили  $\chi^2$  – распределения, определяем по таблице 3.9.

Таблица 3.11 Результаты расчета среднего времени наработки на отказ некоторого оборудования объектов ИТС, час

Объект	Сервер				АРМ				Источник бесперебойного питания			
	$t_{0с,г}$	$T_{\Sigma с,г}$	$T_{о,с,г}$	$T_{нос,г}$	$t_{0ар}$	$T_{\Sigma а,г}$	$T_{о,а,г}$	$T_{ноа}$	$t_{0и,г}$	$T_{\Sigma и}$	$T_{о,и,г}$	$T_{нои}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Объект № 1	17520	140160	46720	<b>29546</b>	7300	197100	98550	<b>65794</b>	8760	245280	61320	<b>38959</b>
Объект № 2	17520	105120	105120	<b>35090</b>	7300	65700	65700	<b>21931</b>	8760	52560	17520	<b>11080</b>
Объект № 3	35040	70080	70080	<b>23392</b>	14600	73000	36500	<b>24368</b>	17520	87600	87600	<b>29242</b>
Объект № 4	52560	315360	52560	<b>34452</b>	21900	788400	262800	<b>166194</b>	26280	1024920	93175	<b>60424</b>
Объект № 5	52560	420480	210240	<b>140360</b>	21900	459900	21900	<b>21013</b>	26280	709560	177390	<b>112704</b>
Объект № 6	52560	210240	210240	<b>70180</b>	21900	240900	120450	<b>40207</b>	26280	394200	35836	<b>25100</b>
Объект № 7	52560	210240	70080	<b>44318</b>	21900	240900	20075	<b>14202</b>	26280	394200	65700	<b>43065</b>
Объект № 8	52560	315360	78840	<b>50090</b>	21900	306600	20440	<b>25890</b>	26280	341640	16269	<b>15610</b>
Объект № 9	43800	262800	32850	<b>22191</b>	18250	511000	34067	<b>24724</b>	21900	678900	42431	<b>31019</b>
Объект № 10	26280	157680	78840	<b>52635</b>	10950	240900	240900	<b>80414</b>	13140	170820	170820	<b>57021</b>
Объект № 11	26280	157680	52560	<b>33239</b>	10950	219000	80300	<b>46165</b>	13140	315360	315360	<b>105270</b>
Объект № 12	8760	17520	17520	<b>5848</b>	3650	32850	32850	<b>10966</b>	4380	4380	4380	<b>1462</b>
$T_{о ср}$ и $T_{но ср}$			85470	<b>44362</b>			77289	<b>42722</b>			90650	<b>44246</b>

Так для серверов объекта № 1:

Значение  $T_{\Sigma,j,r}$  выбираем из таблицы 3.11 столбец 3. Для объекта № 1, получаем  $T_{\Sigma,j,r} = 140160$  часов. По таблице 3.9 определяем количество отказов серверов на объекте № 1 за период наблюдения, получаем  $n = 2$ . Для получения  $\chi^2_{0,05; 2 \times 2}$  по таблице приложения 1 на пересечении строки 4 и столбца 0,05 определяем  $\chi^2_{0,05;4} = 9,48773$  (выделено цветом). Подставив полученные значения в выражение (3.48) для  $T_{\text{нос},r}$  получаем:  $T_{\text{нож},r} = 2T_{\Sigma,j,r} / \chi^2_{\varepsilon; 2n} = 2 \times 140160 / 9,48773 = 29546$  часов. Т.е. с вероятностью 0,9 можно утверждать, что истинное значение средней наработки на отказ серверов объекта № 1 не менее 29546 часов.

Аналогично посчитаем  $T_{\text{нож},r}$  для других объектов и другого оборудования. Если количество отказов за период наблюдения  $n=0$ , то для определения  $T_{\text{но}}$  вместо выражения (3.48) используем выражение (3.49). Результаты расчетов представлены в таблице 3.11 в колонках 5, 9 и 13 (выделено жирным шрифтом). Оценим результаты расчетов.

Для сравнения в таблице 3.12 представлены величины среднего времени наработки на отказ различного оборудования, значения которых использовались при проектной оценке надежности создаваемых комплексов на этапе технического проектирования.

Сравнение рассчитанных показателей надежности (см. таблицу 3.11) со значениями среднего время наработки на отказ, принятыми при проведении проектной оценки надежности создаваемых комплексов, позволяет сделать следующие выводы:

1. Низкие показатели надежности оборудования объекта № 12 объясняются его малой наработкой в период сбора статистических данных (сбор статистических данных на этом объекте проводится первый год) и, на основе опыта эксплуатации ССЦ в течение 6 лет можно только спрогнозировать, что его надежность будет не хуже, чем на других объектах.

2. По серверам.

Показатели надежности  $T_{o \text{ с},r}$  и  $T_{\text{но с},r}$  вычисленные для серверов на основе экспериментальных данных полученных в процессе эксплуатации объектов ИТС, в основном соответствуют, а в ряде случаев существенно превышают показатели надежности аналогичных средств, использовавшиеся в качестве исходных

Таблица 3.12 Исходные данные по среднему времени наработки на отказ оборудования объектов ИТС

Объект	Оборудование	$T_{o \text{ зад}}$
Объект № 1	Сервер Intel SR4850HW4-4U	30000
	Сервер IBM xSeries 3850-3U	40000
	Сервер 1 Intel 5400-5U	20000
	Автоматизированное рабочее место	12000
	UPS APC 3KVA-2U	20000
Объект № 5 Объект № 8	Сервер 1,2 Intel Server Platform SR6850HW4-6U	40000
	Сервер 3-6 Intel SR4850HW4-4U	30000
	Автоматизированное рабочее место	12000
	UPS APS 3KVA-2U	20000
	ИБП SMART UPS 620 SC620I	20000
Объект № 6 Объект № 7	Сервер 1 Intel 5400-5U	20000
	Автоматизированное рабочее место	12000
	ИБП SMART UPS 620 SC620I	20000
Объект № 4	Сервер 1 Intel Server Platform SR6850HW4-6U	40000
	Сервер Intel 5400-5U	20000
	Автоматизированное рабочее место	12000
	UPS APC 3KVA-2U	20000
	ИБП APC BACK-UPS RS 800VA 230V	20000
Объект № 9 Объект № 10 Объект № 11	Сервер Intel SC5600	30000
	Автоматизированное рабочее место	12000
	ИБП, SUA3000RMI2U	20000
	ИБП, SURT10000RMXLI	20000
Объект № 3 Объект № 12	Сервер Intel 5400-5U	20000
	Автоматизированное рабочее место	12000
	ИБП SMART UPS 3000VA RM/Tower SUM3000RMXLI2U	20000

данных при проектной оценке надежности на этапе технического проектирования.

## 2. По серверам.

Показатели надежности  $T_{o \text{ с,г}}$  и  $T_{но \text{ с,г}}$  вычисленные для серверов на основе экспериментальных данных полученных в процессе эксплуатации объектов ИТС, в основном соответствуют, а в ряде случаев существенно превышают показатели надежности аналогичных средств, использовавшиеся в качестве исходных данных при проектной оценке надежности на этапе технического проектирования.

Из общей картины несколько выпадают показатели надежности серверов объекта №9. Внимательный анализ зафиксированных отказов не дает однозначного представления о причинах,

вызвавших снижение показателя надежности серверов на этом объекте. Можно высказать два предположения – первое связано с возможными неблагоприятными условиями эксплуатации на объекте (квалификация обслуживающего персонала, напряжение в электросети, влажность, температура и др.), второе связано с вероятностной природой показателей надежности - возможно при дальнейшем наблюдении показатели надежности серверов на этом объекте будут не хуже, чем на других объектах;

### 3. По автоматизированным рабочим местам.

Показатели надежности  $T_{o\ a,г}$  и  $T_{но\ a,г}$ , полученные для АРМ на основе экспериментальных данных, на всех объектах соответствуют показателям надежности АРМ использовавшихся при проектной оценке надежности объектов ССЦ на этапе технического проекта.

### 4. По источникам бесперебойного питания

Показатели надежности  $T_{o\ и,г}$  и  $T_{но\ и,г}$ , полученные для источников бесперебойного питания на основе экспериментальных данных, в основном соответствуют показателям надежности АРМ использовавшихся при проектной оценке надежности объектов ССЦ на этапе технического проекта.

Заниженный показатель  $T_{но\ и,г}$  объекта № 1 по отношению к принятым значениям исходных данных объясняется, скорее всего, малым объемом статистических данных полученных с данного объекта. Заниженные показатели  $T_{o\ и,г}$  и  $T_{но\ и,г}$ , на объекте № 8 связаны, в основном, с частым, за последние три года, выходом из строя аккумуляторных батарей. Это может быть связано с истощением аккумуляторными батареями заложенного в них ресурса, либо с не правильной эксплуатацией аккумуляторных батарей.

5. Средние значения показателей  $T_{o\ ср}$  и  $T_{но\ ср}$  вычисленные по всем объектам превышают принятые исходные данные по всем рассмотренным техническим средствам (нижняя строка таблицы 3.11).

Оценивая в целом результаты расчета, можно отметить, что показатели надежности аппаратных и аппаратно-программных средств ИТС, в основном, соответствуют требованиям по показателям надежности, которые закладывались в них при создании ИТС.

### 3.6. Особенности утилизации средств вычислительной техники

Любая техника устаревает. Особенно это касается средств вычислительной техники. Стремительное развитие электроники и программного обеспечения приводит к тому, что на смену старым приходят новые, более мощные, более современные ПК и оргтехника. Периодичность смены поколений СВТ постоянно сокращается.

В связи с этим возникает проблема: а что делать со старой техникой (морально устаревшей или вышедшей из строя). Экологи бьют тревогу в связи с тем, что вся оргтехника включает в свой состав как органические составляющие (пластик различных видов, материалы на основе поливинилхлорида, фенолформальдегида), так и почти полный набор металлов. Кроме того, в конструкции оборудования максимально увеличивается доля материалов, пригодных для переработки. Ниже приведена таблица 3.13, где указаны составляющие ПК (монитор, системный блок, клавиатура, мышь) [104].

Таблица.3.13. Наименование: благородные металлы (гр), черные и цветные металлы (кг), полимеры и стекло (кг).

Au	Ag	Al	Cu	Fe	АБС (пластик)	стекло
0,05 – 0,09	0,8 – 1,1	0,1 – 0,4	0,1 – 0,2	3 - 4	3 – 3,5	10 - 20

(Данные, приведенные в таблице, ориентировочные).

Все эти компоненты не являются опасными в процессе эксплуатации изделия. Однако, когда изделие попадает на свалку такие металлы, как свинец, сурьма, ртуть, кадмий, мышьяк входящие в состав электронных компонентов переходят под воздействием внешних условий в органические и растворимые соединения и становятся сильнейшими ядами. Утилизация пластиков, содержащих ароматические углеводороды, органические хлорпроизводные соединения является насущной проблемой экологии. Поэтому вся оргтехника должна утилизироваться по методике утвержденной Государственным комитетом РФ по телекоммуникациям (от 19 октября 1999 г.).

Кроме того, утилизация СВТ организуется с целью извлечения драгоценных металлов из компьютеров, периферийного обо-

рудования и других СВТ содержащих драгоценные металлы. К драгоценным металлам относятся: золото, серебро, платина, палладий, родий, иридий, рутений, осмий, а также любые химические соединения и сплавы каждого из этих металлов.

Статья 2 п. 4 «Федерального закона о драгоценных металлах и драгоценных камнях» от 26 марта 1998 года №1463 гласит: «Лом и отходы драгоценных металлов подлежат сбору во всех организациях, в которых образуются указанные лом и отходы. Собранные лом и отходы подлежат обязательному учету и могут перерабатываться собирающими их организациями для вторичного использования или реализовываться организациям, имеющим лицензию на данный вид деятельности, для дальнейшего производства и аффинажа драгоценных металлов».

В нашей стране существует очень много компании, которые с удовольствием примут заказ на утилизацию старого оборудования, достаточно выйти в «Интернет» и выбрать подходящую Вам специализированную организацию.

## Анализ применимости стандартов TIA/EIA-942 для обеспечения надежности создаваемых информационно-телекоммуникационных систем различного назначения

---

### 4.1 Основные положения стандартов TIA/EIA-942

Стандарт TIA/EIA-942 (Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers) одобрен органами стандартизации США в апреле 2005 года [105]. В нем определены требования и основные правила для проектирования и создания центров обработки данных (ЦОД) и компьютерных помещений (серверных залов).

Центр обработки данных (другое название «дата-центр» (от англ. *data center*)) - вычислительная инфраструктура (набор взаимосвязанных программных и аппаратных компонентов, организационных процедур, мест размещения и персонала), предназначенная для безопасной централизованной обработки, хранения и предоставления данных, сервисов, приложений и обеспечивающая высокую степень виртуализации своих ресурсов.

Центры обработки данных создаются для увеличения производительности компаний, активно использующих в своей деятельности информационные технологии, а также для повышения качества предоставляемых услуг.

К основным задачам ЦОД в первую очередь относятся эффективное консолидированное хранение и обработка данных, предоставление пользователям прикладных сервисов, а также поддержка функционирования корпоративных приложений. В частности, современные ЦОД ориентированы в первую очередь на решение бизнес-задач путем предоставления услуг в виде информационных сервисов.

Центр обработки данных исполняет функции обработки, хранения и распространения информации, как правило, в интересах корпоративных клиентов — он ориентирован на решение бизнес-задач путём предоставления информационных услуг.

Консолидация вычислительных ресурсов и средств хранения данных в ЦОД позволяет сократить совокупную стоимость владения IT-инфраструктурой за счёт возможности эффективного использования технических средств, например, перераспределения нагрузок, а также за счёт сокращения расходов на администрирование.

Центр обработки данных может быть предназначен как для использования одним предприятием, так и являться многопользовательским. Многопользовательский ЦОД представляет широкий спектр услуг, среди которых непрерывность бизнеса, аренда сервера, размещение сервера. Обращение к услугам многопользовательского ЦОД наиболее целесообразно для компаний среднего и малого бизнеса, так как позволяет избежать капитальных затрат на модернизацию IT-инфраструктуры и получить высококачественный сервис и гарантию надежности.

В России первые центры обработки данных стали появляться в конце 90-х годов прошлого века. Их заказчиками были банковские структуры, предприятия нефтеперерабатывающей промышленности и государственные учреждения. В настоящее время рынок центров обработки данных в России активно развивается.

Стандарт ТИА/ЕІА-942 определяет довольно много самых разнообразных требований, касающихся размещения ЦОД (наличие поблизости предприятий, больниц, транспортных развязок, аэропортов, парковок для персонала и посетителей, площадок разгрузки и хранения закупаемого оборудования (для этого должно выделяться достаточно места, а двери и проходы должны предусматривать перемещение довольно габаритных предметов)). Особо оговариваются механические нагрузки на пол и задаются жесткие климатические условия. Много внимания уделяется взаимосвязи размещения и функционирования решений, относящихся к разным инженерным системам. Например, все водопроводные и сливные трубы не должны проходить над кабельным оборудованием, а светильники, головки спринклерной системы пожаротушения не могут размещаться непосредственно над стойками, а только над свободным пространством между ними.

Стандарт TIA/EIA-942 предусматривает обязательное выделение специализированных помещений и организацию рабочих зон. В частности, это помещения для подводки внешних телекоммуникационных систем, компьютерного оборудования, телекоммуникационного оборудования и помещения для инженерных систем, например, электрощитовые, производственные помещения систем кондиционирования и вентиляции и т.п.

Кроме помещений для установки компьютерного оборудования в здании центра обработки данных могут выделяться помещения для размещения офисных и вспомогательных служб, таких как центры обслуживания клиентов или службы подготовки ввода данных.

Стандарт TIA/EIA 942 рассматривает структуру центров обработки данных и компьютерных помещений в целом и содержит не только общие руководства по организации кабельной инфраструктуры, установке монтажной арматуры и определению мест для укладки кабеля. В нем также уделено внимание проектированию сети, организации доступа, правилам размещения центра обработки данных, архитектурным особенностям помещений, организации электропитания, освещения, климатических условий, обеспечению бесперебойной работы оборудования, пожарной безопасности и защите от влаги. Важной составляющей стандарта является требование обеспечения высокой эксплуатационной готовности оборудования в центре обработки данных, необходимого для обслуживания запросов, которые поступают от большого числа пользователей.

