

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ,  
ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НУКУССКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ФАКУЛЬТЕТ «КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ»**

**КАФЕДРА  
«ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЙ ИНЖИНИРИНГ»**

# **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

на тему **«МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ»**

Выполнил: выпускник 4-курса по  
направлению «Телекоммуникация»  
студент  
Кыдырниязова Г.\_\_\_\_\_

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:  
Халбаев Е. \_\_\_\_\_

Выпускная квалификационная работа прошла  
предварительную защиту на кафедре  
Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**НУКУС - 2014 г.**

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН

НУКУССКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Факультет Компьютер инжиниринг  
кафедра Телекоммуникацион инжиниринг

Направление (специальность) 5522200 – Телекоммуникация

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой ТИ  
«    »                      2014 г.  
\_\_\_\_\_

## ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студентки  
Кыдырниязовой Гулназ Сарсенбаевны  
(фамилия, имя, отчество)

на тему Методы повышения надежности элементов систем  
передачи данных

1. Тема утверждена приказом по университету от «26» 12. 2013г. № 122  
2. Срок сдачи законченной работы: 02.06.2014г.  
3. Исходные данные к работе Материалы полученные из интернета, из  
книг, из рефератов и технических документациях

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих  
разработке вопросов): 1. Элементы систем передачи данных и проблемы  
повышения их надёжности. 2. Анализ систем передачи данных с  
решающей обратной связью 3. Анализ методов повышения надежности  
систем передачи данных. 4. Охрана труда и техника безопасности.

5. Перечень графического материала Материалы презентации

6. Дата выдачи задания: 26.12.2013 г.

Руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

Задание принял \_\_\_\_\_  
(подпись)

### 7. Консультанты по отдельным разделам выпускной работы

Наименование раздела	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание получил
Основной части	Е.Я.Халбаев	26.01.2014	

### 8. График выполнения работы

№	Наименование раздела	Срок выполнения	Подпись руководителя (консультанта)
1.	Элементы систем передачи данных и проблемы повышения их надёжности.	21.02.2014	
2.	Анализ систем передачи данных с решающей обратной связью	19.03.2014	
3.	Анализ методов повышения надёжности__ систем передачи данных.	20.04.2014	
4.	Охрана труда и техника безопасности	21.05.2014	

Выпускник \_\_\_\_\_  
(подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014г.

Руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014г.

## АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы, связанные с анализом методов повышения надежности элементов СПД. Приведены различные методики расчета надежности СПД.

Также рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности.

## АННОТАЦИЯ

Ушбу битирув малакавий ишда маълумотларни узатишда маълумотлар узатиш тизимида элементларнинг ишончилигини ошириш усулларини тахлили кўриб ўтилган. Маълумотларни узатиш тизимининг турли ишончилиликни хисоблаш усуллари келтирилган.

Бундан ташқари меҳнат муҳофазаси ва техника хавфсизлиги саволлари ҳам келтирилган.

## S U M M A R Y

In given qualification thesis is considered questions, connected with analysis of methods of increasing to reliability element system of data transferring (SDT). Different methods of calculation to reliability SDT are given in the work.

Also questions labour guard and safety are considered.

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	6
<b>1.</b>	<b>ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЁЖНОСТИ</b>	8
1.1.	Элементы систем передачи данных, основные показатели их надёжности	8
1.2.	Принципы повышения контролепригодности элементов СПД и их показатели	13
1.3.	Особенности технической эксплуатации и пути повышения надёжности элементов СПД	17
	Выводы.....	22
<b>2.</b>	<b>АНАЛИЗ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ</b>	23
2.1.	Принципы построения и характеристики СПД	23
2.2.	Принципы адаптация в СПД	33
2.3.	Выбор оптимальной длины кодовой комбинации в СПД с РОС	38
	Выводы.....	42
<b>3.</b>	<b>АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ</b>	43
3.1.	Надёжность систем передачи данных.....	43
3.2.	Методы повышения надёжности трактовпередачи данных	55
3.3.	Расчет надёжности элементов СПД	64
	Выводы.....	70
<b>4.</b>	<b>Охраны труда и техники безопасности.....</b>	71
	<b>Заключение.....</b>	80
	<b>Литература.....</b>	81
	<b>Приложение.....</b>	84

## ВВЕДЕНИЕ

Современные системы передачи данных (СПД) представляют собой сложные территориально распределенные технические комплексы, выполняющие важные задачи по своевременной и качественной передаче сообщений. В этой связи повышение надежности СПД не может быть обеспечено без существенного повышения надежности элементов СПД. Под элементами СПД понимают технические средства, используемые в системе, такие как: аппаратура передачи данных (АПД), состоящая из кодеков, модемов, управляющих устройств, каналов связи и др.

Для построения элементов СПД используются цифровые устройства и современная элементная база, основанная на применении больших интегральных схем (БИС), сверхбольших интегральных схем (СБИС) и микропроцессорных комплектов (МПК). Их применение позволяет существенно увеличить производительность и надежность, повысить технологичность, расширить функциональные возможности СПД, уменьшить их массу, габариты и потребляемую мощность.

В то же время переход к широкому использованию БИС, СБИС и МПК в современных СПД создал, вместе с бесспорными преимуществами, и ряд серьезных проблем в их эксплуатационном обслуживании, связанных в первую очередь с процессами контроля и диагностики. Своевременное обнаружение и поиск неисправностей в элементах СПД сопряжены с определенными трудностями, и при использовании традиционных контрольно – диагностических средств, не дают приемлемых результатов.

Таким образом, контроль и диагностика элементов СПД требует соответственно новых, по сравнению с традиционными, подходов к исследованию методов и разработке средств контроля и диагностики в условиях эксплуатации. Одними из наименее исследованных остаются вопросы контроля и диагностики элементов СПД, повышение их контролепригодности методами встроенного контроля и средствами

диагностики на базе метода сигнатурного анализа. В связи с этим проблема исследования методов контроля и диагностики, в целях обеспечения качественного функционирования элементов и СПД в целом в условиях эксплуатации, представляет собой практически важную и актуальную задачу.

## **ГЛАВА 1. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЁЖНОСТИ**

## 1.1. Элементы систем передачи данных, основные показатели их надежности

Основной задачей по отношению к современным СПД является повышение эффективности и качества их функционирования. Решение этой задачи развивается в двух направлениях: с одной стороны, совершенствуются методы передачи и приёма дискретных сообщений для увеличения скорости и достоверности передаваемой информации при ограничении затрат, с другой стороны, разрабатываются новые методы построения элементов СПД, обеспечивающие высокую надежность их работы.

Такой подход требует разработки СПД, реализующих сложные алгоритмы управления в условиях случайных воздействий с необходимостью адаптации и обладающих свойством отказоустойчивости.

Применение для этих целей БИС, СБИС и МПК позволяет обеспечить высокую эффективность использования каналов ПД и способность в случае отказа быстро восстановить нормальное функционирование СПД.

Одним из важных элементов сети ПД является СПД, которая в свою очередь состоит из АПД и каналов связи. Структурная схема СПД приведена на рис.1.1. Передающая часть системы осуществляет ряд преобразований дискретного сообщения  $\{X_i\}$  в сигнал  $\{S_{K_i}(t)\}$ . Совокупность операций, связанных с преобразованием передаваемых сообщений в сигнал, называется способом передачи, который можно описать операторным соотношением:

$$\{S_{K_i}(t)\} = D_{npd} \{X_i + \xi_{npd}\} = D_M \{D_K \{X_i + \xi_{npd}\}\}, \quad (1.1)$$

где  $D_{npd}$  - оператор способа передачи;

$D_K$  - оператор кодирования;

$D_M$  - оператор модуляции;

$\xi_{прд}$  - случайный процесс возникновения сбоев и отказов в передатчике.

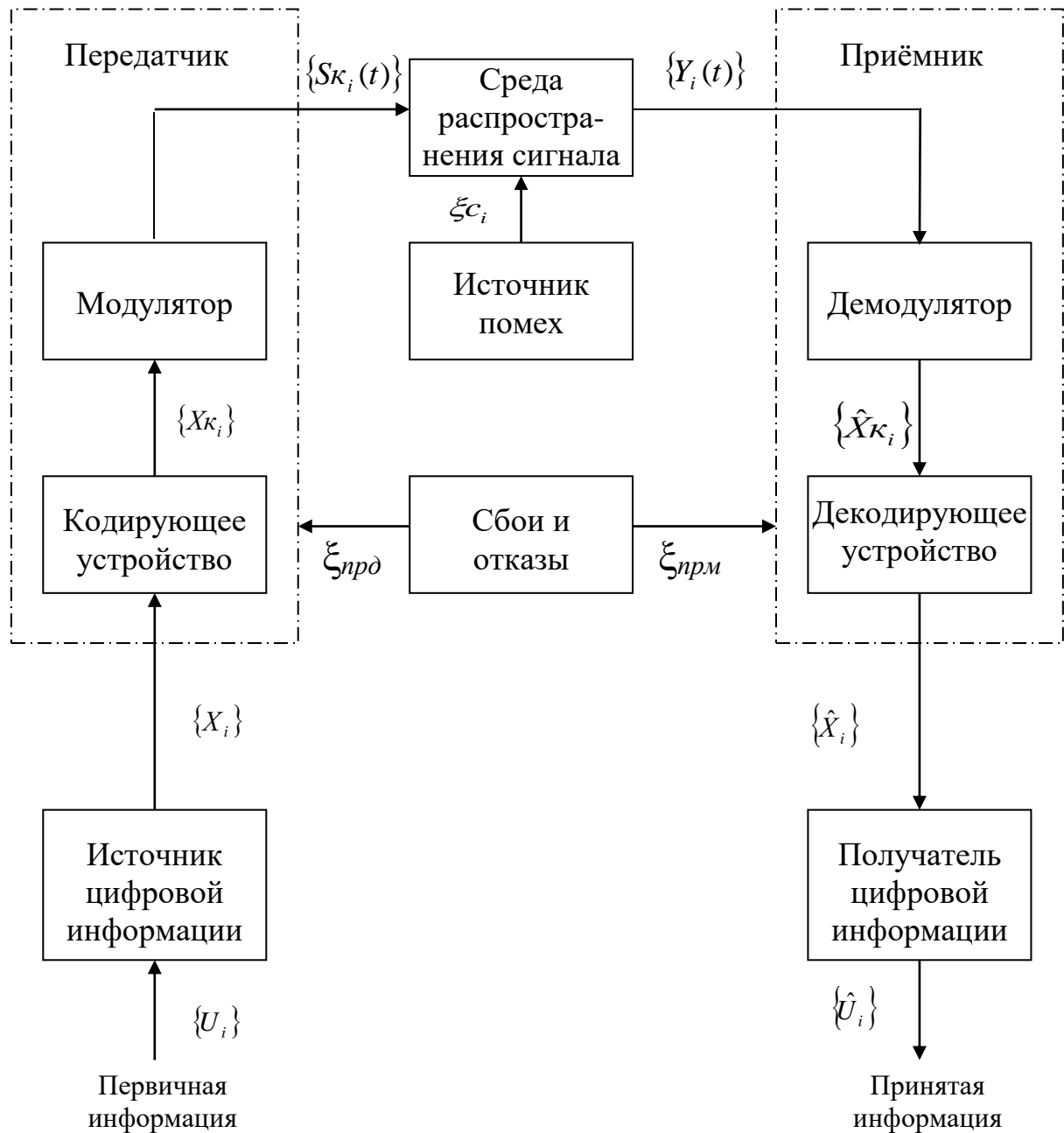


Рис 1.1. Структурная схема СПД

Появление сбоев и отказов  $\xi_{прд}$  в передатчике приводит к нарушению условия  $\{X_i\} \rightarrow \{S_{k_i}(t)\}$  и увеличению числа ошибок в СПД. Вследствие этого необходимо таким образом проектировать передатчик, чтобы увеличение числа ошибок за счет нарушения условия  $\{X_i\} \rightarrow \{S_{k_i}(t)\}$  было достаточно малым.

Сигналы, излучаемые в среду распространения, претерпевают в ней ослабление и искажения. Поэтому сигналы  $\{\hat{S}_{\kappa_i}(t)\}$ , приходящие в пункт приема могут существенно отличаться от передаваемых сигналов.

Влияние среды на распространяемые в ней сигналы можно также описать операторным соотношением:

$$\{\hat{S}_{\kappa_i}(t)\} = D_c\{S_{\kappa_i}(t)\} = D_c\{D_{npd}\{X_i + \xi_{npd}\}\}, \quad (1.2)$$

где  $D_c$  - оператор среды распространения.