Для мониторинга и управления центром данных (особенно центром, который обеспечивает выполнение ответственных задач) организуется центр текущего управления сетью (ЦУС). Его функционирование заключается в определении неисправностей и разработке действий, исключающих такие последствия, как возможный простой компьютерного оборудования. В ЦУС размещаются технические средства, которые, в частности, осуществляют мониторинг теплового режима, отслеживают остановки и сбои в работе оборудования с последующей диагностикой модулей и блоков, которые вышли из строя.

Основным требованием, предъявляемым к центрам обработки данных, является отказоустойчивость. Отказоустойчивость

ЦОД определяет уровень их надежности. Чтобы поддерживать надежность работы центров обработки данных, в стандарте TIA/EIA-942 специфицируются уровни эксплуатационной готовности и перечисляются меры, обеспечивающие функционирование оборудования ЦОД с учетом характеристик того или иного уровня. Стандарт производит аттестацию центров обработки данных в соответствии с четырьмя определенными уровнями (Tiers). Чем больше номер уровня, тем выше эксплуатационная готовность.

Очевидно, что понятие отказоустойчивости ЦОД определяет и отказоустойчивость каждой из систем ЦОД. Это означает, что тот или иной уровень надежности накладывает определенные требования сразу на всю инфраструктуру ЦОД. Фактически, из этого следует, что выбранный уровень надежности целиком определяет концепцию ЦОД. В стандарте TIA/EIA-942 для каждого уровня приводятся детальные рекомендации, определяющие особенности архитектурного проекта, а также рекомендации по функционированию инженерных систем.

Главная цель введения классификации по уровням надежности - избежать расплывчатых формулировок, как при формировании технического задания к строящимся ЦОД, так и при описании характеристик уже функционирующих ЦОД. Классификация по уровням дает проектировщикам возможность определять, какие решения следует применять в том или ином случае. Кроме того, она позволяет быстро и эффективно оценивать работу центра обработки данных, что может понадобиться потребителю услуг.

Так, для центров обработки данных первого уровня (Tier I) величина эксплуатационной готовности должна быть не меньше 99,671%, что соответствует максимально-допустимой суммарной длительности простоев 28 часов 48 минут в год. Это базовый уровень работоспособности центра обработки данных. Применение фальшпола, источника бесперебойного питания (ИБП), дизель-генераторной установки (ДГУ) в таком ЦОД не обязательно. Однако даже если источник бесперебойного электропитания и аварийный генератор устанавливаются, то выбираются более простые модели, без резерва, с множеством точек отказа (исполь-

зуются единый канал подвода электропитания и единый канал распределения охлаждающего воздуха).

ЦОД базового уровня подвержен нарушениям работы, как от плановых, так и от внеплановых действий. Возможны самопроизвольные отказы оборудования. Ошибки в действиях обслуживающего персонала также приведут к простоя ЦОД (отсутствует защита от случайных и намеренных событий, обусловленных действиями человека).

Уровень с резервированием компонентов (Tier II) допускает длительность простоя не более 22 часов за год (эксплуатационная готовность - 99,741%). Причины простоев - те же, что и для предыдущего уровня - плановые и внеплановые работы по техническому обслуживанию, а также аварийные ситуации, однако время простоя сокращено благодаря введению одной резервной единицы оборудования в каждой системе. Резервирование осуществляется по схеме  $N + 1$ . Таким образом, системы кондиционирования, ИБП и ДГУ имеют одну резервную единицу. Тем не менее, профилактические работы требуют отключения ЦОД. Также уязвимым местом являются активные подводы коммуникаций (по одному на систему).

Tier II требует наличия минимальных защитных мер от влияния человека. Стены и потолки снабжаются пароизоляцией, в двери устанавливается глазок с углом обзора  $180^\circ$ , все стены строятся на всю высоту помещения - от грязного пола до грязного потолка.

Центры обработки данных третьего уровня надежности (Tier III) допускают проведение любых запланированных действий по техническому обслуживанию без прерывания работы компьютерного оборудования. Под плановыми работами подразумевается профилактическое и программируемое техническое обслуживание, ремонт и замена компонентов, добавление или удаление компонентов, их тестирование. Очевидно, что в этом случае необходимо иметь резервирование, позволяющее всю нагрузку пустить по другому пути во время работ на первом. Годовой простой на этом уровне не должен превышать 1 часа 36 минут (эксплуатационная готовность - 99,982%). В таких ЦОД реализуется несколько каналов подвода коммуникаций и осуществляется резервирование всех кабельных линий. Если используется водяное

охлаждение, должно предусматриваться дублирование трубопроводов.

Итак, для реализации Tier III необходима схема резервирования блоков систем кондиционирования, ИБП, ДГУ по схеме 2N, также требуется наличие двух комплектов трубопроводов для системы кондиционирования, построенной на основе чиллера. Строительные требования обязывают сохранять работоспособность ЦОД при большинстве случаев намеренных и случайных вмешательств человека. Следует предусмотреть резервные входы, дублирующие подъездные пути, контроль доступа, отсутствие окон, защиту от электромагнитного излучения.

Отказоустойчивый ЦОД (Tier IV) характеризуется безостановочной работой при проведении плановых мероприятий и способен выдержать один серьезный отказ без последствий для критически важной нагрузки. Необходим дублированный подвод питания, резервирования системы кондиционирования и ИБП по схеме 2(N+1). Для ДГУ необходима отдельная площадка с зоной хранения топлива. Стойкие к неисправностям центры обработки данных четвертого уровня обеспечивают 99,995% эксплуатационной готовности и допускают простои на протяжении всего 25 минут за год. Функциональные возможности инфраструктуры ЦОД уровня IV позволяют сохранять работоспособность при самых неблагоприятных обстоятельствах, сопровождающих нештатную ситуацию. Такие решения предполагают наличие в каждой системе нескольких активных каналов или даже резервирование типа "система + система".

ЦОД уровня Tier IV требует защиту от всех потенциальных проблем в связи с человеческим фактором. Регламентированы даже избыточные средства защиты от намеренных или случайных действий человека. Также учтено влияние непреодолимой силы - сейсмоявления, потопа, пожары, ураганы, штормы, терроризм.

Инфраструктура центра данных четвертого уровня является оптимальной рабочей средой для реализации высоконадежных ИТ-решений, таких как кластерные вычислительные системы, системы хранения и отказоустойчивые компьютерные сети.

Ниже приведена обобщённая таблица характеристик Tier (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Обобщенная таблица характеристик Tier

Параметр	Tier I	Tier II	Tier III	Tier VI
Год внедрения	1965	1970	1985	1995
<b>Отказоустойчивость</b>				
Время простоя за год, ч	28.8	22	1.6	0.4
Доступность ЦОД	99.671%	99.749%	99.982	99.995
Уровень загрузки оборудования	100%	100%	90%	90%
Обслуживание без отключения	Нет	Нет	Да	Да
Планируемые остановки ЦОД	2x12ч в год	3x12ч за 2 года	Нет	Нет
Аварийность	6 аварий за 5 лет	1 авария ежегодно	1 авария за 2.5 года	1 авария за 5 лет
Отказоустойчивость как одиночное событие	Нет	Нет	Нет	Да
<b>Строительные требования</b>				
Тип здания	С соседями	С соседями	Отдельно стоящее	Отдельно стоящее
Огнестойкость стен	Нет	Нет	1 час	2 часа
Несущая способность перекрытия	735кг/м <sup>2</sup> сверху 125кг/м <sup>2</sup> снизу	857кг/м <sup>2</sup> сверху 125кг/м <sup>2</sup> снизу	1225кг/м <sup>2</sup> сверху 245кг/м <sup>2</sup> снизу	1225кг/м <sup>2</sup> сверху 245кг/м <sup>2</sup> снизу
Высота фальшпола	Нет или до 305мм (12")	457мм (18")	762-914мм (30-36")	762-1067мм (30-42")
<b>Резервирование</b>				
ИБП	N	N+1	N+1	2(N+1)
ДГУ	N	N	N+1	2(N+1)
Кондиционирование	N	N+1	N+1	2(N+1)
Трубопроводы теплоносителя и конденсата	N	N	2N	2N
<b>Точки подключения</b>				
Количество энерговводов	1	1	1 раб, 1рез	2 рабочих
Точки слива дренажа	1	1	2	2 рабочих
Точки водозабора для увлажнения	1	2	2	2

Продолжение таблицы 4.1

Параметр	Tier I	Tier II	Tier III	Tier VI
<b>Наличие особых систем</b>				
Мониторинг	Нет	Нет	Да (выборочно)	Да (всех систем)
Увлажнение	Да	Да	Да	Да
Пожарные извещатели	Нет	Да	Да	Да
Течеискатели	Нет	Да	Да	Да
Контроль доступа	Нет	Нет	Да	Да
<b>Общие характеристики</b>				
Срок ввода в эксплуатацию	3 мес.	3-6 мес.	15-20 мес.	15-30 мес.
Ориентировочная стоимость	5000 \$/м <sup>2</sup> 10 000 \$/кВт	6500 \$/м <sup>2</sup> 11 000 \$/кВт	9700 \$/м <sup>2</sup> 20 000 \$/кВт	12 000 \$/м <sup>2</sup> 22 000 \$/кВт

Следует отметить, что критичность некоторых современных бизнес-процессов столь велика, что простой даже в 20-25 минут в год приводит к огромным убыткам для компании. Поэтому многие специалисты сходятся во мнении, что в скором времени должен появиться пятый уровень надежности ЦОД, характеризующийся пятью девятками (доступность 99.999%) и временем простоя всего 8.8 минут в год.

Основным показателем, определяющим уровень надежности, является время простоя ЦОД за год и вытекающий из него коэффициент отказоустойчивости, равный отношению времени простоя за год к длительности года.

Однако ещё более принципиальное разделение четырех уровней надежности на две категории. Критерием является возможность проведения профилактических работ без полной остановки ЦОД. Резкая разница в длительности допустимого простоя за год в характеристиках Tier II и Tier III (22 и 1.6 часа соответственно) объясняется тем, что второй и третий уровни надежности принадлежат к двум принципиально разным категориям, связанным с проведением плановых работ. Если Tier II подразумевает, что при плановых работах допустимо обесточить весь ЦОД, то уровень Tier III исключает эту возможность (т.е. существенную часть допустимого времени простоя за год в характеристиках Tier II со-

ставляют его плановые отключения для проведения различных запланированных работ).

При Tier I и II для выполнения планово-предупредительных работ необходимо остановить ЦОД, при Tier III и IV любая плановая деятельность осуществляется без нарушения нормального хода работы ЦОД.

К настоящему времени создано и разрабатывается большое число информационно-телекоммуникационных систем различного назначения: информационно-телекоммуникационные сети общего пользования, выделенные и технологические сети, сети специального назначения и др.

#### **4.2 Анализ возможности применения стандартов TIA/EIA-942 при создании и модернизации информационно-телекоммуникационных систем различного назначения**

Информационно-телекоммуникационная система (ИТС) представляет собой совокупность компьютерных систем, объединенных системой передачи данных. Компьютерные системы реализуют функции автоматизации процессов сбора, обработки и хранения информации, а системы передачи данных позволяют осуществлять обмен этой информацией между ними, а также обеспечивать доступ удаленных пользователей к хранящейся и обрабатываемой в компьютерных системах информации [106].

В соответствии с приведенным выше определением центры обработки данных (ЦОД), описываемые стандартом TIA/EIA-942 «Телекоммуникационная инфраструктура Центров Обработки Данных», можно рассматривать в качестве «компьютерных систем» ИТС.

ЦОД – это здание (или его часть) для которого применены комплексные решения по хранению, обработке и распространению информационных данных с IT-инфраструктурой, позволяющей обеспечивать свои функции, удовлетворяющие определенным критериям [107]. Стандарт TIA/EIA-942 задаёт структурно-архитектурные требования к комплексу инженерных систем (и каждой инженерной системе отдельно). Своеобразной "отправной точкой" действия стандарта является начало проектных работ, предшествующих строительству или реконструкции здания. Только на этом этапе можно в полной мере оценить все архитек-

турные особенности помещений будущего центра обработки данных и обеспечить взаимодействие всех технических систем. Поэтому руководствоваться стандартом должны в первую очередь проектировщики, так как им приходится планировать взаимосвязь архитектуры здания, его технических систем и кабельной инфраструктуры с учетом функционирования большого количества компьютерного оборудования с высокой плотностью компоновки.

Основной показатель работы ЦОД — отказоустойчивость (для коммерческих ЦОД также важны стоимость эксплуатации, показатели энергопотребления и регулирования температурного режима).

Классификация по уровням дает проектировщикам возможность определять, какие решения следует применять в том или ином случае. Кроме того, она позволяет быстро и эффективно оценивать работу центра обработки данных.

В свою очередь, высокий уровень надежности требует высоких как капитальных (см. таблицу 4.1), так и эксплуатационных затрат, следовательно, и стоимость вычислительных мощностей также зависит от уровня надежности ЦОД.

Поэтому ответственный подход к инвестированию в инфраструктуру требует ясного понимания объективных требований по поддержке текущих и будущих требований клиентов, в соответствии с ними необходимо проектировать, строить и эксплуатировать ЦОД.

Отметим, что задаваемые этим стандартом параметры в нашей стране на 100% соблюдены невозможно, так как ряд разделов не согласуется с правилами, установленными в России (СНиП, ПУЭ, ГОСТы – серии 34). Это касается, в частности, использования средств пожаротушения, оснащения помещений пандусами, порогов и т. п.

От того, насколько квалифицированно и тщательно проработана концепция центра обработки данных, самым непосредственным образом зависит успех проекта и экономическая эффективность ЦОД в период его эксплуатации. Грамотное проектирование и планирование строительства центра обработки данных - это основной способ снижения затрат на ЦОД.

Следует отметить, что наряду с американским стандартом TIA-942 существует европейский стандарт EN 50173-5 [108]. Оба стандарта содержат много сходных положений, но сфера действия американского стандарта намного шире, а европейский стандарт более подробно определяет решения по созданию структурированной кабельной системы для центров обработки данных [109]. В 2012 году одобрен новый стандарт TIA-942-A, который, как и европейский стандарт, касается только темы кабельных систем и уже не будет таким всеобъемлющим, каким был стандарт TIA-942.

Рассмотрим, в каких случаях, и при каких условиях, при создании ИТС, может быть использован стандарт TIA -942.

В России пока нет такого стандарта как стандарт TIA -942, и объекты аналогичные ЦОД, создаются и оснащаются согласно требованиям для сооружений связи, строительных норм СН 512-78 (2000) [110] и ГОСТов серии 34. В указанных нормативных документах заложены требования актуальные на момент принятия этих документов (они разрабатывались 15 и более лет назад), но исходя из современных положений, их нужно пересмотреть.

При создании объектов ИТС, аналогичных центрам обработки данных описываемых стандартом TIA/EIA-942, следует придерживаться следующих основных положений.

- выяснить реальную потребность потенциальных пользователей в ресурсах центра обработки данных и расставить приоритет требований, которым он должен будет удовлетворять;

- выяснить требования, предъявляемые пользователями к надежности функционирования информационной инфраструктуры, и принять решение, какое количественное значение показателя надежности ЦОД, необходимо реализовать;

- выбрать уровень (Tier) надёжности стандарта TIA/EIA-942, который соответствует выбранному значению показателя надежности;

- реализовать требования стандарта TIA/EIA-942 для выбранного уровня, с учетом требований стандартов принятых в России.

При построении ЦОД следует пользоваться не только стандартами, но и здравым смыслом, позволяющим существенно сэкономить, не ухудшая наиболее востребованные его качества.

Все отступления от стандарта в лучшую или худшую сторону должны быть обоснованны.

При желании сертифицировать построенный ЦОД следует учитывать, что общемировая практика такова, что готовый ЦОД согласно стандарту сертифицируется по четырем классам надежности – 1,2,3,4 Tier. А вот в России ряд компаний предлагает сертификацию по классу 3+ или 4-. При этом не понятно, что лучше: 3+ или 4-. Таким образом, происходит некая фальсификация соответствия построенного решения заявленному, что приводит к неразберихе и большим разочарованиям. В стандарте четко прописано, что не существует никаких дробных делений по классам надежности, кроме указанных четырех.

Учет требований стандарта Т1А/Е1А-942, при создании ИТС, позволяет обеспечить стандартизированный подход, предполагающий сбалансированное и детальное проектирование всех систем ЦОД в целях реализации заданных требований по надежности.