В канале связи на передаваемый сигнал накладываются помехи, так что при передаче сигнала  $\{S_{\kappa_i}(t)\}$  на входе приёмника принимается искаженный сигнал:

$$\{Y_i(t)\} = \{S_{\kappa_i}(t)\} + \sum_{i=1}^N \xi_{c_i}, \quad (1.3)$$

где  $\xi_{c_i}$  - случайный процесс, соответствующий ( $i$  - ой) помехе;

$N$  - число независимых источников помех.

Задача приемника состоит в том, чтобы по принятому искаженному сигналу  $Y_i(t)$  определить какое сообщение передавалось. Совокупность операций приемника можно описать операторным соотношением [58]:

$$\{\hat{X}_i\} = D_{prm}\{Y_i(t)\} = D_{prm}\left\{\hat{S}_{\kappa_i}(t) + \sum_{i=1}^N \xi_{c_i} + \xi_{prm}\right\} = D_{dm}\left\{D_{dk}\left\{\hat{S}_{\kappa_i}(t) + \sum_{i=1}^N \xi_{c_i} + \xi_{prm}\right\}\right\}, \quad (1.4)$$

где  $D_{prm}$  – оператор способа приема;

$D_{dm}$  - оператор демодуляции;

$D_{dk}$  - оператор декодирования;

$\xi_{prm}$  - случайный процесс возникновения отказов и сбоев в приемнике.

Полнота соответствия  $\{\hat{X}_i\}$  переданной последовательности  $\{X_i\}$  зависит не только от корректирующих возможностей кодированной

последовательности  $\{X_{k_i}\}$ , уровня сигнала и помех и их статистики, свойств декодирующих устройств, но и от способности АПД корректировать ошибки, вызванные аппаратурными сбоями и отказами передатчика и приемника  $\xi_{прд}$  и  $\xi_{прм}$ . Рассмотренный подход позволяет описать процесс передачи информации некоторой математической моделью, что дает возможность выявить влияние различных факторов на эффективность элементов СПД и наметить пути повышения надежности СПД в целом.

Известно, что надежность СПД являясь комплексным свойством, включает такие важные свойства как безотказность и ремонтпригодность.

Для элементов СПД в условиях эксплуатации важнейшим из этих двух свойств является ремонтпригодность. Это связано с тем, что односторонняя ориентация на достижение высокой безотказности в ущерб ремонтпригодности во многих случаях не обеспечивает повышение коэффициента готовности ( $K_z$ ) СПД в целом в условиях эксплуатации, так как сложность устранения отказов приводит к существенному росту времени восстановления технических средств. Поэтому оценку надежности элементов СПД целесообразно производить комплексными показателями, которые отражали бы указанное выше свойство ремонтпригодности. Этим требованиям удовлетворяют такие показатели, как коэффициент готовности  $K_z$  и коэффициент простоя  $K_n$ :

$$K_z = \frac{T_n}{T_n + T_г}, \quad \text{или} \quad K_z = \frac{1}{1 + \frac{T_г}{T_n}}, \quad (1.5)$$

где  $T_n$  - время наработки на отказ;

$T_г$  - время восстановления.

При этом коэффициент простоя

$$K_n = 1 - K_z. \quad (1.6)$$

Элементы СПД будут обладать максимальной готовностью в случае, если отношение  $\frac{T_e}{T_n}$  будет стремиться к нулю. В этом случае время восстановления  $T_e$  должно стремиться к нулю, а коэффициент готовности  $K_z$  будет стремиться к единице.

Из выражения (1.6) видно, что время восстановления определяется в первую очередь временем обнаружения (контроля) и временем поиска неисправности (диагностики).

В общем случае время восстановления определяется:

$$T_e = t_{обн} + t_{nn} + t_{yn}, \quad (1.7)$$

где  $t_{обн}$  - время обнаружения неисправности;

$t_{nn}$  - время поиска неисправности;

$t_{yn}$  - время устранения неисправности ( $t_{yn} = t_z + t_k$ );

$t_z$  - время замены неисправного элемента;

$t_k$  - время контроля работоспособности после замены.

## 1.2. Принципы повышения контролепригодности элементов СПД и их показатели

Анализ работ, посвященных отдельным проблемам диагностики неисправностей элементов СПД и их составных частей, показал, что актуальными являются вопросы и разработки конкретных методик и средств диагностики с учетом специфических особенностей условий эксплуатации. Появление в элементах СПД цифровых устройств, построенных на микро-

процессорной базе в сочетании со специализированными БИС, СБИС и МПК, привело к серьёзной проблеме обеспечения эффективного их технического обслуживания в условиях эксплуатации. В этой связи объективная необходимость поддержания качества функционирования систем связи в целом на существенно более высоком уровне их технических, эксплуатационных и экономических характеристик требует разработки новых подходов к контролю и диагностике цифровых плат, интегрирующих результаты исследований как традиционных, так и новых методов, и требующих хорошей их оснащённости. Известно, что задачи повышения качества диагностирования и снижения стоимости затрат на контроль и диагностику во многом противоречивы и решаются во многом путём компромисса.

Достоверность работы цифровых устройств, определяется, прежде всего, методами и средствами контроля и диагностики, которые используются для проверки работоспособности аппаратуры и нахождения неисправностей.

Под контролепригодностью понимается свойство устройства, обуславливающее приспособленность к проведению контроля его технического состояния в процессе изготовления и эксплуатации.

Контролепригодность устройства определяется объёмом тестовых воздействий, необходимых для проверки устройства и его диагностирования с заданной глубиной поиска неисправности, методикой проведения диагностирования, техническими возможностями средств диагностики. Рассмотрим основные принципы обеспечения контролепригодности цифровых устройств, позволяющих облегчить задачу синтеза тестовых последовательностей и обеспечить поиск неисправностей с заданной глубиной поиска. Этими принципами являются:

- обеспечение заданной полноты контроля и глубины поиска неисправности, в том числе с использованием встроенных средств;

- определение необходимого числа контрольных точек для обнаружения, поиска и локализации заданного класса неисправностей;
- структурные построения цифровых устройств различного функционального назначения, с возможностью облегчения их контроля и диагностики средствами сигнатурного анализа;
- рациональное разбиение системы на составные части (модули), определяющие глубину диагностирования и другие.

При этом должен быть четко ограничен класс обнаруживаемых неисправностей. Для этапа эксплуатации используется следующая номенклатура показателей контролепригодности:

1. Коэффициент полноты проверки исправности (работоспособности, правильного функционирования):

$$K_{mn} = \frac{\lambda_k}{\lambda_0}, \quad (1.8)$$

где  $\lambda_k$  - суммарная интенсивность отказов проверяемых составных частей системы на принятом уровне деления;

$\lambda_0$  - суммарная интенсивность отказов всех составных частей системы на принятом уровне деления.

2. Коэффициент глубины поиска:

$$K_{z.n} = \frac{F}{R}, \quad (1.9)$$

где  $F$  - число однозначно различимых составных частей системы на принятом уровне деления, с точностью до которого определяется место дефекта;

$R$  – общее число составных частей системы на принятом уровне деления, с точностью до которых требуется определение места дефекта.

3. Среднее время подготовки системы к диагностированию заданным числом специалистов:

$$T_{\epsilon} = T_{y.c.n} + T_{m.d.p} , \quad (1.10)$$

где  $T_{y.c.n}$  – среднее время установки и снятия измерительных преобразователей и других устройств, необходимых для диагностирования;

$T_{m.d.p}$  – среднее время машинно-демонтажных работ на системы, необходимых для подготовки к диагностированию.

4. Длина теста диагностирования:

$$L = \{1, 2, 3, \dots, |L|\}, \quad (1.11)$$

где  $|L|$  – число тестовых воздействий.

5. Средняя трудоёмкость подготовки к диагностированию:

$$S_{\epsilon} = S_{y.c.n} + S_{m.d.p} , \quad (1.12)$$

где  $S_{y.c.n}$  – средняя трудоёмкость установки и снятия преобразователей и других устройств, необходимых для диагностирования;

$S_{m.d.p}$  – средняя трудоёмкость монтажа – демонтажа работ на объект для обеспечения доступа к контрольным точкам и приведение объекта в исходное состояние после диагностирования.

6. Коэффициент избыточности системы:

$$K_{u.o} = \frac{G_0 - G_{u.o.d}}{G_0} , \quad (1.13)$$

где  $G_{u.o.d}$  – объём составных частей, введённых для диагностирования системы;

$G_0$  – масса или объём системы.

7. Коэффициент унификации устройств сопряжения и системы со средствами диагностирования:

$$K_{y.c} = \frac{N_y}{N_0}, \quad (1.14)$$

где  $N_y$  - число унифицированных устройств сопряжения.

$N_0$  - общее число устройств сопряжения.

8. Коэффициент унификации параметров сигналов системы:

$$K_{y.n} = \frac{\delta_y}{\delta_0}, \quad (1.15)$$

где  $\delta_y$  - число унифицированных параметров сигналов системы, используемых при диагностировании;

$\delta_0$  - общее число параметров сигналов, используемых при диагностировании.

9. Коэффициент трудоёмкости подготовки системы к диагностированию:

$$K_{m.d} = \frac{S_d - S_e}{S_d}, \quad (1.16)$$

где  $S_d$  - средняя оперативная трудоёмкость диагностирования системы;

$S_e$  - средняя трудоёмкость подготовки системы к диагностированию.

10. Коэффициент использования специальных средств диагностирования:

$$K_{u.c} = \frac{G_{c.d} - G_{c.c.d}}{G_{c.d}}, \quad (1.17)$$

где  $G_{c.d}$  - суммарная масса или объём серийных и специальных средств диагностирования;

$G_{c.c.d}$  - масса или объём специальных средств диагностирования.

11. Уровень контролепригодности при оценке:

дифференциальной: 
$$g_i = \frac{K_i}{K_{i\sigma}}, \quad (1.18)$$

где  $K_i$  - значение показателя контролепригодности оцениваемого системы;

$K_{i0}$  - значение базового показателя контролепригодности.

комплексной: 
$$g = \prod_{i=1}^n (g_i)^{\sigma_i} \quad (1.19)$$

где  $n$  - число показателей контролепригодности, по совокупности которых оценивают уровень контролепригодности;

$\sigma_i$  - коэффициент весомости  $i$ -го показателя контролепригодности.

### 1.3. Особенности технической эксплуатации и пути повышения надёжности элементов СПД

Техническое обслуживание, обеспечение необходимых профилактических и ремонтно-восстановительных работ и организация поставок запасного имущества принадлежности (ЗИП)а для сложных СПД является важной проблемой.

При выборе СПД необходимо убедиться, что его разработчики и производители готовы осуществить техническую поддержку в течении не только гарантийного, но и всего срока службы, т.е. до наступления предельного состояния. Таким образом, при принятии решения о приобретении той или иной сложной СПД операторам необходимо учитывать долговременные затраты на её сервис.

Необходимо отметить, что качество предлагаемых услуг, а также размеры затрат, которые несёт операторская компания в своей деятельности, в значительной степени зависят от подготовки и организации процесса технического обслуживания и ремонта СПД. Поэтому задача совершенствования методов технического обслуживания и ремонта, территориально распределённых СПД приобретает всё большую актуальность.

Известно, что требования международных стандартов в области качества обязывают оператора связи, как поставщика услуг, включать в область системы качества – техническое обслуживание и ремонт СПД.

Как показывает международный опыт развитых стран, в которых уже пройден период массовой цифровизации сети телекоммуникаций и внедрения принципиально новых услуг, эта задача эффективно решается созданием развитой инфраструктуры организационно-технической поддержки, включающей в себя также систему сервис - центров и центры ремонта.

Поэтому поставщики СПД должны организовать центры сервисного обслуживания для осуществления гарантийного и послегарантийного обслуживания своей продукции, текущей её эксплуатации и ремонта.

Обычно структура системы сервис - центров включает в себя:

- главный сервис - центр, координирующий работу всех остальных сервис центров и имеющий возможность выполнять наиболее сложные виды работ;
- региональные сервис - центры;
- службы технического сервиса оператора связи.

Однако, как показывает практика, наряду с обеспечением высокого качества поставляемого оборудования СПД с широкими функциональными возможностями, возникает и ряд проблем, среди которых следует отметить:

- недостаточное развитие (а в ряде случаев - отсутствие) сети сервисного обслуживания поставляемого оборудования;
- большее количество поставщиков, чем сервис - центров;
- высокая стоимость ремонта.

Поэтому к поставщикам предъявляются соответствующие требования по организации технического обслуживания поставляемого оборудования и срокам замены неисправных узлов СПД.

Так как уровень удобства функций технического обслуживания СПД варьируется от системы к системе, то и работа с различными системами требует разной степени подготовки обслуживающего персонала.

В настоящее время существует большое разнообразие форм, методов и видов технического обслуживания. Услуги заказчикам предоставляются в четырёх различных формах:

- самообслуживание силами самих заказчиков;
- обслуживание на месте эксплуатации оборудования;
- обслуживание в центрах, производящих не ремонт, а замену;
- обслуживание в центрах ремонта.

Неотъемлемой составной частью систем техобслуживания и ремонта, как системы управления состоянием СПД, является система технического диагностирования. В настоящее время общепризнано, что одним из важных путей повышения эксплуатационной надёжности, и в конечном счёте качества функционирования СПД, является создание эффективной системы технического диагностирования.

Постоянное расширение номенклатуры элементов СПД, усложнение их структуры и применение элементной базы повышенной степени интеграции вызвало серьёзные трудности при организации их технического диагностирования. Поэтому решение задач технического обслуживания и ремонта предполагает разработку и использование соответствующих средств контроля и диагностики СПД на этапе её эксплуатации. С учётом расширения номенклатуры элементов СПД возникает необходимость в снижении требований к квалификации обслуживающего персонала систем технического диагностирования, особенно для центров сервисного обслуживания и ремонта. Диагностическая аппаратура, предназначенная для этих центров должна иметь по возможности минимальные массогабаритные показатели и обеспечивать учёт специфики каждого объекта диагностирования.

В настоящее время известны следующие основные направления работ по повышению надежности функционирования СПД:

1. Повышение надежности за счет использования высоконадежных компонентов. Это направление сопряжено со значительными затратами средств и обеспечивает лишь решение задачи безотказности, но не ремонтпригодности. Наблюдаемая в настоящее время односторонняя ориентация на достижение высокой безотказности (за счет использования более совершенной элементной базы и узлов) в ущерб ремонтпригодности, во многих случаях не приводит, в конечном счете, к повышению коэффициента готовности в реальных условиях эксплуатации. Это связано с тем, что даже высококвалифицированные специалисты тратят на поиск и локализацию неисправностей, с использованием традиционных технических средств диагностики в сложных современных системах до 70-80% активного времени ремонта.

2. Вторым направлением повышения надежности является дублирование или резервирование технических средств и каналов связи. Это направление требует вложения больших экономических и трудовых затрат, кроме того, в этом случае должна быть обеспечена повышенная надежность самих переключающих устройств.

3. Третье направление связано с улучшением технических и эксплуатационных характеристик, путем улучшения показателей ремонтпригодности средствами технической диагностики. Необходимо также отметить, что в существующих СПД отсутствуют средства контроля, которые позволяли бы оперативно обнаруживать ошибки, вызванные аппаратными источниками в передающей и приемной частях (модемах, кодеках, устройствах синхронизации и т.д.). В таких СПД обнаружение факта отказа, поиск и локализация аппаратных источников ошибок производится в режиме «Авария связи», после закливания в работе системы с решающей обратной связью (РОС) из-за большого числа переспросов. Кроме того, большинство существующих автоматизированных

средств контроля и диагностики практически применимы только в ремонтно-профилактических режимах, что приводит к большому пространственно-временному разрыву между возникновением и обнаружением неисправностей. Последнее, в конечном итоге, приводит к значительным экономическим и временным затратам на поиск и локализацию местоположения источника и причины неисправностей.

В этой связи, в целях улучшения показателей контролепригодности, необходимо использовать специальные средства для оперативного обнаружения аппаратных источников ошибок, поиска и локализации, как места появления сбоев и отказов в элементах СПД, так и неисправностей в функциональной схеме цифрового устройства.

С целью поддержания элементов СПД в технически исправном состоянии создается подсистема контроля и диагностики, которая представляет собой совокупность программных и аппаратных средств, предназначенных для диагностирования их технического состояния и поддержания (или восстановления) необходимого качественного уровня работы.

Подсистема технической диагностики состоит из аппаратных и программных средств, обеспечивающих оценку информативных диагностических признаков, позволяющих путем обработки диагностической информации, с заданной вероятностью и глубиной, диагностировать техническое состояние элементов СПД.

В последнее время начало развиваться такое направление, как улучшение эксплуатационно-технических характеристик СПД на основе перспективных средств ВК и сигнатурного анализа.

## **Выводы по главе 1**

1. Показано, что наиболее перспективным является направление обеспечения высокой надежности СПД за счет повышения контролепригодности методами технической диагностики, в отличие от второго направления, базирующегося на принципе предотвращения отказов.
2. Рассмотрена математическая модель, описывающая процесс передачи информации в СПД, позволяющая выявить влияние различных факторов (помех, ошибок, сбоев и отказов) на его эффективность.
3. Показана перспективность и необходимость разработки и исследования новых методов контроля и диагностики элементов СПД встроенными средствами и методом сигнатурного анализа.

## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С РЕШАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

### 2.1. Принципы построения и характеристики СПД

**Системы без обратной связи.** Эти системы часто называют однонаправленными системами, так как для передачи информации используются каналы связи только одного направления. При передаче информации в таких системах простым (безыбыточным) кодом используются все  $N=2^n$  кодовых комбинаций, поэтому ошибочный прием хотя бы одного единичного элемента кодовой комбинации повлечет за собой трансформацию переданного знака в другой, т. е. ошибку. При этом появление в кодовой комбинации ошибки любой кратности не может быть

обнаружено (и тем более исправлено), так как переданная кодовая комбинация превращается в одну из других разрешенных комбинаций.

Для повышения верности в системах БОС используют в основном три способа:

- применение кодов, исправляющих ошибки (избыточных кодов);
- многократную передачу кодовых комбинаций;
- одновременную передачу кодовых комбинаций по нескольким каналам.

Используют также комбинации этих способов, например многократную передачу в сочетании с кодами, обнаруживающими ошибки.

В системах без изменения алфавита корректирующий код используется для исправления ошибок, а в системах с сигналами стирания - для обнаружения или одновременного обнаружения и исправления ошибок. Скорость передачи в системах с кодом, исправляющим ошибки, определяется отношением числа информационных символов  $k$  к общему числу символов в кодовой комбинации  $n$ , т. е.  $R_n = Rk/n$ , следовательно, скорость передачи уменьшается с увеличением избыточности корректирующего кода.

При многократной передаче каждая кодовая комбинация передается несколько раз, а на приеме производится сравнение принятых знаков и решение принимается методом голосования по большинству (мажоритарный метод). Следовательно, для принятия определенного решения число передач каждой кодовой комбинации должно быть нечетным.

Таким образом, правильное решение при трехкратном повторении возможно в двух случаях: когда все 3 раза кодовая комбинация принята правильно или когда она принята правильно 2 раза из 3. Вероятность первого случая  $p_1 = (1-p_0)^3$ , где  $p_0$  - вероятность ошибочного приема единичного элемента;  $k$  - число элементов в кодовой комбинации. Вероятность второго случая в предположении независимости ошибок единичных элементов  $p_2 = C_3^2 (1-p_0)^2 p_0$ , где  $C_3^2$  число сочетаний из 3 по 2. Вероятность ошибочного приема, включая стирания, составляет

$$P_{03} = 1 - p_1 - p_2 = 1 - (1 - p_0)^{3k} - C_{32} (1 - p_0)^{2k} (1 - (1 - p_0)^k).$$

При  $p \ll 1$   $p_{03} \sim 3p_{201}$ , где  $p_{01} = 1 - (1 - p_0)^k$  - вероятность ошибки в кодовой комбинации при отсутствии повторений.

Метод одновременной передачи кодовой комбинации по параллельным каналам со сравнением результатов на приеме и принятием решения на основе мажоритарного метода по своим возможностям в отношении повышения верности идентичен методу многократной передачи, конечно, в случае, когда ошибки в разных каналах независимы. Для обеспечения этого условия каналы должны выбираться в разных линиях связи или, по крайней мере, в разных системах передачи одной линии. Для обеспечения независимости ошибок при методе многократной передачи рекомендуется увеличивать временной интервал между отдельными передачами.

При сочетании метода многократной передачи, с использованием избыточного кода каждая комбинация передается  $r$  раз, причем те из них, в которых обнаружены ошибки, стираются и при последующих повторениях заменяются кодовыми комбинациями, принятыми без ошибки.

**Системы с обратной связью.** В системах с ОС ввод в передаваемую информацию избыточности производится с учетом состояния дискретного канала. С ухудшением состояния канала вводимая избыточность увеличивается, и, наоборот, по мере улучшения состояния канала она уменьшается.

В зависимости от назначения ОС различают системы: с решающей обратной связью (РОС), информационной обратной связью (ИОС) и с комбинированной обратной связью (КОС).

В системах с РОС (рис. 2.1) приемник, приняв кодовую комбинацию и проанализировав ее на наличие ошибок, принимает окончательное решение о выдаче комбинации потребителю информации или о ее стирании и посылке по обратному каналу сигнала о повторной передаче этой кодовой комбинации (переспрос).



Рис 2.1. Структурные схемы системы ПД с РОС.

ПКпер - передатчик прямого канала;

ПКпр - приемник прямого канала;

ОКпер - передатчик обратного канала;

ОКпр - приемник обратного канала;

РУ - решающее устройство

Поэтому системы с РОС часто называют системами с переспросом, или системами с автоматическим запросом ошибок (АЗО). В случае принятия кодовой комбинации без ошибок приемник формирует и направляет в канал ОС сигнал подтверждения, получив который, передатчик ПКпер передает следующую кодовую комбинацию. Таким образом, в системах с РОС активная роль принадлежит приемнику, а по обратному каналу передаются вырабатываемые им сигналы решения (отсюда и название - решающая ОС).

Передача с РОС аналогична телефонному разговору в условиях плохой слышимости, когда один из собеседников, плохо рас слышав какое-либо слово или фразу, просит другого повторить их еще раз, а при хорошей слышимости или подтверждает факт получения информации, или, во всяком случае, не просит повторения.

В системах с ИОС (рис. 2.2.) по обратному каналу передаются сведения о поступающих на приемник кодовых комбинациях (или элементах комбинации) до их окончательной обработки и принятия заключительных

решений. При разговоре по телефону часто используют ретрансляционную ИОС, когда в условиях сильных помех просят собеседника повторить переданное сообщение, чтобы убедиться, что он его воспринял правильно. При правильном повторении передающий дает подтверждение, а при неправильном - повторяет сообщение еще раз. Частным случаем ИОС является полная ретрансляция поступающих на приемную Сторону кодовых комбинаций или их элементов. Соответствующие Системы получили название ретрансляционных. В более общем случае приемник вырабатывает специальные сигналы, имеющие меньший объем, чем полезная информация, но характеризующие качество ее приема, которые по каналу ОС направляются передатчику. Если количество информации, передаваемое по каналу ОС (квитанции), равно количеству информации в сообщении, передаваемом по прямому каналу, то ИОС называется полной. Если же содержащаяся в квитанции информация отражает лишь некоторые признаки сообщения, то ИОС называется укороченной. Таким образом, по каналу ОС передается или вся полезная информация, или информация о ее отличительных признаках, по этому такая ОС называется информационной.

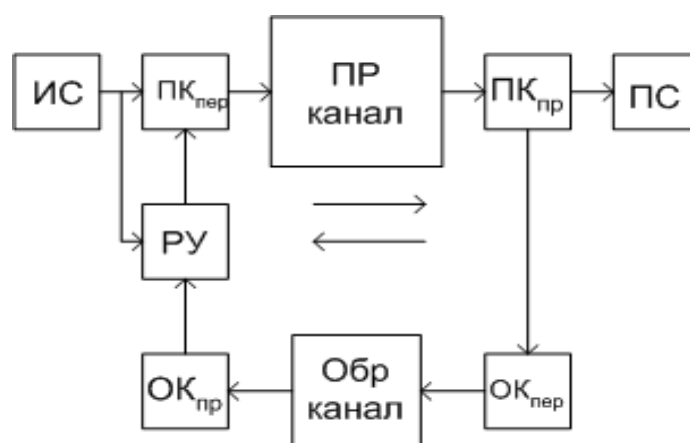


Рис 2.2. Структурные схемы системы ПД с ИОС.

Полученная по каналу ОС информация (квитанция) анализируется передатчиком, и по результатам анализа передатчик принимает решение о передаче следующей кодовой комбинации или о повторении ранее

переданных. После этого передатчик передает служебные сигналы о принятом решении, а затем соответствующие кодовые комбинации. В соответствии с полученными от передатчика служебными сигналами приемник ПК или выдает накопленную кодовую комбинацию получателю информации, или стирает ее и запоминает вновь переданную. В системах с укороченной ИОС, естественно, меньше загрузка обратного канала, но больше вероятность появления ошибок по сравнению с полной ИОС. В системах с КОС решение о выдаче кодовой комбинации получателю информации или о повторной передаче может приниматься и в приемнике, и в передатчике системы ПДС, а канал ос используется для передачи, как квитанций, так и решений.