## О функциональной надежности информационных систем

---

### 5.1 Общие положения

Информационные системы (ИС) применяются для решения широкого спектра научных и производственных задач – от традиционного сбора, обработки, накопления и хранения информации, от решения задач искусственного интеллекта до управления ответственными объектами в реальном масштабе времени. Эти задачи имеют актуальное значение в жизни современного общества. Отсюда высокий уровень требований, предъявляемых к надежности информационных систем [111].

Следует различать два класса задач обеспечения надежности ИС.

Первый класс – это задачи структурной надежности. Это задачи традиционной теории надежности, в которой исследуются процессы отказов и восстановлений объектов (элементов и структур в целом) и не рассматривается влияние на информационные процессы сбойных и программных ошибок, ошибок операторов, информационных атак и т.п. Вопросы надежности (безошибочности) выполнения информационных процессов оказались за пределами задач, решаемых в рамках классической (структурной) надежности.

Второй класс – это задачи функциональной надежности информационных систем. В рамках этого класса задач необходимо решать задачи, которые должны включать в себя [111]:

- определение функционального отказа и определение на этой основе функциональной надежности системы;
- определение угроз функциональной надежности информационных систем, включая информационные атаки;
- формализация требований к показателям, создание системы показателей функциональной надежности информационных систем, разработка новых и адаптация существующих методов расчета этих показателей;

- разработка и исследование математических моделей сбоев функционального характера и сбойных ошибок при выполнении функциональных задач;

- систематизацию понятий в области качества и надежности программных средств;

- разработка показателей функциональной надежности программных средств на основе разработанной системы показателей для информационной системы в целом;

- обобщение практических сведений об ошибках операторов и прогнозирование их функциональной надежности;

- задание требований к функциональной надежности критически важных информационных систем.

В настоящее время в научном сообществе пока не выработана единая система взглядов на понимание предмета, целей и задач функциональной надежности информационных систем. Причины этого имеют как объективный, так и субъективный характер. Объективные причины связаны с тем, что современные ИС обладают громадными возможностями и непредсказуемым поведением. Субъективные причины обусловлены тем, что научные и практические интересы тех или иных исследователей ограничены рамками отдельных объектов, входящих в состав ИС. Применительно к каждому объекту у соответствующих исследователей сформировались свои взгляды на надежность, привычки в подходах, стремление к преемственности.

Так в [112] под функциональной надежностью понимается по существу готовность системы к выполнению предусмотренных задач. Эта позиция сформулирована следующим образом: «вероятность отказа любой части системы будет определять, будет ли система пригодна, когда и сколько необходимо, во время любого эксплуатационного использования и в любое заданное (случайное) время. Факторы, которые влияют на функциональную надежность, включают в себя среднее время между сбоями, среднее время, требуемое на ремонт и время административного простоя».

Другой, более распространенный подход, закреплен в стандарте [113] состоит в том, что для многофункционально-управляющей системы (автоматизированной системы управления) рассчитывается надежность относительно каждой функции.

С этой целью устанавливается перечень функций и видов их отказов, а также критериев этих отказов. Уровень надежности системы оценивается в зависимости от надежности и других свойств технических средств, программного обеспечения и персонала, участвующего в функционировании системы. Для расчета надежности АСУ из ее состава выделяются функциональные подсистемы (ФП), каждая из которых решает одну конкретную задачу и содержит необходимые для этого технические, программные средства и определенный персонал. Анализ надежности всей системы проводят для каждой ФП с учетом надежности ее составных средств. В качестве показателей надежности используют показатели надежности реализации функций. Так, в качестве единичного показателя безотказности системы относительно непрерывно-выполняемой функции вводится вероятность безотказной работы  $i$ -й ФП в течение заданного времени, а также показатели средней наработки до отказа, наработки на отказ, интенсивности отказов и параметра потока отказов. В качестве комплексных показателей надежности используют коэффициенты готовности, технического использования и сохранения эффективности каждой  $i$ -й ФП.

Рассмотренный подход есть не что иное, как попытка с позиции структурной надежности объединить надежность технических средств и надежность выполнения информационных процессов в АСУ. Однако у такого подхода есть и недостатки.

1. Различные выполняемые функциональные подсистемы могут практически одновременно использовать, при своей реализации, одни и те же технические средства, программное обеспечение и персонал. Это означает взаимную коррелированность ФП, а, следовательно, и коррелированность их показателей надежности.

2. В современных информационно-телекоммуникационных системах оперативность обработки информации настолько высока, что в доли секунды по случайным запросам могут решаться потоки задач. Понятие непрерывно-выполняемые функции становится неактуальным. В подавляющем большинстве функции выполняются по запросам. Эти запросы поступают в дискретные моменты времени. Интервалы между моментами времени, как правило, носят случайный характер. Таким образом, ИТС – мож-

но рассматривать как систему массового обслуживания запросов. Основным показателем надежности таких систем предлагается вероятность успешного выполнения заданной процедуры при поступлении запроса.

В последние годы ряд исследователей исходят из того, что необходимо изучать надежность выполнения информационных технологий с учетом таких угроз как неисправности, ошибки, отказы [114]. В этой работе такая надежность расценивается как фундаментальное свойство ИС и определяется как общая надежность. Здесь под общей надежностью понимается способность информационной системы поставлять обслуживание, которому можно доверять. Обслуживание, предоставляемое системой, представляет ее свойства или поведение в том виде, в котором это воспринимается пользователем. В свою очередь, пользователь является другой системой (физической или человеческой), которая взаимодействует с данной системой через интерфейс обслуживания. В данной работе дерево общей надежности имеет вид, представленный на рисунке 5.1.

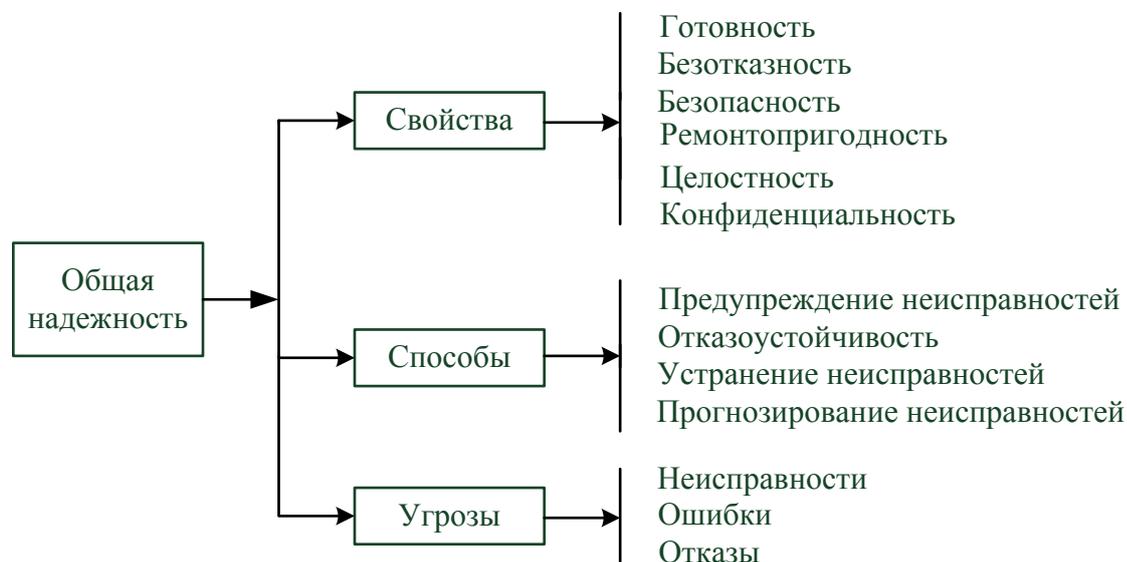


Рисунок 5.1. Дерево «общей надежности»

Таким образом «общая надежность» представляет собой интегральное понятие и охватывает следующие свойства или атрибуты:

- готовность для правильного обслуживания;

- надежность (понимается безотказность), т.е. непрерывность правильного обслуживания;
- безопасность – отсутствие катастрофических последствий для пользователя и окружающей среды;
- конфиденциальность – отсутствие неуполномоченного раскрытия информации;
- целостность – отсутствие ненадлежащего изменения состояния системы;
- ремонтпригодность – способность системы к ремонту и обновлениям.

Развитие данного подхода нашло отражение в материалах пятилетних исследований рабочей группы WG 10.4 Международной Федерации (IFIP WG-10.4) по обработке информации [115]. Однако вместо термина «Общая надежность» специалисты этой рабочей группы вводят термин «гарантоспособность», которая в указанной работе рассматривается как «достоверность вычислительной системы, способной предоставлять требуемые услуги, которым можно доверять». В явном виде гарантоспособность – это свойство обслуживания и зависит от характера использования системы. Здесь подразумевается сочетание аппаратной части, программного обеспечения и человека-оператора ИС. Особое внимание авторы обращают на программное обеспечение с гарантией высокой надежности (HDCP), в котором должна быть предусмотрена защищенность от сбойных ошибок (fault-tolerance), защита от опасных отказов (safety), информационная защищенность (security).

Материалы указанных работ [114] и [115] и им близких по концептуальному подходу к надежности функционирования вычислительных систем находятся на понятийном уровне и не решают в полной мере, указанные выше, задачи обеспечения функциональной надежности ИС. Решению поставленных задач посвящена работа [111].

## **5.2 Понятие функциональной надежности**

Методология структурной надежности, при всей обширности решаемых проблем не ориентирована на расчеты безошибочности выполнения информационных процессов и их составных процедур – она оперирует только процессами отказов и восста-

новлений технических средств. В этой методологии не учитывается содержание алгоритмов выполняемых в системе задач, также не учитывается влияние проявленных ошибок в программном обеспечении, ошибок операторов и ошибок во входной информации на результаты выполнения предусмотренных алгоритмов. Все эти факторы (угрозы) ненадежности представляют собой предмет рассмотрения функциональной надежности как составной части общей теории надежности.

Функциональная надежность информационных систем определяется *правильностью* и *безошибочностью* выполнения информационных процессов. Термин «правильность» означает, что информационные процессы реализуются в соответствии с предусмотренными в системе алгоритмами выполнения информационных процессов. Понятие «правильность» в функциональной надежности аналогично понятию «работоспособность» в структурной надежности.

Допустим, что система правильно выполняет поставленные задачи. Надежна ли она? Нет – обеспечение правильной работы необходимо, но недостаточно. Так, под воздействием сбойных ошибок промежуточные и/или выходные результаты правильного выполнения информационных процессов оказались искаженными, что привело, например, к ошибкам в управлении. Вероятность безошибочного выполнения задачи рассчитывается с учетом связей между процедурами выполнения задачи. Свойство безошибочности – комплексное свойство. Оно будет обеспечено как при условии безошибочности выполнения всех процедур решения функциональной задачи, так и при условии правильности алгоритма задачи.

*Определение функционального отказа [111].*

Пусть ИС в текущий момент времени выполняет  $q$  функциональных задач. Каждая задача реализуется одной или группой программ и описывается набором параметров. Совокупность возможных значений параметров  $i$ -й задачи ( $i = 1, \dots, q$ ) обозначим  $Y_i$ . Множество  $Y_i$  включает в себя множество  $x_i$  параметров надежности технических средств, множество  $y_i$  параметров надежности программ, множество  $l_i$  параметров надежности операторов, а также множество  $k_i$  параметров надежности информа-

ционных каналов ИС используемых для решения данной задачи, те  $Y_i = \{x_i, y_i, l_i, k_i\}$ .

Множество  $R = (Y_1, Y_2, \dots, Y_q)$  значений параметров всех задач, выполняемых в текущий момент времени, представляет собой мгновенный образ информационно-вычислительной среды ИС, характеризующий состояние ее функционирования в этот момент времени. Вследствие возникновения и устранения ошибок при выполнении любой из  $q$  функциональных задач состояние функционирования вычислительной среды ИС изменяется во времени – имеет место случайный процесс  $\bar{R}(t)$ . Отдельные реализации этого процесса будем называть траекториями процесса смены состояний  $g$  множества  $G$ . Отсутствие ошибок в результате выполнения любой из функциональных задач на всем интервале времени  $t$  соответствует траектории  $g_0$ .

Кроме влияния на функциональную надежность внутренних факторов  $\bar{R}$  ИС, следует учитывать параметры внешних факторов, обусловленные воздействием внешней среды на систему. К ним относятся: параметры потоков заявок, которые в случайные моменты поступления определяют требуемое количество технических средств для обслуживания заявок, каналов для передачи сообщений; параметры оперативности обработки и передачи информации и др. Совокупность возможных значений параметров  $j$ -го внешнего фактора ( $j \in m$ , где  $m$  – количество учитываемых внешних факторов) обозначим  $z_j$ . Вектором  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$  определяются значения параметров внешних факторов.

Введем функцию безошибочности  $\Phi(R, Z, t)$ , которая характеризует способность ИС в течение времени  $t$  безошибочно выполнять различные группы функциональных задач, безошибочно принимать и передавать сообщения в соответствии с изменяющимися во времени параметрами внешних факторов.

Все множество состояний  $S$  системы разделяется на два непересекающихся множества  $S_\Phi$  и  $\bar{S}_\Phi$ , где  $S_\Phi$  – множество приемлемых по безошибочности состояний функционирования ИС, а  $\bar{S}_\Phi$  – множество состояний с уровнями безошибочности ИС ниже допустимого.

Множество  $S_\Phi$  также разделяется на два непересекающихся множества  $S_0$  и  $S_1$ , где  $S_0$  – состояния, в которых обеспечивается номинальная безошибочность ИС вследствие того, что все за-

прошенные процессы выполнялись правильно и в полном объеме, а также безошибочно принималась и передавалась вся предусмотренная информация. Это объясняется отсутствием ошибок в системе или хотя бы в тех средствах, которые привлекались для выполнения запрошенных задач;  $S_1$  – состояние пониженной, хотя и приемлемой, безошибочности ИС. Состояния  $S_1$  также можно разделить на группы непересекающихся множеств, упорядочив их по степени снижения уровней приемлемой безошибочности

$$S_{11} \supset S_{12} \supset S_{13} \supset \dots \supset S_{1z},$$

где  $S_{11}$  и  $S_{1z}$  – граничные с множествами  $S_0$  и соответственно  $\bar{S}_\Phi$  множества состояний пониженной безошибочности. При этом множества состояний  $S_{1k}$ ,  $S_{1j}$  ( $k < j$ ) являются промежуточными между множествами состояний  $S_{11}$  и  $S_{1z}$ .

В принятых терминах под **частичным функциональным отказом** ИС понимается переход процесса  $\bar{r}(t)$  из одного множества  $S_{1k}$  в другое  $S_{1j}$  со значением функции безошибочности  $\Phi_j < \Phi_k$  системы ниже допустимого уровня относительно одного процесса. Уровню номинальной безошибочности  $\Phi_0$  соответствует множество состояний  $S_0$ .

**Полный функциональный отказ** информационной системы наступает при ее переходе из множества состояний  $S_\Phi$  в множество состояний  $\bar{S}_\Phi$ , в котором уровень безошибочности системы меньше допустимого.

Под **функциональной надежностью** информационной системы понимается ее способность правильно выполнять предусмотренные функциональные задачи с приемлемым уровнем безошибочности в реальных условиях эксплуатации при взаимодействии с внешними объектами.

### 5.3 Факторы, влияющие на функциональную надежность ИС

Рассмотрим, какие факторы могут искажать выходные результаты, которые при определенных обстоятельствах могут привести к ошибкам в управлении и иметь серьезные последствия как для работы всей системы в целом и даже для окружающей среды:

а) *Сбойные ошибки* – это ошибки в выполнении цифровыми устройствами логических функций, вызванные сбоями в работе их составных элементов (регистраторы, сумматоры, коммутаторы, узлы анализа результатов и т.п.). Наиболее опасными угрозами функциональной надежности являются сбои информационной техники, вызванные внутренними или внешними дестабилизирующими факторами – помехами. Именно помехи, главным образом по цепи питания, по заземлению и по входу, в сочетании со входными сигналами, передаточными и амплитудно-временными характеристиками интегральных схем являются в совокупности теми факторами, которые приводят к сбоям, которые, в свою очередь, влияют на правильность выполнения логических функций, микроопераций, операций, процессов и информационных технологий в целом.

б) *Ошибки в программном обеспечении*. Применительно к информационным системам ошибки, возникающие на различных этапах процесса разработки, группируются следующим образом:

- системные ошибки. К ним относятся ошибки в формулировании требований, описании целей, описании спецификаций, включая спецификации оборудования и общего программного обеспечения. В процессе эксплуатации системные ошибки являются преобладающими [111];

- алгоритмические ошибки. К ним относятся ошибки детального проектирования, спецификации оборудования и общего программного обеспечения, а также ошибки в спецификации языка программирования. Алгоритмические ошибки – это в первую очередь, ошибки, обусловленные некорректной постановкой функциональных задач, когда не полностью оговорены условия, необходимые для получения правильного результата;

- программные ошибки. К ним относятся ошибки кодирования программ, ошибка в спецификации оборудования, общего программного обеспечения и языка программирования, а также ошибки, возникшие при модификации ПО.

в) *Ошибки человека-оператора*. Можно утверждать, что там, где работает человек, появляются ошибки [116]. Они возникают независимо от уровня подготовки, квалификации или опыта.

Виды ошибок, допускаемые человеком на различных стадиях взаимодействия в системе «человек-машина» можно классифицировать следующим образом:

1. Ошибки проектирования – обусловлены неудовлетворительным качеством проектирования. Например, управляющие устройства и индикаторы могут быть расположены настолько далеко друг от друга, что оператор будет испытывать затруднения при одновременном пользовании ими;

2. Операторские ошибки – возникают при неправильном выполнении обслуживающим персоналом установленных процедур или в тех случаях, когда правильные процедуры вообще не предусмотрены;

3. Ошибки изготовления – имеют место на этапе производства из-за:

- а) неудовлетворительного качества работы, например, неправильной пайки;
- б) неправильного выбора материала;
- в) изготовления изделия с отклонениями от конструкторской документации.

4. Ошибки технического обслуживания – возникают в процессе эксплуатации и обычно вызваны некачественным ремонтом оборудования или неправильным монтажом вследствие недостаточной подготовленности обслуживающего персонала, неудовлетворительного оснащения необходимой аппаратурой и инструментами;

5. Внесенные ошибки – как правило, это ошибки, для которых трудно установить причину их возникновения, т.е. трудно определить, возникли они по вине человека или же связаны с оборудованием;

6. Ошибки контроля – связаны с ошибочной приемкой как годного элемента или устройства, характеристики которого выходят за пределы допусков, либо ошибочной отбраковкой годного устройства или элемента в пределах допусков;

7. Ошибки организации рабочего места – теснота рабочего помещения, повышенная температура, шум, недостаточная освещенность и т.п.;

8. Ошибки управления коллективом – недостаточное стимулирование специалистов, их психологическая несовместимость, не позволяющие достигнуть оптимального качества работы.

Свойство человека ошибаться является функцией его психофизиологического состояния. Интенсивность ошибок во многом определяется параметрами внешней среды, в которой человек работает.

Самое распространенное определение ошибки человека-оператора – это ненамеренное отклонение выполнения его действия от стандарта. Ошибка – это результат действия, совершенного неточно или неправильно, вопреки плану, но самое главное, что результат, который получен, не соответствует намеченному или заданному, требуемому.

г) Ошибки данных. Данные являются продуктом информационной системы. Совокупность их свойств, определяющую пригодность выполнять предусмотренные информационные технологии, называют *качеством данных*. Количественные характеристики этих свойств являются *показателями* качества данных.

Различают *внутренние* (достоверность и кумулятивность) свойства данных, сохраняющиеся при переносе в другую систему, и *внешние* (временные и защищенность данных) свойства данных, которые характерны для данной системы и исчезают при переносе в другую систему.

Под *достоверностью* данных понимается их свойство не иметь скрытых ошибок. В свойстве достоверности выделяют *безошибочность* данных (техническая составляющая достоверности) и их *истинность* (социально-психологическая составляющая). При анализе безошибочности данных рассматриваются случайные ненамеренные искажения, случаи трансформации, недопустимых отклонений или потерь данных вследствие сбойных, программных ошибок, ошибок операторов, ошибок во входных сообщениях. При анализе истинности данных рассматриваются намеренные искажения данных человеком – источником сведений (в том числе из-за непонимания сути вопроса).

Под *кумулятивностью* данных понимается свойство данных небольшого объема достаточно полно отражать действительность. Под этим свойством подразумеваются результаты сжатия данных, фильтрации данных, отбора данных, агрегирования дан-

ных и т.п. Кумулятивность позволяет исключить избыточный объем недостаточно систематизированной информации, предоставляемой лицу, принимающему решения (ЛПР), и снизить информационную нагрузку на информационную технику.

Под *временными свойствами* данных в ИС понимается, в первую очередь, *своевременность* сбора, обработки и передачи информации подчиненным объектам и/или ЛПР. Своевременность данных включает в себя такие характеристики как: *оперативность* – свойство данных, состоящее в том, что время их сбора, обработки и передачи соответствует динамике изменения ситуации; *устойчивость* – свойство данных соответствовать состоянию объекта и сохранять ценность для потребителя с течением времени. Временные свойства данных определяются, в основном, архитектурой системы, а также возможностями информационной среды, в которой осуществляется обмен данными между системой и внешними объектами.

*Ошибки во входных сообщениях* – эти ошибки вызваны нарушениями целостности потока сообщений. Поток сообщений определяется как упорядоченный набор сообщений и является уникальным для каждого интервала времени и получателя в сети.

Фактически принимаемый поток сообщений может отличаться от ожидаемого по ряду причин:

- принято большее число сообщений, чем ожидалось. В этом случае имеет место повторение одного или нескольких сообщений, или же в канал связи было введено постороннее сообщение извне. Ошибка: *повторение сообщения, ввод сообщения.*

- принято меньшее число сообщений, чем ожидалось. В этом случае имеет место пропадание одного или нескольких сообщений. Ошибка: *пропадание сообщения.*

- число принятых сообщений равно числу ожидаемых сообщений. В этом случае существует несколько возможностей:

- все сообщения в потоке правильные по содержанию и своевременны по доставке, но имело место изменение порядка следования сообщений;

- время доставки получателю сообщения в потоке оказалось больше номинального, имело место задержка сообщения;

- сообщение было изменено, имело место искажение сообщения;

- получатель считает, что отправитель сообщения не тот, который должен быть в действительности: имело место имитация сообщения. Основные ошибки следующие: *изменение порядка следования сообщений, задержка, искажение и имитация.*

Приведенные основные ошибки не являются взаимно-исключающими.

д) *Систематические ошибки и отказы по общей причине.* Рассмотренные выше причины отказов носят, в основном, случайный характер, т.е. предполагается, что отказы любого компонента структуры ИС, участвующие в выполнении данного процесса, возникают случайно по времени и приводят к случайной ошибке процесса.

Вместе с тем, возможны возмущающие воздействия на каждый информационный процесс, вызванные так называемыми систематическими отказами компонентов структуры ИС. Причины этих отказов в следующем:

- ошибки в проектировании компонентов структуры ИС;
- ошибки в обеспечении климатических режимов работы компонентов;
- ошибки в обеспечении их помехозащищенности;
- ошибки обслуживающего персонала и др.

Эти и другие систематические отказы компонентов структуры ИС являются источниками систематических ошибок в выполнении информационных процессов.

В информационной системе выполняется множество функций, причем некоторые из них с помощью общих функциональных блоков. Ошибки и функциональные отказы этих блоков могут быть общей причиной того, что несколько информационных процессов выполнены неверно. Такие ошибки (или отказы функциональных блоков) называются *ошибками или функциональными отказами по общей причине* (ООП).

е) *Функциональные отказы вследствие атак на информационную систему.*

Атака на информацию – что это такое? Дать определение этому действию сложно поскольку информация, особенно в элек-

тронном виде, представлена сотнями различных видов. Информацией можно считать и отдельный файл, и базу данных, и одну запись в ней, и целиком программный комплекс. И все эти объекты могут подвергнуться атакам со стороны некоторых лиц, которые действуют как злоумышленники.

Атака – это совокупность действий злоумышленника, приводящих к нарушению информационной безопасности ИС. Результатом успешной атаки может стать нарушение функциональной надежности, заключающейся в нарушении целостности или доступности информации. В качестве целей атаки могут рассматриваться серверы, рабочие станции пользователей или коммуникационное оборудование ИС.

Информационные атаки могут быть классифицированы как внешние или внутренние. Внешние сетевые атаки проводятся извне ИС, т.е. с тех узлов, которые не входят в состав системы. Примером внешней сетевой атаки является вторжение нарушителя в локальную вычислительную сеть ИС из сети Интернет. Внутренние атаки проводятся изнутри ИС с одного из ее серверов или рабочих станций. В качестве примера такой атаки можно привести действия обиженного сотрудника компании, направленные на нарушение целостности информации.

#### **5.4 Показатели функциональной надежности информационной системы**

Информационные системы активно развиваются. Примерно с такой же активностью различные исследователи предлагают новые показатели надежности и эффективности функционирования этих систем. Но прежде, чем компилировать существующие показатели или предлагать систему показателей функциональной надежности ИС, следует вначале выработать требования к этой системе показателей [111].

Система показателей функциональной надежности, как и любая система показателей качества технических систем, должна отвечать ряду требований:

1. Каждый показатель функциональной надежности должен быть измерим.

2. Показатель функциональной надежности должен допускать возможность экспериментальной проверки во время испытаний или в процессе эксплуатации информационной системы.

3. Система показателей должна отражать дискретность случайных процессов возникновения сбойных и внешних ошибок, проявления ошибок собственных программных средств, а также заявок на выполнение информационных процессов и др.

4. Система показателей должна быть удобной в практическом применении, наглядной и сравнимой.

5. Каждый показатель должен быть простым в физическом смысле и естественным с точки зрения оценки выполняемых в информационной системе функций.

6. Показатели функциональной надежности системы должны иметь единую количественную меру расчета надежности выполнения процессов на всех уровнях их иерархии.

7. Система показателей должна быть достаточно гибкой, чтобы обеспечивать свертывание модулей расчета от низшего к высшему уровню.

8. Система показателей должна обеспечивать комплексную оценку функциональной надежности информационной системы в условиях проявления всех видов угроз.

9. Система показателей должна содержать как единичные, так и комплексные показатели.

Исходя из указанных требований предлагаются [111] следующие показатели функциональной надежности информационной системы.

#### 5.4.1 Единичные показатели

Единичные показатели - это показатели функциональной надежности ИС относительно каждой отдельной функции. К ним относятся:

1. *Вероятность безошибочного выполнения процесса*

$$P_i = \prod_{j=0}^{m_i-1} P_{\text{III}j}, \quad i=1,2,\dots, n; \quad m_i \in M, \quad (5.1)$$

где:  $m_i$  – количество уровней иерархии при выполнении  $i$ -го процесса;

$P_{IIIj}$  – вероятность безошибочного выполнения процесса  $j$ -го уровня в составе данного процесса;

$n$  – количество процессов, выполняемых в ИС в текущий момент времени;

$M$  – конечное множество возможных процессов, выполняемых в ИС.

### 2. Вероятность ошибки в выполнении процесса

Это вероятность того, что будет выполнен с ошибкой хотя бы один составной процесс любого уровня иерархии, т.е

$$G_i = 1 - P_i = 1 - \prod_{j=0}^{m_i-1} P_{IIIj} \quad (5.2)$$

### 3. Среднее время простоя системы при обслуживании одного информационного процесса

Источниками простоя ИС относительно отдельного информационного процесса являются следующие причины:

- задержки заявки в очереди на выполнение процесса –  $T_{i1}$ ;
- задержки в обнаружении ошибки (включая функциональные отказы) –  $T_{i2}$ ;
- временные затраты на устранение ошибки и восстановление информационного процесса –  $T_{i3}$ ;
- временные затраты на контроль безошибочности выполнения процесса после его восстановления –  $T_{i4}$ .

Таким образом, среднее время простоя в техническом обслуживании  $i$ -го информационного процесса рассчитывается путем суммирования четырех составляющих:

$$T_{IIIP} = \sum_{j=1}^4 T_{ij} \quad (5.3)$$

### 4. Коэффициент частичной функциональной готовности системы

Под частичной функциональной готовностью ИС понимается ее способность в произвольный момент времени безошибочно выполнять определенный информационный процесс. Если в пределе система выполняет только один информационный процесс, то коэффициент частичной функциональной готовности будет равен коэффициенту полной функциональной готовности или - коэффициент функциональной готовности. Или:

$$K_{i\Phi\Gamma} = \frac{T_i}{T_i + T_{IIIP}} \quad (5.4)$$

### 5.4.2 Комплексные показатели

Комплексные показатели предназначены для оценки функциональной готовности системы при выполнении всех предусмотренных функций путем реализации соответствующих информационных процессов.

#### 5. Средняя вероятность безошибочного выполнения информационных процессов

Каждый информационный процесс различается частотой исполнения, которая зависит от интенсивности поступления заявок на его выполнение  $\Omega_i$ , весом (значимостью, вкладом в эффективность работы системы) этого процесса, и его функциональной надежностью. Обозначим вес как  $\omega_i$ . Коэффициенты нормирования частоты исполнения процесса и его значимости при условии выполнения в системе  $M$  процессов определяются как

$$k_{i1} = \frac{\Omega_i}{\sum_{i=1}^M \Omega_i} \text{ и } k_{i2} = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^M \omega_i}.$$

Следовательно, средняя вероятность безошибочного выполнения процесса есть средневзвешенная вероятность, определяемая с помощью произведения коэффициентов  $k_{i1}$  и  $k_{i2}$ , т.е.

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^M k_{i1} k_{i2} P_i = \sum_{i=1}^M k_i P_i. \quad (5.5)$$

#### 6. Коэффициент функциональной готовности системы

При условии независимости информационных процессов коэффициент функциональной готовности системы определяется следующим образом:

$$K_{\Phi\Gamma} = \sum_{j=0}^M \prod_{i=1}^j K_{i\Phi\Gamma} \prod_{i=1}^{M-j} (1 - K_{i\Phi\Gamma}) (1 - \sum_{i=1}^{M-j} \omega_i), \quad (5.6)$$

где:  $\prod_{i=1}^0 (1 - K_{i\Phi\Gamma}) = 1$ ;  $\prod_{i=1}^0 K_{i\Phi\Gamma} = 1$ ;  $\sum_{i=1}^0 \omega_i = 0$ ;  $\sum_{i=1}^M \omega_i = 1$ .

#### 7. Средняя наработка на ошибку системы при выполнении информационных процессов

Известны следующие показатели: коэффициент функциональной готовности (5.6) и среднее время простоя системы (5.3). Следовательно, формульное выражение неизвестного показателя

среднего времени до ошибки системы  $T_C$  можно найти с помощью формулы коэффициента готовности

$$K_{ФГ} = \frac{T_C}{T_C + T_{ПР}}. \text{ Отсюда } T_C = \frac{T_{ПР} K_{ФГ}}{1 - K_{ФГ}}.$$

В [111] представлены и некоторые другие показатели функциональной надежности информационной системы и методы расчета, но на них останавливаться не будем. Целью изложения данных материалов было общее ознакомление с понятием функциональной надежности информационной системы. Тем, кто желает подробнее ознакомиться с данной проблемой следует обратиться к первоисточникам.

Любая реальная техническая система является продуктом разработки и производства, который удовлетворяет (или будет удовлетворять) определенные потребности человека в процессе его эксплуатации.

Подводя итоги всего изложенного выше, можно сформулировать следующие рекомендации по обеспечению требуемой надежности технических систем:

1. Вопросы надежности технического объекта любой сложности должны решаться на всех этапах его жизненного цикла: от начальной стадии выполнения проектно-конструкторской разработки до заключительной стадии эксплуатации. Выполнение работ по обеспечению требуемой надежности ИТС опирается на широкий круг вопросов теории и практики создания и эксплуатации системы.

Основные условия обеспечения надежности состоят в строгом выполнении правила, называемого триадой надежности: надежность закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении и поддерживается в эксплуатации. Без строгого выполнения этого правила нельзя решить задачу создания высоконадежных изделий и систем путем компенсации недоработок предыдущего этапа на последующем.

2. Следует иметь в виду, что если в процессе проектирования (разработки) должным образом не решены все вопросы создания системы с заданным уровнем надежности (не заложены конструктивные и схемные решения, обеспечивающие безотказное функционирование всех элементов системы), то эти недостатки часто невозможно устранить в процессе производства. Последствия таких недостатков приведут к низкой надежности системы на стадии эксплуатации.