Системы с ОС подразделяют также на системы с ограниченным числом повторений и с неограниченным числом повторений. В системах с ограниченным числом повторений каждая кодовая комбинация может повториться не более  $L$  раз, и в системах с неограниченным числом повторений передача комбинаций повторяется до тех пор, пока приемник или передатчик не примет решение о выдаче этой комбинации потребителю. При ограниченном числе повторений вероятность выдачи получателю неправильной комбинации больше, но зато меньше потери времени на передачу и проще реализация аппаратуры. Заметим, что в системах с ОС время передачи сообщения не остается постоянным и зависит от состояния канала. Системы с ОС могут отбрасывать либо использовать информацию, содержащуюся в забракованных кодовых комбинациях, с целью принятия более правильного решения. Системы первого типа получили название систем без памяти, а второго – систем с памятью. Обратной связью могут быть охвачены различные части системы:

- 1) канал связи, при этом по каналу ОС передаются сведения о принимаемом сигнале до принятия какого-либо решения;

- 2) дискретный канал, при этом по каналу ОС передаются решения, принятые первой решающей схемой РС на основе анализа единичных элементов сигнала;
- 3) канал передачи данных, при этом по каналу ОС передаются решения, принятые второй решающей схемой РС на основе анализа кодовых комбинаций.

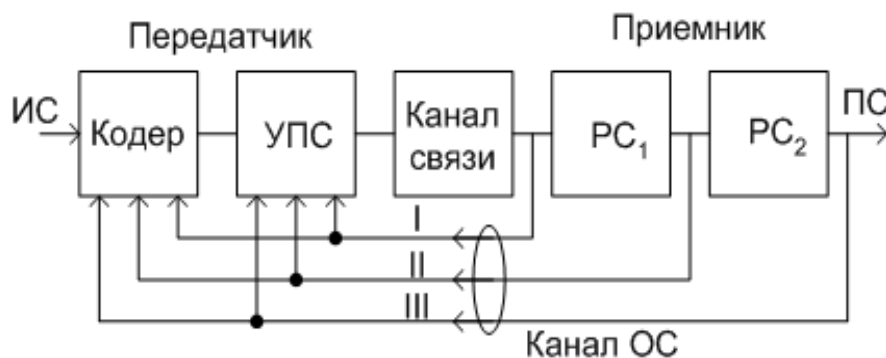


Рис. 2.3. Обратная связь в системе ПДС.

В первом случае для контроля канала связи используют устройства типа детектора качества, которые анализируют те или иные параметры принимаемого сигнала (амплитуду, частоту, длительность) или уровень помех. При этом по каналу ОС могут передаваться команды на изменения параметров передаваемых сигналов: мощности, спектрального состава, темпа передачи, избыточности кода и т. п. На передающей стороне должны быть предусмотрены соответствующие органы воздействия на источники сигналов: регуляторы мощности, корректоры, кодопреобразователи, управляемые сигналами, поступающими по каналам ОС.

Во втором случае в качестве анализатора также обычно используют детекторы качества, контролирующие амплитуду, или краевые искажения сигнала после демодуляции, или и то, и другое.

В третьем случае анализатором служит сам декодер канала, принимающий решение о наличии или отсутствии ошибок в принятых кодовых комбинациях. Из изложенного следует, что системы с ОС являются

адаптивными: темп передачи информации по каналам связи автоматически приводится в соответствие с конкретными условиями прохождения сигналов. Наличие ошибок в каналах ОС приводит к тому, что в системах с РОС возникают специфические потери верности, состоящие в появлении лишних кодовых комбинаций вставок и пропадания кодовых комбинаций выпадений. Вставки получаются в тех случаях, когда приемник посылает сигнал решения о правильности принятой кодовой комбинации, а в канале ОС он трансформируется в сигнал переспроса. В этом случае передатчик повторяет предыдущую кодовую комбинацию, а приемник воспринимает ее как следующую, т. е. потребителю одна и та же кодовая комбинация выдается дважды. Выпадения получаются тогда, когда выработанный приемником сигнал переспроса в канале ОС трансформируется в сигнал подтверждения правильности приема. В этом случае передатчик передает следующую кодовую комбинацию, а предыдущая стирается приемником и к получателю не поступает.

В системах ИОС также возможны потери верности за счет ошибок в каналах ОС. В укороченных ИОС такие ошибки возникают по причинам, аналогичным вышеизложенным, когда квитанция, соответствующая искаженному сигналу в канале ОС, трансформируется в квитанцию, соответствующую неискаженному сигналу. В результате передатчик не в состоянии обнаружить факт ошибочного приема. В полных ИОС в канале ОС возможны искажения, полностью компенсирующие искажения в прямом канале, в результате чего ошибки не могут быть обнаружены. Поэтому вопросам образования каналов ОС в системах ПДС уделяется очень большое внимание. Каналы ОС обычно образуются в каналах обратного направления связи с помощью методов частотного или временного разделения от каналов передачи полезной информации. Методы ЧРК используют обычно в системах со сравнительно небольшой удельной скоростью передачи, например, при передаче данных со скоростью 600... 1200 бит/с по каналам ТЧ. Во многих системах с РОС применяется структурный метод разделения,

когда для сигнала переспроса используется специальная кодовая комбинация, а любая разрешенная кодовая комбинация в приемнике дешифруется как сигнал подтверждения и любая не разрешенная комбинация - как сигнал переспроса. Для защиты от искаженных сигналов, передаваемых по каналам ОС, применяют те же способы, что и для повышения верности полезной информации: корректирующие коды, многократную и параллельную передачи.

В настоящее время известны многочисленные алгоритмы работы систем с ОС. Наиболее распространенными среди них являются системы: с РОС с ожиданием сигнала ОС; с безадресным повторением и блокировкой приемника и с адресным повторением.

Системы с ожиданием после передачи кодовой комбинации либо ожидают сигнал обратной связи, либо передают ту же кодовую комбинацию, но передачу следующей кодовой комбинации начинают только после получения подтверждения по ранее переданной комбинации.

Системы с блокировкой осуществляют передачу непрерывной последовательности кодовых комбинаций при отсутствии сигналов ос по предшествующим  $S$  комбинациям. После обнаружения ошибок в  $(S+1)$ -й комбинации выход системы блокируется на время приема  $S$  комбинаций, в запоминающем устройстве приемника системы ПДС стираются  $S$  ранее принятых комбинаций, и посылается сигнал переспроса. Передатчик повторяет передачу  $S$  последних переданных кодовых комбинаций.

Системы с адресным повторением отличает то, что кодовые комбинации с ошибками отмечаются условными номерами, в соответствии с которыми передатчик производит повторную передачу только этих комбинаций.

В системе с РОС по прямому каналу передаются информационные комбинации длиной  $n$  единичных элементов и команды решения, а по каналу обратной связи - служебные комбинации. В системе с ИОС по прямому каналу передаются информационные комбинации длиной  $k$  единичных элементов и команды решения, а по каналу ОС проверочные комбинации

длиной  $n-k$  единичных элементов. При  $n-k < k$  система с РОС подобна системе с укороченной ОС, при  $n-k = k$  - системе ИОС с полной ОС, нередко при сравнении систем с РОС и ИОС игнорируется это обстоятельство и сопоставляются системы с РОС при  $n-k \ll k$  с системой с полной (ретрансляционной) ОС. В результате сравнения несопоставимых систем делается вывод о том, что скорость передачи в системе с РОС указанного типа вдвое выше, чем в рассмотренной системе с ИОС. При сравнении сопоставимых систем с РОС и ИОС выводы получаются иные. Выберем в качестве объектов сравнения системы с РОС и ИОС, использующие помехоустойчивый код  $(n, k)$ . Если каналы прямого и обратного направлений передачи одинаковы и ошибки в них независимы, то вероятности одинаковой трансформации проверочных разрядов в обоих каналах одинаковы. Поэтому обнаруживающая способность кода не зависит от того, где происходит сравнение проверочных разрядов: на передающей (в системе с ИОС) или на приемной (в системе с РОС) стороне системы. Следовательно, при равной помехозащищенности прямого и обратного каналов и при условии безошибочной передачи служебных сигналов системы с ИОС и РОС обеспечивают одинаковую верность передачи. Отсюда следует, что и среднее число повторных передач (переспросов) в обеих системах совпадает.

Средняя скорость передачи сообщений по прямому каналу в системах с РОС меньше, чем в системах с ИОС, поскольку в первых с каждым сообщением длиной  $k$  дополнительно передается еще  $n-k$  проверочных единичных элементов. В системах с ИОС эти проверочные элементы передаются по обратному каналу. Если помехоустойчивость обратного канала выше, чем прямого, то верность передачи в системах с ИОС также выше, чем в системах с РОС. Такое положение может иметь место, например, при передаче информации с искусственного спутника Земли (ИСЗ) на землю, когда обратный канал может быть организован с помощью мощного передатчика и высокоэффективной антенны. В случае группирующихся ошибок в системах с ИОС часто возникает естественная (за счет разноса во

времени передачи по прямому и обратному каналам) декорреляция ошибок в прямом и обратном каналах. В системах с ОС информационные и проверочные разряды передаются слитно и такая декорреляция отсутствует.

Верность передаваемой информации в обоих типах рассматриваемых систем в значительной степени определяется свойствами выбранного кода, обнаруживающего ошибки. При пакетном распределении ошибок верность определяется не только свойствами кода, но и временем блокировки. Объясняется это тем, что приемник, обнаруживая первую ошибку пакета, блокируется на  $S$  кодовых комбинаций, благодаря чему часть ошибок этого пакета им не воспринимается. Таким образом, увеличение емкости накопителя передатчика приводит к некоторому увеличению верности передачи. Однако при этом снижается пропускная способность системы, так как при запросе приемник блокируется на большее время. Невыгодны и короткие кодовые комбинации, поскольку для обеспечения заданных корректирующих свойств отношение  $k/n$  в них меньше, чем в длинных кодовых комбинациях, т. е. больше относительная избыточность. Поэтому существуют оптимальные значения длин кодов, которые для каналов с определенными характеристиками и заданными скоростями модуляции обеспечивают максимальную скорость передачи информации.

Исследования показали, что при заданной верности передачи оптимальная длина кода в системах с ИОС несколько меньше, чем в системах с РОС, что удешевляет реализацию устройств кодирования и декодирования. Однако общая сложность реализации систем с ИОС больше, чем систем с РОС. Поэтому системы с РОС нашли более широкое применение. Системы с ИОС применяют в тех случаях, когда обратный канал может быть без ущерба для других целей эффективно использован для передачи квитанций.

## 2.2. Принципы адаптации в СПД

Во всех рассмотренных выше системах с РОС с целью обеспечения сохранения порядка следования кодовых комбинаций в принимаемом сообщении для определения местоположения забракованной комбинации используется момент прихода служебной комбинации БП. При каждом переспросе повторно передается минимально одна комбинация (например, в системе с РОС-ОЖ) или блок из нескольких кодовых комбинаций (например, в системе с РОС НПбл). Так как при передаче сообщений с большой скоростью модуляции на большие расстояния обычно используются системы с РОС-НПбл, то скорость передачи в таких системах при больших значениях  $h$  резко уменьшается при росте вероятности обнаруживаемых ошибок, так как при этом резко возрастает число переспросов. Для уменьшения объема информации, повторяемой при переспросах, были разработаны системы с РОС и адресным переспросом (РОС-АП). В этих системах передача информации осуществляется блоками и в приемнике имеется память на весь блок с регистрами для каждой комбинации. Приемник системы РОС-АП вырабатывает сигнал переспроса адресов (условных номеров) комбинаций, в которых обнаружены ошибки, т. е. осуществляет адресный переспрос. В соответствии с этими адресами передатчик повторяет только забракованные комбинации, а не весь блок.

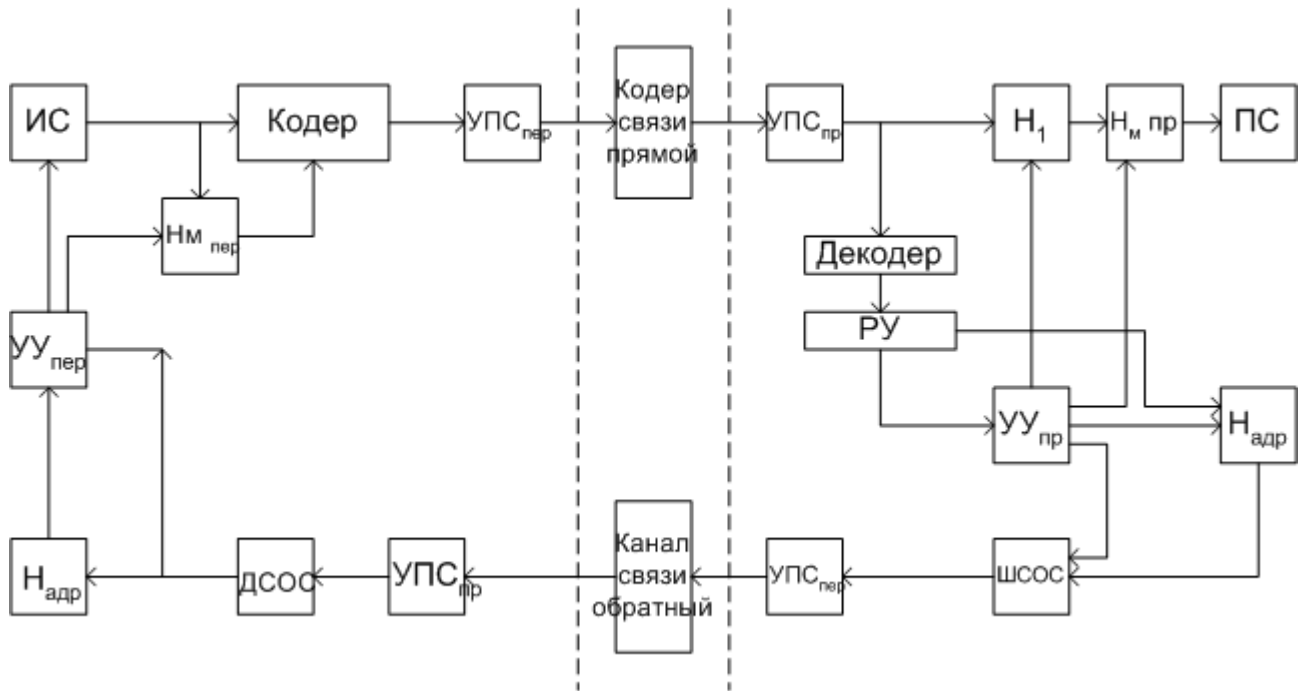


Рис. 2.4. Структурная схема системы ПДС с РОС-АП

По сигналу запроса сообщение от ИС поступает блоком из  $m$  комбинаций (А1). Сообщение на ст. А кодируется кодером, направляется в прямой канал связи и одновременно записывается в накопитель  $N_m$  пер емкостью  $m$  комбинаций (А2, А3). Принятое на ст. Б сообщение сначала по одной комбинации записывается в приемный накопитель  $N_1$  емкостью в одну комбинацию (А4 - А5) и декодируется (А6, А7). Если при декодировании комбинации ошибки не обнаруживаются, то УУпр переписывает комбинацию из  $N_1$  в накопитель емкостью  $t$  комбинаций (А8). При этом комбинация размещается в регистре, который соответствует ее месту (номеру) в блоке данных. Если же фиксируется наличие ошибки, то УУпр стирает комбинацию из накопителя  $N_1$  и соответствующий этой комбинации регистр в остается свободным. Номера комбинаций с ошибками запоминаются в Надр и. После окончания приема всего блока адреса искаженных комбинаций по команде УУ через шифратор сигналов обратной связи ШСОС передается по обратному каналу (А9, А10, А13, А14). В передатчике ст. А они после дешифратора ДСОС запоминаются в накопителе

адресов запрошенных блоков Надр. (A15...A17). Под управлением УУпер в соответствии с этими адресами из Нм пер по прямому каналу передаются нужные комбинации с адресами. Источник информации при этом соответственно блокируется УУпер (A18..A20). Принятые на ст. Б повторенные комбинации опять проверяются на наличие ошибок, а сопровождающие их адреса записываются в Надр и сравниваются с адресами искаженных комбинаций (A21, A22). Если ошибок ни в адресах, ни в комбинациях нет, то принятые комбинации записываются в соответствующие регистры Нм пр (A23). Если обнаруживается ошибка в адресе или в комбинации, то процесс переспроса повторяется. Когда все регистры накопителя Н пр будут заполнены, что свидетельствует о правильном приеме всего блока (или с необнаруженной ошибкой), то УУпр формирует и передает по обратному каналу сигнал подтверждения, а информация из Нм пр выдается ПС (A11, A12). Получив сигнал подтверждения, УУпер разрешает ИС выдать очередной блок информационных комбинаций и стирает предыдущий блок в Нм пер.

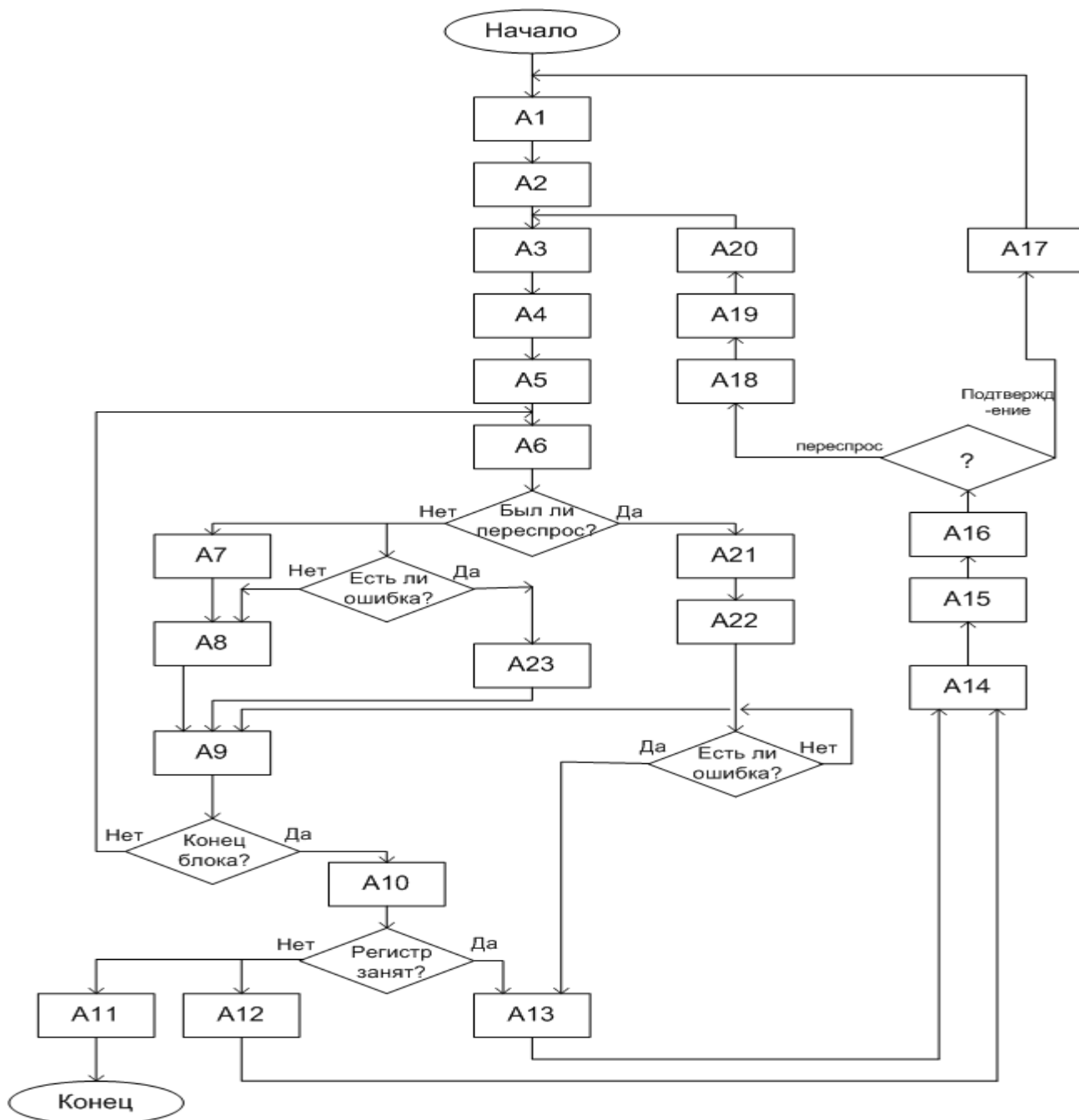


Рис. 2.5. Алгоритм системы ПД с РОС-АП:

A1 - запрос очередного блока комбинаций от ИС; A2 - запись очередного блока в Нмпер, A3 - кодирование; A4 - передача по прямому каналу связи ПК; A5 - прием из ПК; A6- декодирование; A7 - запись одной комбинации (информационной части): в Н1; A8 - запись комбинации в Нмпер из Н1; A9 - контроль конца передачи блока комбинаций; A10 - проверка занятости регистров Нмпр. A11 - выдача блока из Нмпр к ПС; A12 - формирование сигнала подтверждения; A13 - формирование сигнала

переспроса с адресами искаженных комбинаций и запрещение выдачи блока комбинаций из Нмпр к ПС; А14 - передача по обратному каналу; А15 - прием из обратного канала; А16 - дешифрование сигнала ОС; А17 - стирание предыдущего блока комбинаций в Нмпер, А18 - блокировка ИС и запись адресов запрещенных комбинаций в НадрЗ; А19 - извлечение из Нмпер комбинации по принятым адресам; А20 - повторение передачи запрошенных комбинаций с адресами; А21 - запись адресов повторенных комбинаций в НадрИ - сравнение адресов искаженных комбинаций с адресами в НадрИ и определение ошибки в повторенных комбинациях; А23 - определение адреса комбинации с ошибкой, запись, адреса в НадрИ и стирание комбинации из Н1. Достоинством систем с РОС-АП помимо уменьшения потерь времени на повторения, является практически полная независимость (при условии наибольшей емкости) от длины линии, что особенно существенно, например, при передаче по космическим каналам связи (через ИСЗ). Кроме того, если потребитель информации допускает браковку нескольких знаков в кодограмме при условии указания адресов забракованных знаков, то системы с РОС-АП позволяют обеспечить при этом более эффективное использование пропускной способности канала по сравнению с системами с РОС-НП. Действительно, в системах с РОС-НП, несмотря на наличие указанного допущения, число забракованных знаков путем переспросов все равно будет доводиться до нуля, а в системах с РОС-АП алгоритм может быть построен так, что подтверждение на прием блока (квитанция) будет выдаваться в том случае, когда число забракованных знаков в кодограмме не превышает установленного ПС предела. Недостатком систем с РОС-АП является более сложный алгоритм обработки информации в передатчике и приемнике аппаратуры ПД по сравнению с алгоритмом систем с РОС-НП и, как следствие, большая сложность технической реализации. Кроме того, трансформация служебных команд информационных кодовых комбинаций в служебные и обратная трансформация служебных команд могут приводить к искажениям сообщений, вставкам и выпадениям. Поэтому применяются

меры по защите служебных команд от искажений, что влечет за собой некоторое снижение скорости передачи информации. В связи с вышеизложенным применение систем с РОС-АП экономически было оправдано только на линиях большой протяженности и с высокой вероятностью ошибок. Применение программных методов позволяет преодолеть связанные со сложностью алгоритма недостатки, что открыло дорогу внедрению систем РОС-АП в практику.

### 2.3. Выбор оптимальной длины кодовой комбинации в СПД с РОС

Длина кодовой комбинации  $n$  должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить наибольшую пропускную способность канала связи. При использовании корректирующего кода кодовая комбинация содержит  $n$  разрядов, из которых  $k$  разрядов являются информационными, а  $r$  разрядов, из – проверочными:

$$n = k + r.$$

Если в системе связи используются двоичные сигналы (сигналы типа “1” и “0”) и каждый единичный элемент несет не более одного бита информации, то между скоростью передачи информации и скоростью модуляции существует соотношение

$$C = \frac{k}{n} B,$$

где  $C$  – скорость передачи информации, бит/с;

$B$  – скорость модуляции, Бод.

Очевидно, что чем меньше  $r$ , тем больше отношение  $\frac{k}{n}$  приближается к 1, тем меньше отличается  $C$  от  $B$ , т.е. тем выше пропускная способность системы связи.

Известно также, что для циклических кодов с минимальным кодовым расстоянием  $\lambda_0 = 3$  справедливо соотношение

$$r \geq \log_2(n+1).$$

Видно, что чем больше  $n$ , тем ближе отношение  $k/n$  к единице.

Так, например, при  $n = 7$ ,  $r = 3$ ,  $k = 4$ ,  $k/n = 0,571$ ; при  $n = 255$ ,  $r = 8$ ,  $k = 247$ ,  $k/n = 0,964$ ; при  $n = 1023$ ,  $r = 10$ ,  $k = 1013$ ,  $k/n = 0,990$

Приведенное утверждение справедливо и для больших  $k_0$ , хотя точных соотношений для связей между  $r$  и  $n$  нет. Существует только верхние и нижние оценки.