3. Включаемые в ТТЗ (ТЗ) требования к надежности ИТС должны соответствовать современному уровню развития науки и техники и не уступать аналогичным требованиям, предъявляемым к лучшим современным отечественным и зарубежным аналогам. Задаваемые в ТТЗ (ТЗ) на ИТС требования не должны ограничивать разработчика системы в поиске и реализации

наиболее эффективных технических, технико-экономических и других решений.

Выбор показателей надежности зависит в основном от общего назначения системы, но на него может влиять также и степень важности или ответственности функций, выполняемых системой. Выбирая показатели надежности для ИТС, следует иметь ввиду некоторые простые и очевидные рекомендации:

1) общее число показателей надежности должно быть по возможности минимальным;

2) следует избегать сложных комплексных показателей, получаемых в виде каких-либо сверток критериев (например, взвешиванием с различными «весами»);

3) выбранные показатели надежности должны иметь простой физический смысл;

4) выбранные показатели надежности должны допускать возможность проведения подтверждающих (проверочных) оценок на этапе проектирования (аналитических расчетов или имитационного моделирования);

5) выбранные показатели надежности должны допускать возможность статистической (опытной) оценки при поведении специальных испытаний или по результатам эксплуатации;

6) выбранные показатели должны допускать задание норм надежности в количественной форме.

4. На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования (предсказания) ожидаемой надежности проектируемой системы. Такое прогнозирование необходимо для обоснования предполагаемого проекта, а также для решения организационно-технических вопросов:

- выбора оптимального варианта структурного построения системы;

- определения способов резервирования;

- выбора глубины и методов контроля (диагностики);

- определения номенклатуры и количества запасных элементов;

- определения периодичности технического обслуживания.

5. На стадии разработки для сложных технических систем возможны два пути повышения надежности: повышение надежности элементов и изменение структуры системы.

Эффект увеличения надежности технической системы, достигаемый повышением надежности элементов, тем значительнее, чем сложнее структура системы и чем больше в ней элементов. Часто, однако, использование методов повышения надежности элементов не дает значительного эффекта или неосуществимо по различным причинам. В этих случаях повышение надежности технической системы возможно только в результате изменения ее структурной схемы.

Из различных методов повышения структурной надежности сложной системы наиболее эффективным является использование различных способов резервирования (т.е. метод повышения надежности ТС за счет введения избыточности).

При создании систем аналогичных ИТС, из всех видов резервирования, наиболее широкое применение нашел метод структурного резервирования

#### 6. О надежности программного обеспечения

На этапе проектирования и создания ИТС, обеспечение надежности программного обеспечения, закладывается путем:

- выбора ОПО и СПО прошедшего апробацию в других системах и показавшего высокие показатели надежности;
- тщательного проведения комплексной отладки и опытной эксплуатации, вновь разработанного СПО.

На этапе эксплуатации, в процессе проведения работ по техническому обслуживанию аппаратно-программных средств, проводится тестирование общего и специального программного обеспечения (ОПО и СПО) с целью выявления и анализа причин возникающих сбоев в процессе их применения в составе систем и обоснования мер по их устранению. К общим задачам проведения тестирования ОПО и СПО относятся проверки того, что:

- система работает в соответствии с определенными временами отклика клиента и сервера;
- наиболее критические последовательности действий с системой конечного пользователя выполняются верно;
- изменения в базах данных не оказывают неблагоприятного влияния на существующие программные модули;
- работа пользовательских интерфейсов осуществляется корректно.

Проведение тестирования программных средств должно осуществляться таким образом, чтобы не только обнаруживать, но и предупреждать дефекты в их составе.

7. В перечне свойств технических средств, определяющих их надежность, важная роль наряду с другими свойствами отводится их ремонтпригодности как приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

В качестве показателя ремонтпригодности обычно рассматривается среднее время восстановления, которое определяется временем обнаружения и устранения причины отказа, и временем проверки работоспособности отремонтированного оборудования. При этом время обнаружения факта и причины отказа зависит от наличия и *степени охвата оборудования средствами диагностики* и от квалификации обслуживающего персонала.

Возможная нехватка запасных частей увеличивает продолжительность замены отказавшего элемента исправным запасным, что может существенно сказаться на времени восстановления ИТС. В этой связи анализ вопросов достаточности ЗИП для технических средств в составе ИТС и обоснование направлений по обеспечению надежности за счет *оптимизации номенклатуры ЗИП* представляется важным в деле повышения их надежности.

8. На этапе испытаний и эксплуатации расчеты надежности проводятся для оценки количественных показателей надежности. Такие расчеты носят, как правило, характер констатации. Результаты расчетов в этом случае показывают, какой надежностью обладали объекты, прошедшие испытания или используемые в условиях эксплуатации. На основании этих расчетов разрабатываются меры по повышению надежности, определяются слабые места объекта, даются оценки его надежности и влияния на нее отдельных факторов.

9. Важное значение в обеспечении функционирования и поддержания работоспособности ИТС имеет качественная организация их эксплуатации, в ходе которой должны быть организованы и проводиться следующие мероприятия:

- выполнение установленных в технических описаниях и инструкциях по эксплуатации условий и правил применения технических и программных средств;
- обеспечение необходимого качества и перечня проводимых работ по техническому обслуживанию;
- проведение диагностики технического состояния ключевых элементов технических средств с прогнозированием возможности их эксплуатации до следующего технического обслуживания;
- своевременное проведение анализа и устранения причин выявленных дефектов и неисправностей;
- анализ и обобщение опыта использования технических и программных средств с выявлением причин наиболее частых неисправностей;
- поддержание наличия необходимой номенклатуры и количества запасных частей, использование измерительной и проверочной аппаратуры и программных средств диагностики технических и программных средств;
- повышение квалификации обслуживающего персонала.

10. Анализ задач технического обслуживания и ремонта позволяет выделить следующие направления работ по обеспечению надежности функционирования аппаратно-программных средств ИТС:

1) *Обеспечение работоспособности аппаратно-программных средств.* При этом необходимо понимать, что данная задача состоит в контроле работоспособности АПС и их элементов. При решении данной задачи необходимо использовать диагностику, анализ и прогнозирование состояния АПС, программного обеспечения;

2) *Обеспечение работоспособности операционных систем и прикладного программного обеспечения.* Данная задача состоит в:

- правильном подборе драйверов, решении проблем их взаимодействия друг с другом и другим аппаратно – программным обеспечением;
- необходимости контролировать работоспособность установленного программного обеспечения.

11. Для создания изделий, удовлетворяющих заданным требованиям надежности, составляют программу обеспечения

надежности — документ, регламентирующий совокупность взаимосвязанных требований, организационно-технических мероприятий и правил принятия решений, направленных на достижение указанных целей.

ПОН должна устанавливать цели расчета на каждом этапе видов работ, применяемые при расчете нормативные документы и методики, сроки выполнения расчета и исполнителей, порядок оформления, представления и контроля результатов расчета.

Основной задачей разработки ПОН является определение обоснованного перечня работ и мероприятий, проводимых на всех стадиях создания и эксплуатации системы и ее изделий с целью достижения требуемого уровня надежности.

## Литература.

1. *Капитанов В.А., Медведев А.И.* Теория надёжности сложных систем. М.: Физматлит, 2010. – 608 с.
2. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надёжности. М.: Наука, 1965. – 524 с.
3. *Козлов Б.А., Ушаков И.А.* Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. Радио, 1975. – 462 с.
4. *Мизин И.А., Богатырев В.А., Кулешов А.П.* Сети коммутации пакетов / Под ред. В.С. Семенихина. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с., ил.
5. Надёжность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. – 608 с., ил.
6. *Ушаков И.А.* Надёжность: прошлое, настоящее и будущее. Пленарный доклад на открытии конференции «Математические методы в надёжности» (MMR-2000), Бордо, Франция, 2000. – Reliability: Theory & Applications No.1, January 2006.
7. *Северцев Н.А.* Статистическая теория подобия в задачах безопасности и надёжности динамических систем. Монография. – М.: Радиотехника, 2016. – 400 с.: ил.
8. *К.Капур, Л.Ламберсон* Надёжность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. – 608 с.
9. *Богатырев В.А.* Метод ускорения процедуры оценки показателей надёжности сложных систем. – Известия АН СССР. Техническая кибернетика, 1978, №1.
10. *Богатырев В.А.* К расчету надёжности сети связи по совокупности путей.- Электросвязь, 1981, №2, с.23-26.
11. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Математическая теория надёжности: Пер. с англ./Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Сов. Радио, 1969. – 488 с.
12. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Статистическая теория надёжности и испытания на безотказность: Пер. с англ./Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Наука, 1985.
13. *Вальд А.* Последовательный анализ: Пер. с англ. – М.: Физматгиз, 1960.
14. *Кокс Д., Смит В.* Теория восстановления: Пер. с англ./Под ред. Ю.К. Беляева. - М.: Сов. радио, 1967.
15. Теория надёжности и массовое обслуживание/ Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Наука, 1969.
16. *Ушаков И.А., Фишбейн Ф.И.* Методы оценки надёжности по результатам испытаний. – М.: Знание, 1973.
17. *Фишбейн Ф.И.* Методы оценки надёжности по результатам испытаний. – М.: Знание, 1973.

18. *Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А.* Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы. – М.: Сов.радио, 1975.
19. *Бенинг В.Е., Королев В.Ю., Соколов И.А., Шоргин С.Я.* Рандомизированные модели и методы теории надежности информационных и технических систем. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. – 256 с.
20. *Королев В.Ю., Соколов И.А.* Основы математической теории надежности модифицируемых систем. – М.: ИПИ РАН, 2006. 101с.
21. *Синицын И. Н., Шаламов А. С.* Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки. – М.: Торус Пресс, 2012.
22. *Соколов И.А., Полянский А.В., Киселёв Э.В., Синицын И.Н., Темнов А.И.* Проблемы построения информационно-телекоммуникационных систем интегрированного типа // Системы и средства информатики. Вып.11. - М.: Наука, 2001. - с. 5-23.
23. *Синицын И.Н., Шаламов А.С.* Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2012. – 624 с.: ил.
24. *Синицын И.Н., Шаламов А.С., Кулешов А.А.* Нелинейное корреляционное моделирование и анализ надежности систем послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы и средства информатики, 2013. – М.: ИПИ РАН, 2013. Т.23. №1. с. 80-104.
25. *Синицын И.Н., Шаламов А.С., Сергеев И.В., Корепанов Э.Р., Белоусов В.В., Гумникова Т.С., Шоргин В.С., Агафонов Е.С.* Методы и средства оптимального планирования параметров процессов в системах послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы и средства информатики, 2014. – М.: ИПИ РАН, 2014. №2. с. 4–22.
26. *Синицын И.Н., Шаламов А.С., Сергеев И.В., Корепанов Э.Р., Белоусов В.В., Гумникова Т.С., Шоргин В.С., Агафонов Е.С.* Методы и средства оптимального планирования параметров процессов в системах послепродажного обслуживания изделий наукоемкой продукции // Системы и средства информатики, 2014. – М.: ИПИ РАН, 2014. №2. с. 4–22.
27. *Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Ионенков Ю.С.* Методический подход к обоснованию требований по надёжности информационно-телекоммуникационных сетей // Системы и средства информатики. Вып.20, №3.- М.: ИПИ РАН, 2010. - с. 157-173.
28. *Зацаринный А. А., Гаранин А. И., Козлов С. В.* Некоторые методические подходы к оценке надежности элементов информационно-телекоммуникационных сетей // Системы и средства информатики. Вып. 21. № 2. – М.: ИПИ РАН, 2011. с. 21–33.
29. *Зацаринный А. А., Гаранин А. И., Козлов С. В., Кондрашев В. А.* Особенности расчета комплектов ЗИП в автоматизированных информационных системах в защищенном исполнении // Системы и средства информатики, 2013. Т. 23. № 1. с. 113–132.

30. *Зацаринный А.А.* Методический подход к обоснованию требований по надежности трактов в сетях передачи данных с учетом приоритетности сообщений. Техника средств связи, вып.1, ВНИИ "Эталон".1995г. с. 3-11.
31. *Зацаринный А.А.* Методический подход к оценке надежности направлений связи в многофункциональных территориальных сетях с учетом приоритетности сообщений. - Научно-технический сборник «Телекоммуникационные технологии», г.Санкт-Петербург, "Рубин", 1998г., с. 8-12.
32. *Зацаринный А.А.* Научно-методические аспекты оценки надежности информационно-телекоммуникационных сетей // Сборник трудов Китайско-российского форума инженерных технологий (9-10 октября 2015 г., г. Ханчжоу, провинция Чженцзян, КНР) – с. 55-73.
33. *Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С., Козлов С.В.* Некоторые вопросы проектирования информационно-телекоммуникационных систем/ по ред. А.А. Зацаринного. – М.: ИПИ РАН, 2010. 118 с.
34. *Гаранин А.И., Скворцов В.С., Седельникова С.А., Скворцов О.В.* Контроль уровня надежности систем связи. Электро-связь, №12, 1991.
35. *Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Хохлов В.Е., Якунин А.В., Бувина Г.В.* Научно-методические аспекты проведения испытаний опытного участка ЕИТКС. Системы и средства информатики: Специальный выпуск. Научно-технические вопросы построения и развития единой информационно-телекоммуникационной системы органов внутренних дел. -М.; ИПИ РАН, 2009
36. *Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Козлов С.В.* Организационно-методические подходы к проведению испытаний системы ситуационных центров различного назначения. Методы построения и технологии функционирования ситуационных центров. / Сборник статей под редакцией доктора технических наук А.А.Зацаринного - М.: ИПИ РАН, 2011. -с. 174-184
37. *Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Козлов С.В.* Особенности формирования номенклатуры и количества компонентов ЗИП в автоматизированных информационных системах в защищенном исполнении. Системы и средства информатики. 2014. Т. 24. № 3 - с. 144-154.
38. *Зацаринный А.А., Буроменский Н.Г., Гаранин А.И.* Методические вопросы формирования системы технического обеспечения информационно-телекоммуникационных сетей. Системы и средства информатики. 2013. Т. 23. № 2 - с. 154-169.
39. *Зацаринный А.А., Буроменский Н.Г., Гаранин А.И.* Живучесть радиоэлектронных систем и ее количественные показатели// «Межотраслевая информационная служба», ФГУП «ВИМИ», 2015, №3, с.68-73.
40. *Буроменский Н.Г.* Системный подход к исследованию живучести информационно-телекоммуникационной сети. М.: Межотраслевая информационная служба, №4, 2015.

41. Буроменский Н.Г. Методические основы построения модели «поражающее действие-стойкость». М.: «Вопросы атомной науки и техники». 2012.
42. Буроменский Н.Г. Методы оценки живучести военной техники связи. Вып. 4-5, НТС «Вопросы оборонной техники», 2015.
43. Зацаринный А.А., Буроменский Н.Г., Гаранин А.И. Метод формирования системы показателей живучести информационно-телекоммуникационных сетей. – «Системы и средства информатики», 2014, т. 24, вып. 1, с. 141-155.
44. Буроменский Н.Г. Методы оценки живучести информационно-телекоммуникационных сетей связи. «Качество и жизнь», 2015, №1(5), с.53-61.
45. Буроменский Н.Г. Синтез радиоэлектронных средств требуемой живучести. – «Специальная техника», 2013, № 6, с.11-14.
46. Буроменский Н.Г. О соотношении надежности и живучести системы и военной техники связи. 16 ЦНИИИ МО РФ, НТС, 2015, № 1, Том II, с.193-204.
47. Кудашев Г.Н., Буроменский Н.Г. Режим и длительность испытаний аппаратуры на воздействие повышенной влажности. Журнал «Электросвязь» №8, 1983.
48. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.
49. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
50. ГОСТ 24.701-86 Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения.
51. ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.
52. ГОСТ 27883-88. Средства измерения и управления технологическими процессами. Надежность. Общие требования и методы испытаний
53. ГОСТ РВ 20.39.303-98 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования к надежности. Состав и порядок задания
54. ГОСТ В 15.705-86 СРПП ВТ. Запасные части, инструменты и принадлежности. Основные положения.
55. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения.
56. ГОСТ 13377-75 Надежность в технике. Термины и определения.
57. ГОСТ 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки.
58. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. Учеб. пособие для втузов. – М.: «Высшая школа», 1976. – 408 с.