Из изложенного можно сделать вывод, что с точки зрения внесения постоянной избыточности в кодовую комбинацию выгодно выбирать длинные кодовые комбинации, так как с увеличением  $n$  относительная пропускная способность

$$R \frac{C}{B} = \frac{k}{n}$$

увеличивается, стремясь к пределу, равному 1.

В реальных каналах связи действуют помехи, приводящие к появлению ошибок в кодовых комбинациях. При обнаружении ошибки декодирующим устройством в системах с РОС производится переспрос группы кодовых комбинаций. Во время переспроса полезная информация не передается, поэтому скорость передачи информации уменьшается.

Можно показать, что в этом случае

$$C = B \frac{k}{n} \left[ 1 - \frac{P_{00}(M+1)}{P_{nn} + P_{00}(M+1)} \right],$$

где  $P_{00}$  – вероятность обнаружения ошибки декодером (вероятность переспроса);

$P_{nn}$  – вероятность правильного приема (безошибочного приема) кодовой комбинации;

$M$  – емкость накопителя передатчика в числе кодовых комбинаций.

При малых вероятностях ошибки в канале связи ( $P_{ош} < 5 \cdot 10^{-3}$ ) вероятность  $P_{00}$  также мала, поэтому знаменатель мало отличается от 1 и можно считать

$$C \approx B \frac{k}{n} [1 - P_{00} (M + 1)].$$

При независимых ошибках в канале связи, при  $n \ll * P_{00} \ll 1$

$$P \approx n * P_{00},$$

тогда

$$C \approx B \frac{k}{n} [1 - n * P_{00} * (M + 1)].$$

Емкость накопителя

$$M = \langle 3 + \frac{2t_p}{t_{комб}} \rangle, *$$

где  $t_p$  – время распространения сигнала по каналу связи, с;

$t_{комб}$  длительность кодовой комбинации из  $n$  разрядов, с.

$$\text{Но } t_p = \frac{l}{v}; \quad t_{комб} = \frac{n}{B},$$

где  $L$  – расстояние между оконечными станциями, км;

$V$  – скорость распространения сигнала по каналу связи, км/с;

$B$  – скорость модуляции, Бод.

После простейших подстановок окончательно имеем

$$R = \frac{k}{n} [1 - P_{00} * \left( 4n + \frac{2LB}{v} \right)].$$

Нетрудно заметить, что при  $P_{00} = 0$  формула (8) превращается в формулу (3).

\*)  $\langle \rangle$  означает, что при расчете  $M$  следует брать большее ближайшее целое значение.

При наличии ошибок в канале связи величина  $R$  является функцией  $P_{00}$ ,  $n$ ,  $k$ ,  $B$ ,  $L$  и  $v$ . Следовательно, существует оптимальное  $n$  (при заданных  $P_{00}$ ,  $L$ ,  $B$  и  $v$ ), при котором относительная пропускная способность будет максимальной.

Формула (8) еще более усложняется в случае зависимых ошибок в канале связи (при пакетировании ошибок).

Выведем эту формулу для модели ошибок Пуртова.

Как показано в (1), число ошибок  $t_{об}$  в комбинации, длиной в  $n$  разрядов, определяется формулой. Для обнаружения такого числа ошибок находим циклический код с кодовым расстоянием  $\mathfrak{L}_0$  не менее  $\mathfrak{L}_0 \leq t_{об} + 1$ . Поэтому, согласно формуле (7.38), необходимо определить вероятность

$$P(\geq t_{об}, n) = (n/t_{об})^{1-\alpha} * P_{ош} = (n/\alpha_0 - 1)^{1-\alpha} * P_{ош}$$

как показано, с некоторым приближением можно связать вероятность

$P(\geq t_{об}, n)$  с вероятностью необнаруживаемой декодером ошибки  $P_{но}$  и числом проверочных разрядов в кодовой комбинации

$$P_{но} \approx \frac{1}{2^r} * P(\geq t_{об}, n). \quad (9)$$

Подставляя значение  $P(\geq t_{об}, n)$  в (9) с заменой  $t_{об}$  на  $d_0 - 1$ , имеем

$$r = \langle (1 - \alpha) \log_2 \frac{n}{\alpha_0 - 1} + \log_2 P_{ио} - \log_2 P_{иі} \rangle. \quad (10)$$

При расчетах на микрокалькуляторах удобнее пользоваться десятичными логарифмами. После преобразований

$$r = \langle 3,32[(1 - \alpha) \lg \frac{n}{\alpha_0} + \lg P_{ио} - \lg P_{иі}] \rangle. \quad (11)$$

Возвращаясь к формулам (6) и (8) и произведя замену  $k$  на  $n - r$  с учетом значения  $r$ , из формулы (11) получим

$$\frac{k}{n} = \{1 - \frac{3,32}{n} * [(1 - \alpha) \lg \frac{n}{\alpha_0} + \lg P_{ио} - \lg P_{иі}]\}$$

Второй член формулы (8) с учетом группирования ошибок по соотношению примет вид

$$1 - P_{ио} * n^{1-\alpha} * (4 + \frac{2LB}{vn}).$$

Окончательно

$$R = \{1 - \frac{3,32}{n} [(1 - \alpha) \lg \frac{n}{\alpha_0} + \lg P_{ио} - \lg P_{иі}]\} * [1 - P_{ио} * n^{1-\alpha} (4 + \frac{2LB}{vn})]. \quad (12)$$

Длину кодовой комбинации циклического кода следует выбирать равной  $2^m - 1$ , где  $m$  – целое число (5, 6, 7, 8, ...), т.е. равной 31, 63, 127, 255, 511, 1023, 2047 и т.д.

## **Выводы по главе 2**

Анализ СПД с решающей обратной связью. Рассмотрены принципы построения, характеристики и адаптация в СПД. Приведена методика выбор оптимальной длины кодовой комбинации в СПД с РОС.

## **3. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

### **3.1. Надежность систем передачи данных**

Одним из основных требований, предъявляемых к системам ПДИ, является требование высокой надежности. Надежностью называют свойство системы обеспечить нормальное выполнение всех заданных функций в течение регламентированного промежутка времени при сохранении в заданных пределах всех качественных показателей. Под СПДИ в рассматриваемом случае будем понимать тракт передачи дискретной информации, т. е. совокупность технических средств и каналов связи, обеспечивающих передачу дискретной информации между двумя непосредственно связанными источником и получателем информации. В соответствии с функциональным назначением СПДИ надежностью тракта передачи дискретной информации (ТПДИ) называют способность тракта обеспечивать передачу определенного объема информации с заданной верностью за установленный промежуток времени.

Наиболее высокие требования по надежности среди СПДИ предъявляют к системам передачи данных (СПД). Поэтому дальнейшее изложение вопросов надежности СПДИ проводится применительно к трактам передачи данных (ТПД). В общем случае тракт передачи данных (рис. 3.1) состоит из нескольких параллельно включенных каналов связи, аппаратуры передачи данных (АПД) и аппаратуры обслуживания (АО).

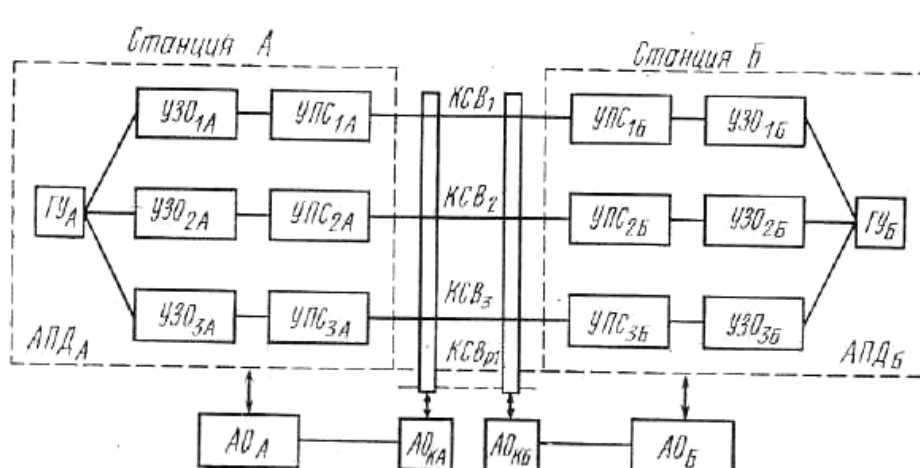


Рис. 3.1. Структурная схема ТПД при параллельной работе каналов ПД

Каналы связи, входящие в состав ТПД, могут быть различных типов, качества и протяженности. Помимо основных рабочих каналов ( $КС_{Bi}$ ), организуется некоторое число резервных ( $КС_{Bzi}$ ). Контроль за состоянием основных и резервных каналов осуществляется с помощью аппаратуры обслуживания каналов связи ( $АО_R$ ), а замена неисправных каналов связи резервными — с помощью устройств резервирования каналов связи (УРКС).

Аппаратура передачи данных представляет собой совокупность устройств преобразования сигналов (УПС) и устройств защиты от ошибок (УЗО), содержащих групповые устройства (ГУ). В простейших случаях АПД может состоять только из УПС. Аппаратура обслуживания представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих отображение сигналов состояний (контроля), выдачу команд управления (например, резервирования), ведение переговоров по каналу связи, документирование режимов работы каналов передачи данных. Групповые устройства ГУ на передающей стороне обеспечивают параллельную передачу сообщений по нескольким каналам, а на приемной выборку информации из того канала, в котором она в данный момент принимается с большей верностью.

Основной составной частью ТПД является канал передачи данных (симплексный или дуплексный), представляющий собой совокупность канала связи и АПД (рис. 3.2). Из сравнения рис. 3.1 и 3.2 следует, что в случае одного канала понятия «канал ПД» и «тракт ПД» совпадают.

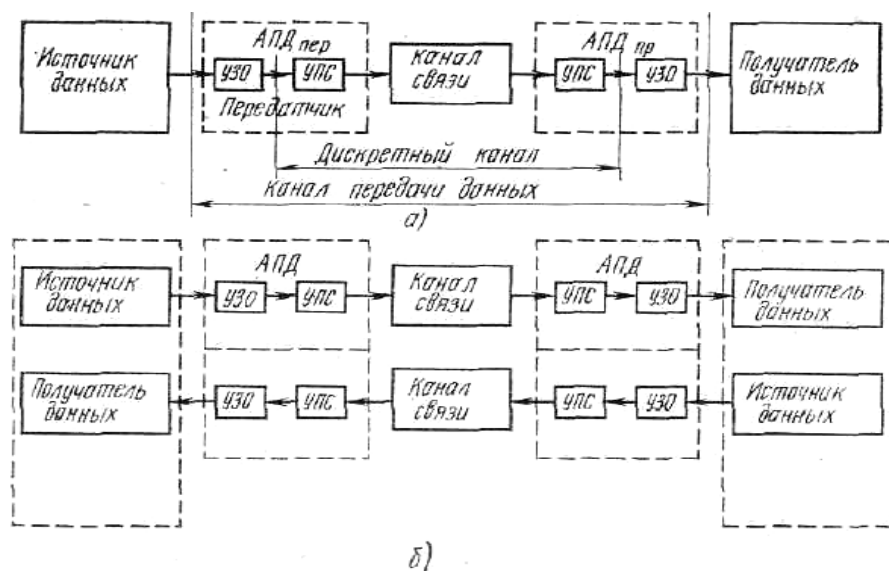


Рис. 3.2. Схемы симплексного (а) и дуплексного (б) каналов ПД

В соответствии с вышеприведенным определением надежности ТПД последняя может понизиться в следующих случаях: требуемая верность передачи обеспечивается, но время передачи заданного объема информации превышает нормативное; время передачи в пределах нормативного, но верность передачи ниже требуемой; верность передачи ниже требуемой и время передачи больше нормативного.

Время передачи сообщения  $t$  определяется с момента ввода в передатчик АПД первого разряда блока (знака) до момента вывода из приемника АПД последнего разряда этого же блока (знака). Оно складывается из аппаратных задержек (времени преобразования информации в передатчике и приемнике АПД) и времени распространения сигнала по каналу связи:  $t = t_a + t_k$ , где  $t_a$  — аппаратные задержки;  $t_k$  — время распространения по каналу связи. В системах без обратной связи  $t = \text{const}$ , а  $t_k$  может быть как постоянной (например, в каналах кабельных линий связи), так и переменной (например, в каналах связи через ИСЗ) величиной. В системах с обратной связью  $t_a$  и  $t_k$  — величины переменные и определяются выражениями:  $t_a = t_{a.o} + n\Delta t_a$ ;  $t_k = t_{k.o} + n\Delta t_k$ , где  $t_{a.o}$  — аппаратные задержки при отсутствии ошибок в канале;  $t_{k.o}$  — время распространения сигнала при отсутствии

ошибок в канале;  $\Delta t_a$  — дополнительная аппаратная задержка вследствие ухудшения качества канала;  $\Delta t_k$  — увеличение времени распространения сигнала за счет повторения передачи информации ухудшения качества канала;  $n=0, 1, 2, \dots$  — число повторений передачи информации. Следовательно,  $t=t_{a,0} + t_{k,0} + n\Delta t$ , где  $\Delta t = \Delta t_a + \Delta t_k$  — переменная задержка, определяемая качеством канала.