59. ГОСТ Р 51901.14-2005 (МЭК 61078:1991) Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности.
60. *Шкляр В.Н.* Надежность систем управления: учебное пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического института, 2009. – 126 с.
61. Надежность и живучесть систем связи. Под редакцией Дудника Б.Я. - М.: Радио и связь, 1984.
62. *Рябинин И. А., Черкесов Г. Н.* Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
63. *Конесев С.Г., Хазиева Р.Т.* Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем// Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: [www.science-education.ru/121-17558](http://www.science-education.ru/121-17558).
64. *Шубин Р.А.* Надёжность технических систем и техногенный риск : учебное пособие. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
65. Надежность технических систем. Методические указания и контрольные задания по курсу «Основы теории надежности». Сост. Е.В.Сугак.- Красноярск: Сиб.аэрокосм.академия, 2001. – 42с.
66. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
67. ГОСТ 28470-90 Система технического обслуживания и ремонта технических средств вычислительной техники и информатики
68. *Коваленко И.Н.* Исследования по анализу надежности сложных систем / Отв. ред. В.С.Королюк.- Киев: Наук.думка, 1975.- 210 с.
69. *Абчук В.А.* и др. Справочник по исследованию операций / Под общ. ред. Ф.А.Матвейчука – М.: Воениздат, 1979. -368с. с ил.
70. ГОСТ 27.410-87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.
71. ГОСТ 34.602-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.
72. ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
73. ГОСТ Р 27.003-2011 Надежность в технике. Управление надежностью. Руководство по заданию технических требований по надежности.
74. ГОСТ Р 51583-2000 Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения.
75. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности.
76. ГОСТ Р 51583-2000 Государственный стандарт Российской Федерации. Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения.

77. Будзко В.И., Беленков В.Г., Кейер П.А. К выбору варианта построения катастрофоустойчивых информационно-телекоммуникационных систем // Системы и средства информатики. Вып.13.- М.: Наука, 2003. - с.16-40.
78. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3-х томах. Том 3.- Мультисервисные сети/ Под. ред. В.П. Шувалова.- М.: Горячая линия–Телеком, 2005.- 592 с.
79. Сети следующего поколения NGN/ под ред. А.В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2008.-424 с.
80. Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С., Кондрашев В.А. Некоторые подходы к выбору системотехнических решений построения информационно-телекоммуникационных систем. // Системы и средства информатики. Вып.16.- М.: Наука, 2006. с. 65-71.
81. Шмалько А.В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения. – М.: Эко-Трендз, 2001.- 282 с.
82. Ямпурин Н.П., Баранова А.В. Основы надежности электронных средств: учеб. пособие по ред. Н.П.Ямпурин. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 240 с.
83. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. М., 2002 г. – 113 с.
84. ISO 9126:1991. Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению. 186 с.
85. Полонников Р.И., Никандров А.В. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения. – СПб.: Политехника, 1992. -78 с.: ил.
86. Романюк С. Г. Оценка надежности программного обеспечения. - «Открытые системы» № 04, 1994, [osp.ru/os/1994/04/178540](http://osp.ru/os/1994/04/178540).
87. Василенко Н.В., Макаров В.А. Модели оценки надежности программного обеспечения. – Вестник Новгородского государственного университета № 28, 2004, [novsu.ru/file/24322](http://novsu.ru/file/24322).
88. Г. Майерс. Надежность программного обеспечения. Москва, Мир, 1980.
89. ГОСТ 28195-89 Оценка качества программных средств. Общие положения.
90. Васильев М.В. Техническая диагностика средств вычислительной техники: учебное пособие. – Астрахань: Астраханский колледж вычислительной техники, 2007. – 137 с.
91. Платонов Ю.М., Уткин.Ю.Г. Диагностика, ремонт и профилактика персональных компьютеров. М., ”Горячая линия-Телеком” ,2002. – 51 с.

92. Браудо С.И. Сохранение надежности радиолокационной аппаратуры. Настройка, контроль параметров, предупреждение и диагностика отказов. – М.: Советское радио, 1965. – 470 с.
93. ГОСТ РВ 27.3.03-2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП.
94. ГОСТ РВ 27.1.03-2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП.
95. РДВ 319.01.19-98. Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП.
96. 07.СИНЦ.00003-01. Система расчета комплектов запасных частей, изделий и принадлежностей. АСОНИКА-К-ЗИП. Спецификация.
97. ГОСТ РВ 27.1.02-2005. Надежность военной техники. Программа обеспечения надежности. Общие требования.
98. ГОСТ Р 51901.6-2005 (МЭК 61014:2003) Менеджмент риска. Программа повышения надежности.
99. ГОСТ 34.603-92 Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем.
100. Зацаринный А.А., Гаранин А.И., Козлов С.В. Стенд главного конструктора - организационно-техническая основа разработки крупномасштабных информационно-телекоммуникационных систем // Системы и средства информатики. Вып.20, №3.- М.: ИПИ РАН, 2010. - с.174-190.
101. ГОСТ Р 51901.16-2005 (МЭК 61164:1995) Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки.
102. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонт техники. Термины и определения.
102. ГОСТ 15.601-98. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое обслуживание и ремонт техники. Основные положения
104. ОАО «Ория». Комплексная утилизация электронного и электробытового оборудования с извлечением драгоценных металлов. E-mail: oriya.ojsc@gmail.com
105. Стандарт ANSI TIA/EIA-942 (TIA-942) «Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers», редакция 7.0, февраль 2005 (Русская версия, SP-3-0092).
106. Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С. Некоторые вопросы проектирования информационно-телекоммуникационных сетей.// Системы и средства информатики. Доп. выпуск - М.: ИПИ РАН, 2008. с. 5-20.
107. Александр Кругляк. ЦОД – от проекта до эксплуатации. Часть 1 – «Обоснование создания и составление ТТЗ». [www.DCNT.ru](http://www.DCNT.ru), <http://dcnt.ru/?p=92081>.
108. BS EN 50173-6:2013 Information technology. Generic cabling systems. Distributed building services.

109. Олег Василик. Центры обработки данных: стандарты в действии. <http://citforum.ru/gazeta/27/>. 14.12.2006.
110. СН 512-78 (2000) Строительные нормы. Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин.
111. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. – Ульяновск: Областная типография «Печатный двор», 2012. – 296 с., ил.
112. Технический отчет ISO/IEC TR 19760. Первое издание 2003-11-15 Проектирование систем – Руководство по применению ISO/IEC TR 15288 (Процессы жизненного цикла системы).
113. ГОСТ 24.701-86. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения.
114. Avizienis A., Laprie J-C. and Ranbell B. Dependability of computer systems/ Fundamental concepts, terminology and examples. Technical report, LAAS-CNRS, October, 2000.
115. Rus I., Komi-Servio S., Costa P. Computer program with insurance of high reliability. Technical report, IFIP WG-10.4, March, 2008.
116. Котик М.А. О преднамеренных и непреднамеренных ошибках человека-оператора // Психологический журнал, № 5, 1993.

## Перечень принятых сокращений

АПС	- Аппаратно-программные средства
АС	- Автоматизированная система
АС ЗИ	- Автоматизированная система в защищенном исполнении
АСУ	- Автоматизированная система управления
ВС	- Вычислительная система
ГКСА	- Главный комплекс средств автоматизации
ДГУ	- Дизель-генераторная установка
ЖЦПО	- Жизненный цикл программного обеспечения
ИБП	- Источник бесперебойного питания
ИС	- Информационная система
ИТС	- Информационно-телекоммуникационная сеть
ИТС ЗИ	- Информационно-телекоммуникационная система в защищенном исполнении
ЗИП	- Запасные части, инструменты и принадлежности
ЗЧ	- Запасные части
КИА	- Контрольно-измерительная аппаратура
КТС	- Комплекс технических средств
КСА	- Комплекс средств автоматизации
ЛВС	- Локальная вычислительная сеть
НЖМД	- Накопитель на жестком магнитном диске
НТиКД	- Нормативно-техническая и конструкторская документация
ОКР	- Опытно-конструкторская работа
ООП	- Функциональный отказ по общей причине
ОПО	- Общее программное обеспечение
ОС	- Операционная система
ПД	- Показатель достаточности ЗИП
ПЗУ	- Постоянное запоминающее устройство
ПК	- Персональный компьютер
ПН	- Показатель надежности
ПО	- Программное обеспечение
ПОН	- Программа обеспечения надежности
РС	- Радиоэлектронные средства
СВТ	- Средства вычислительной техники
СГК	- Стенд главного конструктора
СИ	- Специальные исследования
СП	- Специальная проверка
СПО	- Специальное программное обеспечение
СТОИР	- Система технического обслуживания и ремонта
СЧ	- Составная часть
ТТЗ	- Тактико-техническое задание
ТКС	- Телекоммуникационная сеть
ТО	- Техническое обслуживание
ТОиР	- Техническое обслуживание и ремонт
ТС	- Техническая система
ТЭЗ	- Типовой элемент замены
УС	- Узел связи
ФИ	- Функциональное изделие
ФП	- Функциональная подсистема
ЦОД	- Центр обработки данных
ЦУС	- Центр текущего управления сетью

## Приложение 1.

## Значения хи-квадрат распределения

$2n \setminus \varepsilon$	<b>0.995</b>	<b>0.990</b>	<b>0.975</b>	<b>0.950</b>	<b>0.900</b>	<b>0.750</b>	<b>0.500</b>
1	0.00004	0.00016	0.00098	0.00393	0.01579	0.10153	0.45494
2	0.01003	0.02010	0.05064	0.10259	0.21072	0.57536	1.38629
3	0.07172	0.11483	0.21580	0.35185	0.58437	1.21253	2.36597
4	0.20699	0.29711	0.48442	0.71072	1.06362	1.92256	3.35669
5	0.41174	0.55430	0.83121	1.14548	1.61031	2.67460	4.35146
6	0.67573	0.87209	1.23734	1.63538	2.20413	3.45460	5.34812
7	0.98926	1.23904	1.68987	2.16735	2.83311	4.25485	6.34581
8	1.34441	1.64650	2.17973	2.73264	3.48954	5.07064	7.34412
9	1.73493	2.08790	2.70039	3.32511	4.16816	5.89883	8.34283
10	2.15586	2.55821	3.24697	3.94030	4.86518	6.73720	9.34182
11	2.60322	3.05348	3.81575	4.57481	5.57778	7.58414	10.34100
12	3.07382	3.57057	4.40379	5.22603	6.30380	8.43842	11.34032
13	3.56503	4.10692	5.00875	5.89186	7.04150	9.29907	12.33976
14	4.07467	4.66043	5.62873	6.57063	7.78953	10.16531	13.33927
15	4.60092	5.22935	6.26214	7.26094	8.54676	11.03654	14.33886
16	5.14221	5.81221	6.90766	7.96165	9.31224	11.91222	15.33850
17	5.69722	6.40776	7.56419	8.67176	10.08519	12.79193	16.33818
18	6.26480	7.01491	8.23075	9.39046	10.86494	13.67529	17.33790
19	6.84397	7.63273	8.90652	10.11701	11.65091	14.56200	18.33765
20	7.43384	8.26040	9.59078	10.85081	12.44261	15.45177	19.33743
21	8.03365	8.89720	10.28290	11.59131	13.23960	16.34438	20.33723
22	8.64272	9.54249	10.98232	12.33801	14.04149	17.23962	21.33704
23	9.26042	10.19572	11.68855	13.09051	14.84796	18.13730	22.33688
24	9.88623	10.85636	12.40115	13.84843	15.65868	19.03725	23.33673
25	10.51965	11.52398	13.11972	14.61141	16.47341	19.93934	24.33659
26	11.16024	12.19815	13.84390	15.37916	17.29188	20.84343	25.33646
27	11.80759	12.87850	14.57338	16.15140	18.11390	21.74940	26.33634
28	12.46134	13.56471	15.30786	16.92788	18.93924	22.65716	27.33623
29	13.12115	14.25645	16.04707	17.70837	19.76774	23.56659	28.33613
30	13.78672	14.95346	16.79077	18.49266	20.59923	24.47761	29.33603

## Приложение 1 (продолжение)

$2n \setminus \varepsilon$	<b>0.250</b>	<b>0.100</b>	<b>0.050</b>	<b>0.025</b>	<b>0.010</b>	<b>0.005</b>
1	1.32330	2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944
2	2.77259	4.60517	5.99146	7.37776	9.21034	10.59663
3	4.10834	6.25139	7.81473	9.34840	11.34487	12.83816
4	5.38527	7.77944	9.48773	11.14329	13.27670	14.86026
5	6.62568	9.23636	11.07050	12.83250	15.08627	16.74960
6	7.84080	10.64464	12.59159	14.44938	16.81189	18.54758
7	9.03715	12.01704	14.06714	16.01276	18.47531	20.27774
8	10.21885	13.36157	15.50731	17.53455	20.09024	21.95495
9	11.38875	14.68366	16.91898	19.02277	21.66599	23.58935
10	12.54886	15.98718	18.30704	20.48318	23.20925	25.18818
11	13.70069	17.27501	19.67514	21.92005	24.72497	26.75685
12	14.84540	18.54935	21.02607	23.33666	26.21697	28.29952
13	15.98391	19.81193	22.36203	24.73560	27.68825	29.81947
14	17.11693	21.06414	23.68479	26.11895	29.14124	31.31935
15	18.24509	22.30713	24.99579	27.48839	30.57791	32.80132
16	19.36886	23.54183	26.29623	28.84535	31.99993	34.26719
17	20.48868	24.76904	27.58711	30.19101	33.40866	35.71847
18	21.60489	25.98942	28.86930	31.52638	34.80531	37.15645
19	22.71781	27.20357	30.14353	32.85233	36.19087	38.58226
20	23.82769	28.41198	31.41043	34.16961	37.56623	39.99685
21	24.93478	29.61509	32.67057	35.47888	38.93217	41.40106
22	26.03927	30.81328	33.92444	36.78071	40.28936	42.79565
23	27.14134	32.00690	35.17246	38.07563	41.63840	44.18128
24	28.24115	33.19624	36.41503	39.36408	42.97982	45.55851
25	29.33885	34.38159	37.65248	40.64647	44.31410	46.92789
26	30.43457	35.56317	38.88514	41.92317	45.64168	48.28988
27	31.52841	36.74122	40.11327	43.19451	46.96294	49.64492
28	32.62049	37.91592	41.33714	44.46079	48.27824	50.99338
29	33.71091	39.08747	42.55697	45.72229	49.58788	52.33562
30	34.79974	40.25602	43.77297	46.97924	50.89218	53.67196

## Приложение 2

Статистические данные об отказах аппаратно-программных средств объектов ИТС, зафиксированные в 2011-2016 гг.

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
<b>Серверы</b>						
1	Не загружается один из серверов Aquarius Server	Объект 1	2011	Программн.	На месте	Устранено при настройке параметров BIOS
2	На сервере переполнение рабочего пространства на жестких дисках. СПО № 1	Объект 1	2011	Программн.	На месте	Произведена настройка приложений
3	Не работает СПО № 2	Объект 1	2011	Программн.	На месте	Проведена настройка СПО № 2
4	Не работает Exchange server	Объект 1	2011	Программн.	На месте	Проведена настройка Exchange server
5	Не загружаются серверы контроллера домена srv-1-ac-s, srv-2-ac-s	Объект 4	2011	Программн.	На месте	Устранено при настройке параметров BIOS
6	На сервере неисправен жесткий диск	Объект 4	2011	Аппаратный	На месте	Заменён жесткий диск по гарантии
7	Сервер Aquarius Server не загружается	Объект 4	2011	Аппаратный	На месте	Заменен модуль памяти
8	На сервере Aquarius Server загорелась лампочка неисправности	Объект 4	2011	Аппаратный	На месте	Заменен жесткий диск
9	Не работает СПО № 3 в контуре 2	Объект 4	2011	Программн.	На месте	Проведена настройка СПО № 3
10	Не корректно функционирует БД ПКУФ	Объект 4	2011	Программн.	На месте	Произведена настройка БД ПКУФ
11	Не работает программный комплекс СПО № 4	Объект 4	2011	Программн.	На месте	Проведена настройка ПК СПО № 4
12	Повышенный шум в серверной стойке	Объект 7	2011	Аппаратный	На месте	Устранено при техническом обслуживании блока вентиляторов в серверной стойке
13	СПО «Технологическое ПО» работает со сбоями и задержками	Объект 7	2012	Программн.	На месте	Технологическое ПО настроено

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
14	Нестабильная работа СПО серверного оборудования: - 6 отказов СПО № 1; 10 отказов СПО № 3.	Объект 9	2012	Программн.	На месте	Перезагрузка серверов
15	Некорректное функционирование СПО № 2 и СПО № 3	Объект 8	2013	Программн.	На месте	Выявлены и устранены причины некорректного функционирования
16	Серверы	Объект 4	2013	Аппаратный	На месте	Замена батареек RAID
17	Сервер Server Case Intel SC5600BASE 670W	Объект 5	2013	Аппаратный	На месте	Заменен из состава ЗИП
18	Сбои в функционировании СПО № 5 на АРМ в ТОБ	Объект 9	2013	Программн.	На месте	Произведена переустановка SQL-сервера и СПО № 5.
19	Некорректное функционирование СПО № 2 после аварийного отключения электропитания	Объект 5	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка СПО № 2
20	Некорректное функционирование СПО № 2 на сервере s3-srv2	Объект 6	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка СПО № 2
21	Нестабильная работа SQL-сервера (зафиксированы сбои, зависания)	Объект 9	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка ПО
22	Сервер Kraftway Express ED12 № 10832493 - вышел из строя стример (привод для записи информации на магнитную ленту), что привело к невозможности производства резервных копий	Объект 9	2014	Аппаратный	На месте	Произведена разборка стримера и перезаправка магнитной ленты
23	Сервер Kraftway Express ED12 № 0010832494. Неисправен НЖМД SEAGATE ST3300657SS	Объект 9	2014	Аппаратный	На месте	Замена НЖМД
24	Нарушение работоспособности БД SQL-сервера 2005 после аварийного отключения электропитания	Объект 10	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка сервера SRV1

## Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
25	Не работает автоматический запуск процедуры интеграции данных из СПО № 3 на сервере	Объект 10	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка автоматического архивирования базы данных в составе СПО № 1 и механизма удаления устаревших архивных данных
26	На АРМ (АРМ5-1, АРМ3 и АРМ7) при обращении к MICROSOFT WINDOWS NETWORK возникает ошибка – «Сеть отсутствует или недоступна»	Объект 11	2014	Программн.	На месте	Осуществлена настройка связи СПО № 6 с СПО № 2 в части указания в параметрах СПО № 6 сервера имени пользователя и пароля
27	СПО № 1: - некорректная работа с данными по событиям, поступающим из СПО № 3	Объект 11	2014	Программн.	На месте	Уточнена структура БД СПО № 1
28	СПО № 7: - ошибки при выборе в классификаторе шаблона «Пояснительные надписи»; - искажений отдельных условных знаков при нанесении на электронной карте	Объект 11	2014	Программн.	На месте	Проведена перенастройка СПО № 7
29	СПО № 7 - различия в отображении отдельных видов информации в СПО № 5 и СПО № 8	Объект 11	2014	Программн.	На месте	Проведена перенастройка СПО № 5
30	СПО № 6 - некорректный запуск на АРМ7	Объект 11	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка взаимодействия СПО № 2 и СПО № 6
31	Неисправен жесткий диск Seagate 300Gb, 10K SCSI	Объект 4	2015	Аппаратный	Серв. центр	Проведена замена диска
32	Нарушено взаимодействие СПО № 9 с отдельными внешними источниками информации	Объект 5	2015	Программн.	На месте	Разработаны и реализованы уточнения технологических настроек (в связи с изменениями параметров настройки информационных сайтов их владельцами)
33	На четырех серверах	Объект 6	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена багарей для RAID контроллера, Intel AXRRBBU3 Battery Backup

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
34	Не исправен сервер	Объект 7	2015	Аппаратный	На месте	Заменены два жестких диска 500Gb Seagate
35	Неработоспособен сервер № 3	Объект 8	2015	Программн.	На месте	Произведена переустановка и настройка общего и специального ПО, настройка RAID-массива
36	Неработоспособен сервер № 1	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	Заменен НЖМД из состава ЗИП, проведена настройка RAID-массива
37	Нарушено взаимодействие СПО № 9 с отдельными внешними источниками информации	Объект 8	2015	Программн.	На месте	Разработаны и реализованы уточнения технологических настроек (в связи с изменениями параметров настройки информационных сайтов их владельцами)
38	Нарушено взаимодействие СПО № 9 с отдельными внешними источниками информации	Объект 8	2015	Программн.	На месте	Разработаны и реализованы уточнения технологических настроек (в связи с изменениями параметров настройки информационных сайтов их владельцами)
39	Неисправен сервер	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Заменен из состава ЗИП
40	Не работоспособна серверная часть СПО № 9	Объект 10	2015	Программн.	На месте	Проведена настройка СПО
41	Нештатное функционирование видеоконтроллера Creator AV-3012/16	Объект 11	2015	Аппаратный	На месте	Заменен на видеоконтроллер Creator AV-3012/P12-RPS из состава ЗИП
42	Не исправен НЖМД в сервере	Объект 11	2015	Аппаратный	На месте	Заменен НЖМД

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
43	Нарушение взаимодействия СПО № 9 с отдельными внешними источниками информации	Объект 11	2015	Программн.	На месте	Проведена переустановка и настройка общего и специального ПО
44	Неустойчивая работа сервера	Объект 8	2016	Программн.	На месте	Проведена переустановка и настройка общего и специального ПО
45	Сервер KRAFTWAY ED12 горит аварийная сигнализация о состоянии НЖМД	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Замена НЖМД
46	Сервер KRAFTWAY ED12, горит аварийная сигнализация о состоянии НЖМД	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Замена НЖМД
47	Некорректное функционирование СПО № 2	Объект 12	2016	Программн.	На месте	Проведена переустановка и настройка
48	Некорректное функционирование интеграции СПО № 1 и СПО № 3	Объект 12	2016	Программн.	На месте	Проведена настройка встроенного ПО
49	Некорректное функционирование СПО № 1, СПО № 2 и СПО № 7	Объект 12	2016	Программн.	На месте	Проведена настройка СПО № 1, СПО № 2, СПО № 7 и создание новой учетной записи
<b>АРМ</b>						
1	На АРМ оператора БД неисправен жесткий диск	Объект 1	2011	Аппаратный	На месте	Заменен жесткий диск
2	Неисправны вентиляторы (кулеры) процессоров на 16-и АРМ	Объект 4	2011	Аппаратный	На месте	Заменены кулеры по гарантии
3	Неисправен сменный жесткий диск Mobile Rack на одном АРМ	Объект 4	2011	Аппаратный	На месте	Заменён Mobile Rack по гарантии
4	На АРМ неисправна оптическая сетевая плата	Объект 5	2011	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
5	Повышенный шум в системном блоке АРМ оператора ввода	Объект 7	2011	Аппаратный	На месте	Замена вентилятора в видеоадаптере системного блока
6	Не загружаются АРМ Администратора	Объект 6	2011	Аппаратный	На месте	Проведена настройка ПО
7	Повреждение оптического пагч-корда 3ЛВС АРМ аналитика	Объект 6	2011	Аппаратный	На месте	Выполнена замена оптического пагч-корда
8	Неисправен АРМ аналитика	Объект 3	2012	Аппаратный	На месте	Зачистка контактов платы
9	Неисправен АРМ аналитика	Объект 5	2012	Аппаратный	На месте	Проведён ремонт
10	Неисправен АРМ руководителя	Объект 5	2012	Аппаратный	Серв. центр	Закуплена и заменена оптическая сетевая карта
11	Неисправен АРМ - Д (выход из строя блока питания в системном блоке ПЭВМ)	Объект 7	2012	Аппаратный	На месте	Закуплен и заменен блок питания
12	Не исправен АРМ аналитика	Объект 7	2012	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
13	На АРМ аналитика на ЖМД появляются сбойные сектора	Объект 6	2012	Аппаратный	На месте	Проведена диагностика. Рекомендовано в 2013 году создать групповой заказ на замену жесткого диска
14	Монитор LS19NAKSB\EDC – после включения пропадает изображение	Объект 8	2012	Аппаратный	Серв. центр	- замена лампы ЖК-матрицы; - замена электролитического конденсатора – 4 шт.
15	Монитор LS19NAKSB\EDC – после включения пропадает изображение	Объект 8	2012	Аппаратный	Серв. центр	- замена трансформатора TMS91429CT – 2 шт.; - замена электролитического конденсатора – 4 шт.

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
16	Монитор АРМа оператора показа подвержен электромагнитным наводкам, что приводит к искажениям отображаемой информации	Объект 9	2012	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
17	Системный блок АРМ администратора неисправен	Объект 9	2012	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
18	Системный блок АРМ аналитика неисправен	Объект 9	2012	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
19	Системный блок АРМ из состава ЗИП неисправен	Объект 9	2012	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
20	АРМ аналитика - неисправна оптическая сетевая карта	Объект 5	2013	Аппаратный	Серв. центр	Заменена оптическая сетевая карта
21	АРМ оператора ввода неисправны: CPU, кулер охлаждения CPU, блок питания	Объект 5	2013	Аппаратный	Серв. центр	Проведена замена неисправного оборудования
22	На трех АРМ – неисправны жесткие диски	Объект 5	2013	Аппаратный	На месте	Замена жестких дисков
23	Системный блок УВМ РАМЭК-011-239.02 неисправен	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
24	Системный блок УВМ РАМЭК-011-239.03 неисправен	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
25	Системный блок УВМ РАМЭК-011-239.04 неисправен	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
26	АРМ аналитика неисправен	Объект 7	2013	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
27	Неисправен АРМ оператора показа	Объект 8	2013	Аппаратный	На месте	Устранено
28	Сбой в функционировании СПО № 5 на АРМ	Объект 9	2013	Программн.	На месте	Произведена переустановка SQL-сервера и СПО № 5.
29	Некорректное функционирование АРМ	Объект 1	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка ПО

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
30	Не включается системный блок РАМЕС-011-239	Объект 4	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена встроенного блока питания
31	Не включается системный блок РАМЕС-011-239	Объект 4	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена встроенного блока питания
32	Отказ 6 АРМ	Объект 8	2014	Аппаратный	На месте	Замена встроенных блоков питания в составе системных блоков 6 рабочих станций
33	Не включаются системные блоки рабочих станций 2 АРМ	Объект 6	2014	Аппаратный	На месте	Замена встроенных блоков питания
34	Отказ системного блока рабочей станции АРМ	Объект 6	2014	Аппаратный	На месте	Замена видеокарты
35	Не включается системный блок АРМ	Объект 8	2014	Аппаратный	На месте	Замена видеокарты
36	Неисправны MobilRak (салазки) для HDD на 14 АРМ	Объект 5	2015	Аппаратный	На месте	Замена MobilRak
37	Необходима замена батареи CMOS АРМ	Объект 5	2015	Аппаратный	На месте	Замена батареи CMOS
38	Не исправна материнская плата на АРМ	Объект 5	2015	Аппаратный	На месте	Замена АРМ из состава ЗИП (в связи со снятием с производства материнских плат 2008 года выпуска)
39	Повышенный шум в системном блоке АРМ	Объект 5	2015	Аппаратный	На месте	Замена кулера системного блока и НЖМД
40	Неисправен АРМ	Объект 5	2015	Аппаратный	На месте	Замена встроенного блока питания ATX 450W и батареи CMOS
41	Повышенный шум в системных блоках четырех АРМ	Объект 5	2015	Аппаратный	На месте	Замена кулеров системных блоков
42	Неисправны 2 АРМ	Объект 5	2015	Аппаратный	На месте	Замена двух НЖМД

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
43	Не корректное функционирование клиентской составляющей СПО № 1 на АРМ	Объект 9	2015	Программн.	На месте	Проведена настройка
44	На АРМ отказал монитор DELL U2410f	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	По гарантии монитор заменен
45	На АРМ отказал монитор DELL U2410f	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	По гарантии монитор заменен
46	Неисправны MobilRak (салазки) для HDD на двух АРМ	Объект 6	2015	Аппаратный	На месте	Заменен MobilRak HDD из состава ЗИП
47	Не исправны две ЭВМ	Объект 6	2015	Аппаратный	На месте	Заменены платы из состава ЗИП
48	Неисправна персональная ЭВМ	Объект 6	2015	Программн.	На месте	Проведена замена оптической сетевой карты
49	Неисправны шесть персональных ЭВМ	Объект 6	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена жестких дисков HDD 500 Gb
50	Неисправна персональная ЭВМ	Объект 7	2015	Аппаратный	На месте	Заменен MobilRak HDD и НЖМД
51	Неисправна персональная ЭВМ	Объект 7	2015	Аппаратный	На месте	Заменен MobilRak HDD и НЖМД
52	Неисправна персональная ЭВМ	Объект 7	2015	Аппаратный	На месте	Заменен MobilRak HDD, батарея CMOS и НЖМД
53	Неисправна персональная ЭВМ	Объект 7	2015	Аппаратный	На месте	Заменен кулер процессора
54	Неисправен АРМ	Объект 7	2015	Аппаратный	На месте	Заменена видеокарта NVIDIA Quadro K620

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
55	Проведено тестирование АРМ. Выявлена необходимость замены видеокарты EN8600GT Silent/HTDP/512M/A, клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена видеокарты EN8600GT Silent/HTDP/512M/A, клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail
56	Не исправен АРМ руководителя. Выявлена необходимость замены видеокарты EN8600GT Silent/HTDP/512M/A, монитора TFT LCD Samsung 940N 19" и DVD привода SATA II	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	АРМ заменен на исправный из состава ЗИП, установлено и настроено общее и специальное программное обеспечение
57	Не исправен АРМ оператора ввода данных. Выявлена необходимость замены видеокарты EN8600GT Silent/HTDP/512M/A, монитора TFT LCD Samsung 940N 19" и DVD привода SATA II	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	АРМ заменен на исправный из состава ЗИП, установлено и настроено общее и специальное программное обеспечение
58	Проведено тестирование АРМ. Выявлена необходимость замены клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail
59	Проведено тестирование АРМ. Выявлена необходимость замены клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail
60	Проведено тестирование АРМ. Выявлена необходимость замены клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена клавиатуры Microsoft Wired Desktop 600 Retail и ручного манипулятора Microsoft Wired Desktop 600 Retail

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
61	В результате тестирования выявлена необходимость замены НЖМД на двух АРМ	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена НЖМД на 2 АРМ
62	В результате тестирования выявлена необходимость замены НЖМД на трех АРМ	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена НЖМД на 3 АРМ
63	Неисправен АРМ из-за отказа клавиатура	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Клавиатура заменена из состава ЗИП
64	АРМ неисправен	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Замена сетевой оптической карты
65	АРМ неисправен	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Замена сетевой оптической карты
66	АРМ неисправен	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Замена сетевой оптической карты
67	Не работает АРМ	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Проведена переустановка платы и чистка ее контактов
68	Неустойчивая работа четырех АРМ и медиаконвертора	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Заменены патч-корды подключения АРМ к ЛВС и медиаконвертор
69	Нарушена работоспособность АРМ	Объект 9	2015	Программн.	На месте	Проведена настройка учетной записи АРМ аналитика тип 2
70	Неустойчивая работа АРМ	Объект 10	2015	Аппаратный	На месте	Заменен патч-корд
71	Неустойчивая работа АРМ	Объект 10	2015	Аппаратный	На месте	Заменен патч-корд
72	Повышенный шум при работе АРМ	Объект 11	2015	Аппаратный	На месте	Заменен вентилятор процессора
73	Повышенный шум при работе АРМ	Объект 11	2015	Аппаратный	На месте	Заменен вентилятор процессора

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
74	Не устойчивая работа отдельных средств оконечного оборудования на АРМ-5, АРМ-8, АРМ-10, АРМ оператора показа и медиаконверторе плоттера	Объект 11	2015	Аппаратный	На месте	Замена 2-х пагч-кордов с неисправными коннекторами и 3-х пагч-кордов с неисправной внешней облолочкой оптического кабеля
75	Из-за отказа клавиатуры невозможно нормальное функционирование АРМ дежурного и АРМ подготовки данных	Объект 11	2015	Аппаратный	На месте	Заменена клавиатура в составе двух АРМ
76	Неисправен контейнер для установки НЖМД	Объект 4	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена Mobile Rack for HDD SATA на АРМ
77	Повышенный шум при работе системного блока на АРМ	Объект 5	2016	Аппаратный	На месте	Замена кулера
78	Отказ НЖМД на АРМ	Объект 5	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена НЖМД
79	Отказ НЖМД на АРМ	Объект 5	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена НЖМД
80	Неустойчивая работа АРМ, замедление в работе СПО	Объект 6	2016	Аппаратный	На месте	Замена НЖМД и ветроенного блока питания из состава ЗИП
81	Отказ НЖМД на АРМ	Объект 7	2016	Аппаратный	На месте	Замена НЖМД из состава ЗИП
82	Отказ НЖМД на АРМ	Объект 7	2016	Аппаратный	На месте	Замена НЖМД из состава ЗИП
83	На АРМ отказ видеокарты	Объект 7	2016	Аппаратный	На месте	Замена видеокарты из состава ЗИП
84	В ходе тестирования АРМ выявлена необходимость замены: - материнской платы; - НЖМД; - сетевой карты	Объект 7	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена материнской платы, НЖМД, сетевой карты