При отсутствии ошибок в канале ( $n = 0$ )  $t=t_{a,0} + t_{k,0} = \text{const}$ . В этом случае передача информации по тракту ПД характеризуется Номинальной скоростью он, т. е. средним числом блоков (знаков) выданных из АП Д (УЗО) абоненту (в аппаратуру обработки данных АОД) за единицу времени. При наличии в канале ошибок реальная скорость передачи информации  $u_p$ , т. е. среднее число блоков (знаков), выданных из АПД (УЗО) в АОД за единицу времени, является величиной переменной; в системах с обратной связью зависит от числа повторений передачи информации. Отношение реальной скорости к номинальной называется эффективностью тракта ПД:

$$\alpha = \frac{u_p}{u_n} = \frac{t=t_{a,0} + t_{k,0}}{t=t_{a,0} + t_{k,0} + n\Delta t} \leq 1.$$

Обычно реальную скорость в трактах ПД выбирают таким образом, чтобы выполнялось соотношение  $t \leq t_y$  (где  $t_y$  — нормативное время передачи) при условии отсутствия в каналах помех и отказов.

В трактах ПД, в которых для повышения верности применяются УЗО с ОС, заданная верность обеспечивается повторной передачей информации. Однако большое число повторений передачи информации может привести к превышению нормативного времени передачи заданного массива информации. Поэтому причины снижения надежности в системах с ОС фактически обуславливаются превышением нормативного времени передачи.

Событие, которое заключается в полном или частичном прекращении выполнения системой заданных функций или в выходе ее рабочих показателей за установленные пределы, называется отказом. При неисправности тракта не всегда возникает отказ. Поясним сказанное

примером. Пусть требуется передавать за каждый временной интервал длительностью  $t$  дискретную информацию объемом  $W$ . Передача ведется со скоростью  $v$  бит/с, при избыточности используемого кода  $d$ , где  $d$  — доля избыточных разрядов в кодовой комбинации. Время, необходимое непосредственно для передачи информации объемом  $W$  со скоростью  $v$ , составит  $W(d+1)/v$ . Обычно временной интервал длительностью  $t$  (называемый иногда интервалом обмена или передачи) с целью создания некоторого резерва времени выбирается несколько больше, чем  $W(d+1)/v$ . Резерв времени на интервале длительностью  $t$ :

Эта величина представляет собой максимально допустимую суммарную длительность всех неисправностей за время  $t$ . Следовательно, к отказам тракта будут приводить все те неисправности, суммарная длительность которых превышает  $\theta$ . Поэтому величину  $\theta$  можно назвать критерием отказа ТПД. Из этого следует, что в зависимости от величины  $\theta$  одни и те же неисправности тракта будут либо приводить, либо не приводить к отказу. Величина критерия отказа определяется в значительной мере характером передаваемой информации. Для медленно стареющей информации (например, статистических данных) критерий отказа может составлять десятки минут и даже часы. При передаче быстро стареющей информации (например, в системах управления воздушным движением) критерий отказа измеряется секундами и даже долями секунды.

Отказы принято делить на постепенные и внезапные. Поскольку постепенные отказы в значительной мере выявляются при испытаниях элементов и устройств в процессе производства и при регламентных работах в процессе эксплуатации, то преобладающее влияние на надежность ТПД оказывают внезапные отказы. Различают также отказы устойчивые и самоустраняющиеся. Системы передачи данных относятся к классу восстанавливаемых систем. Длительность устойчивого

отказа обусловлена временем его устранения, которое зависит от системы контроля, квалификации обслуживающего персонала, наличия резервного и запасного оборудования, системы ремонта.

Тракт передачи данных состоит из двух основных частей: каналов связи и аппаратуры передачи данных. Поэтому надежность ТПД определяется надежностью каналов связи и АПД. Вопросы надежности АПД, являющейся разновидностью радиоэлектронной аппаратуры, рассматриваются в курсе «Основы дискретной автоматики». Надежность каналов связи имеет свою специфику, связанную с тем, что они образуются в разных системах передачи, имеют протяженность от нескольких до многих тысяч километров, в них входят как линейные сооружения, так и станционные устройства. Рассмотрим вопросы надежности каналов связи для наиболее сложного и в то же время представляющего большой интерес для передачи данных случая каналов тональной частоты, образованных по междугородным кабельным магистралям.

Несмотря на высокую степень автоматизации современных магистралей связи, надежность каналов связи в значительной мере определяется не только надежностью линейных сооружений и станционной аппаратуры, но и эксплуатационной надежностью, обусловленной системой организации технической эксплуатации и квалификацией техперсонала. Расчет надежности линейных сооружений весьма затруднителен из-за специфичности их конструкции и условий работы. Поэтому наиболее целесообразно определять надежность каналов связи по результатам статистической обработки данных об их отказах. Анализ статистических данных показал, что отказы в каналах, образованных в кабельных магистралях связи, целесообразно разделить на три группы: длительные (от нескольких десятков минут до нескольких часов), средней длительности (от 3 до 30 мин), кратковременные (менее 3 мин).

Длительные отказы возникают весьма редко в результате повреждений кабеля и общих станционных устройств, и для них характерен выход из строя всех каналов данной магистрали. Их количество с увеличением длины магистрали в первом приближении возрастает линейно, а длительность почти не зависит от ее длины. Отказы средней длительности возникают, как правило, при повреждении отдельных узлов станционного оборудования, а также в результате действий техперсонала. Отказы, обусловленные повреждениями общих узлов станционного оборудования конечных и промежуточных пунктов магистрали, которые приводят к выходу из строя сразу всех или многих систем передачи данной магистрали, при расчете надежности трактов ПД считаются коррелированными. Примерные зависимости среднего времени между двумя последовательными некоррелированными ( $T_{г}$ ) и коррелированными ( $T'_{г}$ ) отказами второй группы от протяженности линии показаны на рис. 3.3\*. Нелинейность этих зависимостей объясняется тем, что по мере увеличения протяженности канала возрастает число переприемных пунктов, имеющих более сложное оборудование по сравнению с усилительными станциями.

Наиболее многочисленными являются кратковременные отказы. В большинстве случаев (80%) они возникают в результате повреждений аппаратуры (плохие контакты и др.) или действий обслуживающего персонала, 20% составляют кратковременные отказы, вызванные импульсными помехами. Как правило, кратковременные отказы – самовосстанавливающиеся, однако в ряде случаев для их устранения требуется вмешательство обслуживающего персонала.

Кратковременные отказы, вызванные перерывами и импульсными помехами в цепях, общих для всех или нескольких систем передачи, при расчете надежности трактов ПД считаются коррелированными.

Среднее время между кратковременными отказами и их средняя длительность существенно зависят от численной величины критерия

отказа. Примерные зависимости среднего времени между некоррелированными отказами ( $T_2$ ) от длины магистрали при различных значениях критерия отказа приведены на рис. 3.4а,

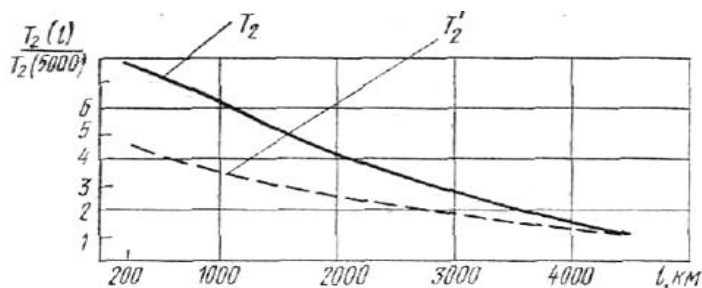


Рис. 3.3. Среднее время между отказами второй группы

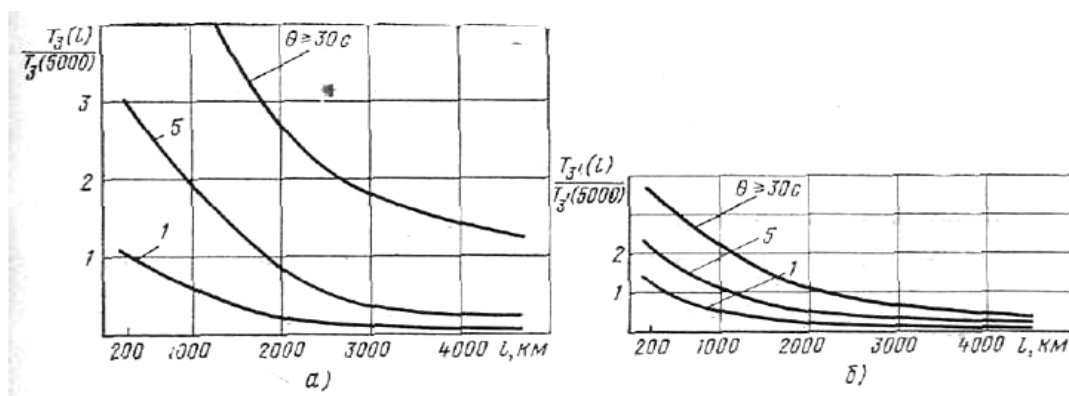


Рис. 3.4. Среднее время между некоррелированными и коррелированными кратковременными отказами

а аналогичные зависимости для коррелированных отказов — на рис. 3.4б. Средняя длительность кратковременных отказов существенно зависит от критерия отказа и почти не меняется от Длины магистрали. Примерная зависимость средней длительности кратковременных перерывов  $t_3$  от критерия отказа  $\theta$  представлена на рис. 3.5в.

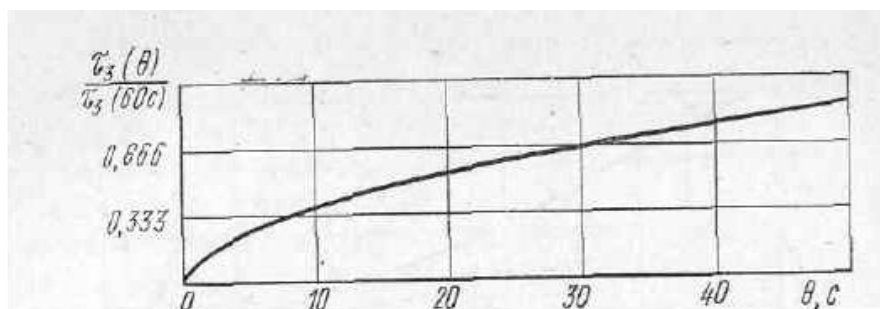


Рис. 3.5. Средняя длительность кратковременных отказов

Тракт передачи данных в целом и его основные составные части — каналы связи и аппаратура передачи данных — могут пребывать в<sup>1</sup> двух состояниях: работоспособности и отказа. Поэтому для количественной оценки надежности канала связи, АПД и ТПД необходимы, по крайней мере, две характеристики. Состояние работоспособности этих комплексов характеризуется значением *n* работы на отказ *T*, которая определяется как среднее значение длительности непрерывной работы комплекса между двумя отказами:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad (3.2)$$

где *T<sub>i</sub>* — время работы между *i*—1 и *i*-м отказами; *N*— общее число отказов во время испытаний.

Для характеристики безотказности отдельных элементов и узлов наряду с величиной *T* применяют интенсивность отказов  $\lambda = 1/T$ , которая представляет собой условную плотность вероятности возникновения отказа в рассматриваемый момент времени при условии, что до этого отказ не возникал.

Состояние отказа характеризуется величиной среднего времени восстановления  $\tau$ , которое определяется как среднее время простоя комплекса, вызванное отысканием и устранением данного отказа:

$$\tau = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i, \quad (13.3)$$

где  $\tau_i$  — длительность *t*-го отказа.

Для оценки ремонтпригодности устройств наряду с величиной  $\tau$  используется интенсивность восстановления  $[X=* \quad 1/\tau]$ , характеризующая число восстановлений в единицу времени.

Обобщенным показателем надежности комплекса является коэффициент готовности *K<sub>г</sub>*, характеризующий вероятность

того, что комплекс будет находиться в исправном состоянии в произвольно выбранный момент времени:  $K_T = T / (T + \tau)$ .

Наряду с указанными характеристиками надежности часто используют вероятность безотказной работы  $p(t)$ , т. е. вероятность того, что за данный отрезок времени  $t$  не произойдет отказа:

$$p(t) = e^{-t/T}$$

В качестве основных показателей надежности тракта ПД обычно выбираются коэффициент готовности  $K_2$  и среднее время между отказами (наработка на отказ)  $T$ .