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
85	Не устойчивая работа АРМ	Объект 7	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена портов USB и PS/2 материнской платы
86	На АРМ не считывается информация с DVD диска	Объект 8	2016	Аппаратный	На месте	Заменен DVD привод
87	На АРМ не считывается информация с DVD диска	Объект 8	2016	Аппаратный	На месте	Заменен DVD привод
88	На АРМ не включается системный блок	Объект 8	2016	Аппаратный	На месте	Замена встроенного блока питания
89	Не включается системный блок в АРМ из-за отказа встроенного блока питания	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Замена встроенного блока питания
90	Не включается системный блок в АРМ из-за отказа встроенного блока питания	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Замена встроенного блока питания
91	Неустойчивая работа четырех АРМ и принтеров в составе ЛВС	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Заменены патч-корды
92	Не включается системный блок АРМ	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Замена встроенного блока питания
93	На АРМ не работает монитор	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Замена видеокарты
94	Неустойчивая работа двух АРМ	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Заменены патч-корды
95	Проведено тестирование трех АРМ. Выявлена необходимость замены клавиатуры и ручного манипулятора	Объект 12	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена клавиатуры и ручных манипуляторов
<b>ИБП</b>						
1	На трёх источниках бесперебойного питания APC UPS 3000 – на выходе отсутствует напряжение	Объект 1	2011	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление работоспособности инвертора и узла зарядки

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
2	На источнике бесперебойного питания APC UPS 3000 – на выходе отсутствует напряжение	Объект 4	2011	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление работоспособности инвертора и узла зарядки
3	На выходе источника бесперебойного питания отсутствует напряжение	Объект 5	2011	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление узла зарядки
4	Источник бесперебойного питания APC SUM3000RMXL12U - не включается	Объект 4	2012	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление работоспособности инвертора и узла зарядки
5	Источник бесперебойного питания APC SUM3000RMXL12U - не включается	Объект 4	2012	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление работоспособности инвертора и узла зарядки
6	Неисправен источник бесперебойного питания APC Smart-UPS 620VA 230V	Объект 7	2012	Аппаратный	На месте	Закуплена и заменена АКБ 12В 12 А/Ч
7	Источник бесперебойного питания APC SURT1000XLI – не включается	Объект 8	2012	Аппаратный	Серв. центр	- замена акк. батареи – 4 шт. - замена транзистора W1NK100Z - 2 шт.
8	Источник бесперебойного питания APC SUM3000RMXL12U – не включается	Объект 8	2012	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление работоспособности инвертора и узла зарядки
9	Источник бесперебойного питания	Объект 9	2012	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление работоспособности инвертора и узла зарядки
10	ИБЭП APC A39619 Network Management Card EM (15 kVA)	Объект 5	2013	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт
11	ИБП Smart UPS SC 620	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт
12	ИБП Smart UPS SC 620	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
13	ИБП Smart UPS SC 620	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт
14	ИБП серверный UPS Smart UPS 3000	Объект 4	2013	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт
15	ИБП АРМ APC Back-UPS RS 800	Объект 4	2013	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт
16	Не включается ИБП UPS 3000	Объект 2	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена аккумуляторных батарей
17	Не включается ИБП UPS 3000	Объект 2	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена аккумуляторных батарей
18	Не включается ИБП Back- UPS RS800	Объект 4	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена аккумуляторных батарей
19	ИБП серверный	Объект 4	2014	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт
20	Отказ ИБП Smart-UPS VT 15kVA	Объект 5	2014	Аппаратный	На месте	Заменен комплект аккумуляторов в количестве 128 багарей
21	Не включаются 5 ИБП	Объект 6	2014	Аппаратный	На месте	Замена аккумуляторных батарей
22	Не включаются 4 ИБП Smart UPS-SC 620	Объект 7	2014	Аппаратный	На месте	Замена аккумуляторных батарей
23	Не включается источник бесперебойного питания Back-UPS RS800I	Объект 8	2014	Аппаратный	На месте	Заменена плата управления
24	Не включаются 6 источников бесперебойного питания APC 3000XL	Объект 8	2014	Аппаратный	На месте	Замена 48 аккумуляторных багарей
25	Источник бесперебойного питания «APC UPS BR1100CSI-RS». Не запускается. Неисправна АКБ	Объект 9	2014	Аппаратный	На месте	Замена АКБ
26	Источник бесперебойного питания «APC UPS BR1100CSI-RS». Не запускается. Неисправна АКБ	Объект 9	2014	Аппаратный	На месте	Замена АКБ

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
27	Источник бесперебойного питания «APC UPS BR1100CI-RS». Не запускается. Неисправна АКБ	Объект 9	2014	Аппаратный	На месте	Замена АКБ
28	Неисправен ИБП APC SUM3000 RMXL/2U UPS	Объект 4	2015	Аппаратный	Серв. центр	Проведен ремонт зарядного устройства
29	Неисправен ИБП APC BR800 UPS	Объект 4	2015	Аппаратный	Серв. центр	Проведен ремонт зарядного устройства
30	Неисправен ИБП APC SUM3000 RMXL/2U UPS	Объект 4	2015	Аппаратный	Серв. центр	Проведен ремонт зарядного устройства
31	Неисправен ИБП APC BR620 UPS	Объект 4	2015	Аппаратный	Серв. центр	Проведен ремонт зарядного устройства
32	Не включается источник бесперебойного питания Back-UPS RS800VA на пяти АРМ	Объект 8	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена аккумуляторных батарей RBC 32
33	Не запускается источник бесперебойного питания «APC UPS BR1100CI-RS» в составе 10 АРМ	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Замена аккумуляторных батарей в составе 10 ИБП
34	Источник бесперебойного питания ARC SMART-UPS 3000 XLM не работоспособен	Объект 6	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена аккумуляторных батарей
35	Источник бесперебойного питания ARC SMART-UPS RT 6000 не работоспособен	Объект 6	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена аккумуляторных батарей
36	Не работают пять ИБП APC BACK-UPS RS 800VA 230V BR800I	Объект 8	2016	Аппаратный	На месте	Заменены аккумуляторные батареи (по 2 шт.) тип HR 1234WF2 и проведена калибровка рабочих параметров

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
37	В трех серверных шкафах выдается сигнал о неисправности аккумуляторных батарей	Объект 8	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена аккумуляторных батарей
<b>Дополнительное оборудование</b>						
1	Неисправен межсетевой экран «SMS-FW»	Объект 5	2011	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
2	Неисправен межсетевой экран «SMS-FW»	Объект 5	2011	Аппаратный	Серв. центр	Передано в ремонт
3	Неисправен мультимедиа-проектор Panasonic PT-D3500E	Объект 5	2011	Аппаратный	Серв. центр	Ремонт произведен
4	Не работает ЖК-панель NEC MultiSync LCD4620-BK-AV	Объект 6	2011	Аппаратный	Серв. центр	Ремонт произведен
5	Неисправен плоттер HP ColorLaserJet 500 PS (выход из строя станции подачи чернил)	Объект 4	2012	Аппаратный	Серв. центр	Замена станции подачи чернил
6	Плоттер HP ColorLaserJet 500 PS - плохое качество печати	Объект 4	2012	Аппаратный	Серв. центр	Замена головок
7	Не работает принтер	Объект 6	2012	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
8	Неисправна ЖК-панель NEC MultiSync LCD4620-BK-AV	Объект 6	2012	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтировано
9	Неисправен медиапроектор Panasonic PT-D3500E (не загорается лампа)	Объект 8	2012	Аппаратный	Серв. центр	Замена цветного колеса р/п TZSH04054 в сборе с креплением фиксирующего зеркала
10	8-портовый PS/2 KVM переключатель ATEN 1208 – включается, но не переключает сигнал между источниками	Объект 8	2012	Аппаратный	Серв. центр	Восстановление работоспособности интерфейсного блока

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
11	Межсетевой экран Shield Multi Service «SMS-FW»	Объект 5	2013	Организационный	Серв. центр	Заменен на современный аналог
12	Межсетевой экран Shield Multi Service «SMS-FW»	Объект 5	2013	Организационный	Серв. центр	Заменен на современный аналог
13	Принтер HP Color LJ 5550dn (формата А3)	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтирован
14	Блок питания плоттера HP DesignJet 500 (A0)	Объект 6	2013	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтирован
15	Плоттер	Объект 9	2013	Аппаратный	Серв. центр	Отремонтирован
16	Не работает принтер Color LaserJet 5550	Объект 5	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена комплекта аппарата переноса изображений HP-C9734В HP Image transfer Kit
17	Не работает плоттер HP DeskJet 500	Объект 5	2014	Аппаратный	Серв. центр	Заменен ремень привода печатающих головок и плата управления устройством печати
18	Не работает проектор Panasonic PT-D3500E	Объект 5	2014	Аппаратный	На месте	Заменена специализированная лампа проектора
19	Не включается плоттер	Объект 6	2014	Аппаратный	На месте	Замена встроенного блока питания
20	Не работает плоттер HP Design jet 500	Объект 6	2014	Аппаратный	На месте	Замена ремня привода каретки плоттера
21	Не включается сетевой принтер HP Color Laser Jet 5550dn	Объект 8	2014	Аппаратный	На месте	Заменен комплект термического закреплении
22	Не печатает плоттер HP Designjet 500 ps plus	Объект 8	2014	Аппаратный	На месте	Замена ремня плоттера

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
23	Межсетевой экран «ССПТ-2-01». Нет доступа АРМов к сети INTERNET	Объект 9	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка ПО
24	Отсутствует взаимодействие КСА объекта № 10 с внешними пользователями	Объект 10	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка межсетевого экрана ССПТ-2
25	Отказ плоттера (при запуске появляется надпись: «Ошибка – установите последнюю версию микропро-граммы»)	Объект 11	2014	Программн.	На месте	Проведена настройка ПО
26	На плоттере неисправен механизм подачи чернил	Объект 6	2015	Аппаратный	На месте	Проведена замена печатающей го-
27	Повышенные шумы в блок вентиляторов в серверном шкафу	Объект 9	2015	Аппаратный	На месте	Проведен ремонт
28	Проектор «Panasonic» выдает сообщение о неисправности лампы	Объект 5	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена специализированной лампы
29	Не работает плоттер С7770G	Объект 8	2016	Аппаратный	На месте	Заменен ремень привода печатающих головок
30	Посторонние шумы при работе двух сканеров	Объект 8	2016	Аппаратный	На месте	Проведена замена специализированной смазки
31	Принтер (сетевой А3), HP CLJ 5525dn. Неустойчивая работа в составе ЛВС	Объект 9	2016	Программн.	На месте	Проведено: ГО, переустановка и настройка встроенного ПО
32	Принтер (сетевой А4), LJ 2025dn. Неустойчивая работа в составе ЛВС	Объект 9	2016	Программн.	На месте	Проведено: ГО, переустановка и настройка встроенного ПО

Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
33	Переключатель KVM системы отображения информации. Вышел из строя из-за неисправности в сети электропитания объекта	Объект 9	2016	Аппаратный	Серв. центр	Ремонт произведен
34	Модуль-удлиннитель USB системы отображения информации. Вышел из строя из-за неисправности в сети электропитания объекта	Объект 9	2016	Аппаратный	Серв. центр	Ремонт произведен
35	Расслоение рабочей поверхности ремня привода каретки печатающих головок плоттера	Объект 9	2016	Аппаратный	На месте	Замена ремня
<b>Вспомогательное оборудование</b>						
1	Неустойчивая работа датчиков пожарной сигнализации	Объект 4	2011	Аппаратный	На месте	Настройка оборудования
2	Самопроизвольное срабатывание автоматического выключателя в цепи электропитания кондиционеров	Объект 4	2011	Аппаратный	На месте	Заменен автоматический выключатель
3	Некорректная работа блока управления кондиционерами в серверно	Объект 3	2011	Аппаратный	На месте	Ремонт произведен
4	При аварийном отключении системы кондиционирования произошло «зависание» блоков управления системой бесперебойного электропитания	Объект 7	2011	Аппаратный	На месте	Ремонт произведен
5	При скачке напряжения в промышленной сети подключение к системе бесперебойного питания серверное оборудование выключилось некорректно, медиаконверторы «зависли»	Объект 7	2011	Аппаратный	На месте	Ремонт произведен

## Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
6	Нарушена работоспособность сетевого соединения принтера HP Color LaserJet 5550dn, подключённого к ЗЛВС через медиаконвертер AT-MS102XL	Объект 6	2011	Аппаратный	На месте	Работоспособность сетевого соединения восстановлена
7	Неисправна полка вентиляторов стойки (выход из строя вентиляторов)	Объект 3	2012	Аппаратный	На месте	Замена вентиляторов - 6 шт.
8	Сплит-система Mitsubishi SRK28NE к. 117 (серверная)	Объект 5	2013	Аппаратный	На месте	Проведено сервисное обслуживание сплит-системы, дозаправка фреоном, очистка дренажа конденсата
9	Устройство ротации кондиционеров «УРК-2Г» - требуется установка и монтаж	Объект 5	2013	Аппаратный	На месте	Проведён монтаж и подключение «УРК-2Г»
10	Блок розеток «Signamax» - нет питания розеток	Объект 5	2013	Аппаратный	На месте	Замена выключателя
11	Неисправна оптическая розетка	Объект 8	2013	Аппаратный	На месте	Проведен ремонт
12	Серверная. При скачках электричества происходит сбывание пакетного переключателя	Объект 4	2013	Аппаратный	На месте	Заменён пакетный переключатель
13	Блок вентиляторов в серверном шкафу	Объект 9	2013	Аппаратный	На месте	Ремонт произведен
14	В результате повышенной влажности в помещении окислились контакты оптической розетки	Объект 9	2013	Аппаратный	На месте	Ремонт произведен
15	Неисправна вентиляторная полка в серверной стойке	Объект 2	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена вентиляторной полки
16	Неисправна вентиляторная полка в серверной стойке	Объект 4	2014	Аппаратный	Серв. центр	Замена двух кулеров

## Приложение 2 (продолжение)

№ п/п	Неисправное устройство и внешние проявления неисправности	Объект	Год	Классификация		Способ устранения неисправности
				Тип отказа	Место ремонта	
17	Электронная ручка «ASER LBW»	Объект 9	2014	Аппаратный	Серв. центр	Проведен гарантийный ремонт
18	Отказ модуля-удлинителя USBextender UCE60 из состава консоли оператора показа и ВКС	Объект 10	2014	Аппаратный	Серв. центр	Проведен гарантийный ремонт
19	Неисправна сплит-система	Объект 4	2015	Аппаратный		Неисправность компрессора. Ремонт не поддежит.
<b>Каналы связи и СКС</b>						
1	Отказ телекоммуникационного тракта между двумя объектами	Объект 6	2014	Аппаратный	На месте	Проведена настройка коммутационного оборудования
2	Отсутствует подключение АРМ к серверу	Объект 10	2014	Аппаратный	На месте	Восстановлена работоспособность оборудования абонентской линии от коммутатора в серверном шкафу до АРМ
<b>Системная</b>						
1	Повышенная информационная исходящая нагрузка в групповом телекоммуникационном тракте между двумя объектами	Объект 9	2013	Организационный	Заказчик	Подготовлены и представлены Заказчику предложения по восстановлению тракта. Тракт восстановлен

Научное издание

Александр Алексеевич Зацаринный  
Александр Иванович Гаранин  
Сергей Витальевич Козлов

**Научно-практические аспекты обеспечения надежности  
информационно-телекоммуникационных сетей**

Выпускающий редактор .....  
Художественный редактор .....  
Дизайн обложки .....

Сдано в набор ..... Подписано в печать .....  
Формат 60 x 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Усл.-печ.л. .... Уч.-изд. л. ....  
Тираж 120 экз.  
Заказ № ....

Отпечатано в Академиздатцентре «Наука» РАН с готовых файлов  
Москва 121009, Шубинский пер., д. 6