При расчетах надежности трактов различной структуры (см. рис. 3.1) приходится рассматривать системы, представляющие собой последовательно-параллельное соединение многих элементов (рис. 3.6). Если функции распределения времени безотказной работы и функции распределения времени восстановления элементов

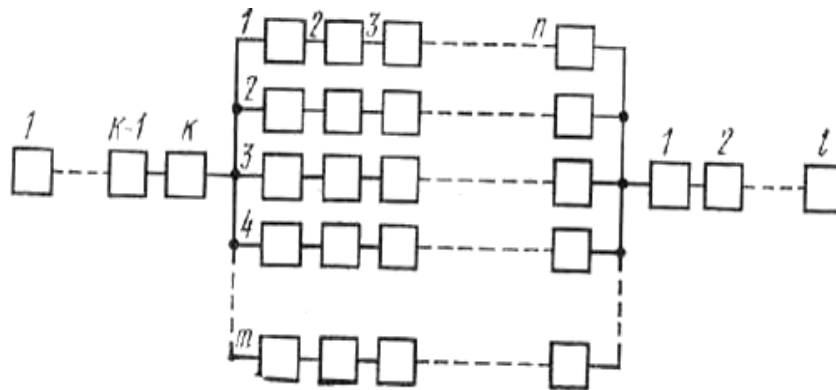


Рис. 3.6. Система с последовательно – параллельным соединением элементов

показательны, то расчет упрощается путем замены последовательно соединенных элементов одним эквивалентным элементом, показатели надежности которого рассчитываются следующим образом:

$$K_T = \prod_{i=1}^n K_{T_i}; T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}} \quad (3.6); (3.7)$$

где  $K_{T_i}$  — коэффициент готовности  $i$ -го элемента;  $T_i$  — наработка на отказ  $i$ -го элемента;  $n$  — число последовательно соединенных элементов.

При тех же предположениях совокупность  $m$  параллельных элементов может быть заменена одним эквивалентным с показателями надежности:

$$K^{\wedge} \Gamma = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - K \Gamma_j); \quad (3.8)$$

$$\Gamma^{\wedge} = \frac{K^{\wedge} \Gamma}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\Gamma_{j+\tau_j}}} \prod_{\substack{s=1 \\ s \neq j}}^m (1 - Krs), \quad (3.9)$$

Где  $K_{j_j}$  — коэффициент готовности  $j$ -го элемента;  $Krs$  — коэффициент готовности  $s$ -го элемента ( $s \neq j$ );  $\Gamma_j$  — наработка на отказ  $j$ -го элемента;  $\tau_j$  — время восстановления  $j$ -го элемента.

При расчете параметров надежности ТПД, состоящего из канала связи и АПД, сначала определяют по отдельности надежность канала и АПД. Для расчета надежности канала связи его представляют классификацией отказов в виде последовательного соединения пяти элементов, как это показано на эквивалентной схеме рис. 3.7. Каждый из этих элементов, как видно из рисунка, характеризуется одним из видов отказов. В соответствии со схемой рис. 3.7 показатели надежности канала связи для магистрали, состоящей из одного участка, рассчитываются в следующем порядке:

1. По статистическим данным (по графикам, аналогичным приведенным на рис. 3.3—3.5) для заданного критерия отказа и заданной длины магистрали определяют значения  $\Gamma$  и  $\tau$  для каждого вида отказов (рис. 3.7).

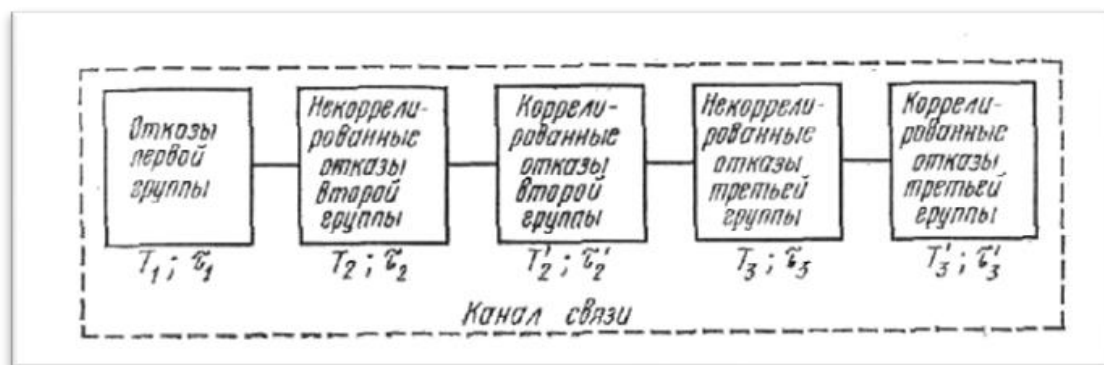


Рис. 3.7. Эквивалентная схема для расчета надежности канала связи

2. Для каждого элемента, изображенного на схеме рис. 137,

находят значения коэффициента готовности по формуле  $\gamma = \Gamma / (\Gamma + \tau)$ .

3. Определяют коэффициент готовности  $K_{\Gamma,к.с}$  среднее время между отказами  $T_{к.с}$  и среднее время восстановления  $T_{к.с}$  канала связи по формулам:

$$K_{\Gamma,к.с} = \frac{T_1 T_2 T_2' T_3 T_3'}{(\tau_1 + T_1)(\tau_2 + T_2)(\tau_2' + T_2')(\tau_3 + T_3)(\tau_3' + T_3)'};$$

$$1/\lambda_{к.с} = 1/T_1 + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_2'} + \frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_3'}; T_{к.с} = 1/\lambda_{к.с};$$

$$\tau_{к.с} = (1 - K_{\Gamma,к.с}) T_{к.с} / K_{\Gamma,к.с}.$$

Показатели надежности АПД в соответствии со схемой рис. 3.1 определяются по формулам:

$$K_{\Gamma АПД} = K_{\Gamma узо} K_{\Gamma упс}; \quad (3.10)$$

$$T_{АПД} = \frac{T_{сy} T_{узо} T_{упс}}{T_{сy} T_{узо} + T_{сy} T_{упс} + T_{узо} T_{упс}} \quad (3.11)$$

где  $K_{сy}$ ,  $T_{сy}$  — соответственно коэффициент готовности и наработка на отказ согласующего устройства;  $K_{узо}$ ,  $T_{узо}$  — то же устройства защиты от ошибок;  $K_{упс}$ ,  $T_{упс}$  — то же устройства преобразования сигналов.

### 3.2. Расчет надежности элементов СПД

Повышение надежности ТПД осуществляется путем увеличения надежности каналов связи и АПД за счет увеличения  $T$  и снижения  $\tau$ . Вопросы повышения надежности каналов связи изучаются в курсах «Линейно-кабельные сооружения связи» и «Многоканальная связь». В данном курсе рассматриваются вопросы повышения надежности ТПД за счет АПД и выбора структуры тракта.

Повышение надежности АПД за счет применения более надежных электронных элементов приводит к удорожанию аппаратуры. Поэтому при решении задачи повышения надежности АПД необходимо учитывать и экономические факторы. Наибольшая экономическая эффективность АПД достигается при комплексном решении задачи повышения надежности на

всех этапах разработки и производства АПД. Как показано, наименьшая суммарная стоимость АПД с определенным уровнем надежности достигается в том случае, когда мероприятия по ее обеспечению закладываются на самых ранних стадиях проектирования и уточняются на всем протяжении разработки и изготовления АПД. В процессе технической эксплуатации также могут быть проведены существенные мероприятия по повышению надежности.

В тех случаях, когда надежность тракта передачи данных, образованных по одному каналу, оказывается недостаточной, ее повышают путем резервирования, т. е. введения в тракт ПД дополнительных элементов (сверх необходимых для ее работы), способных взять на себя функции основных элементов в случае их отказа. В качестве резервируемого элемента может быть выбран как отдельный узел, блок или АПД в целом, так и переприемный участок канала связи или весь канал и, наконец, весь тракт ПД в целом. Обычно применяют сочетание резервирования отдельных участков тракта и тракта в целом.

Резервные элементы могут быть подключены к основному в течение всего времени и находиться в одинаковом с ним режиме или подключаться только при отказе основного элемента. Первый вид резервирования называют постоянным, второй - резервированием замещением. Для практической реализации резервирования замещением необходимы переключающие устройства, включающие резервные элементы при отказе основных. В современных системах передачи данных используют в основном автоматические переключатели, поскольку на обнаружение отказа и ручное включение резерва требуется столько времени, что резервирование теряет свой смысл. В случае очень жестких критериев отказа применяют постоянное резервирование.

Надежность тракта ПД при параллельной работе двух каналов. Параллельная работа двух каналов является примером способа постоянного резервирования. Информация в оба канала поступает одновременно (рис.

13.8). Здесь приняты следующие обозначения: ИИ, ПИ — соответственно источник и приемник информации; СУ— сопрягающее устройство. При выходе из строя одного из каналов или возникновения ошибок б информации, передаваемой по этому каналу, информация продолжает поступать к потребителю из другого канала. Поступление информации прекращается только тогда, когда одновременно выходят из строя оба канала. Такое событие называется отказом тракта.

Условная схема для расчета надежности тракта ПД, показанного на рис. 3.8, представлена на рис. 3.9. В дальнейшем будем обозначать коэффициент готовности 1-го элемента  $r_1$ , а коэффициент потерь  $a_j = 1 - \beta_j$ ;

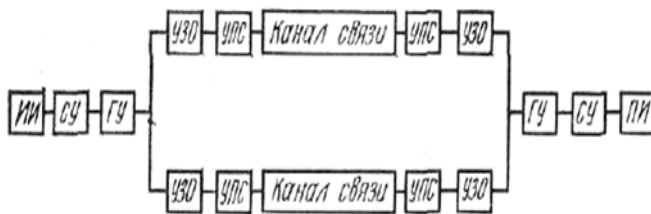


Рис. 3.8. Схема двухкратного тракта ПД

Показатели надежности элемента 1 вычисляются по ф-лам (13.6) и (13.7) для двух последовательно соединенных полукомплектов ГУ и СУ, а показатели надежности

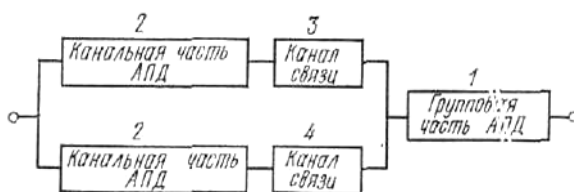


Рис. 3.9. Условная схема для расчета надежности тракта ПД

элемента 2 — для двух последовательно соединенных полукомплектов УЗО и УПС:

$$\beta_1 = K_2 \text{ ГСУ } K_2 \text{ ГГУ}; T_1 = 1/\lambda_1 = 1(2 \lambda_{\text{СУ}} + 2 \lambda_{\text{ГУ}});$$

$$\tau_1 = 1/\mu_1 = \alpha_1/(\lambda_1 \beta_1); \beta_2 = K_2 \text{ ГУЗО } K_2 \text{ ГУПС}$$

$$T_2 = 1/\lambda_2 = 1(2 \lambda_{\text{УЗО}} + 2 \lambda_{\text{УПС}}); \tau_2 = \alpha_2/ \lambda_2 \beta_2,$$

где  $\lambda$  — интенсивность отказов;  $\mu$  — интенсивность восстановления.

Величины  $\lambda_{су}, \lambda_{ГУ}, \lambda_{УПС}, \lambda_{УЗО}, \lambda_{ГУПС}, \lambda_{Гузо}, \lambda_{ГУ},$  и  $\lambda_{Гсу}$  в (13.15) — (13.20) не являются показателями надежности, отдельного устройства, а характеризуют надежность каждого из них в системе ПД с учетом применяемого там режима эксплуатации и контроля.

Для окончательного расчета надежности двухканального тракта ПД в соответствии с эквивалентной схемой рис. 13.9 необходимо еще знать показатели надежности элементов 3 и 4, т. е. каналов связи. Они зависят от того, как организованы оба канала связи: в одной системе передачи, в разных системах по одной магистрали или по географически разнесенным магистралям. С целью повышения эффективности резервирования каналы связи, используемые для параллельной работы, должны быть по возможности независимыми, т. е. не иметь совпадающих отказов. Проведенные исследования показали, что между отказами в каналах связи, образованных с помощью одной системы передачи кабельных линий, имеется тесная зависимость; значительно меньшая зависимость наблюдается между каналами связи, образованными в разных системах передачи одной магистрали. Каналы связи, образуемые в географически разнесенных магистралях, практически независимы, поэтому общая часть каналов связи в схеме на рис. 13.8 отсутствует.

Для дальнейшего упрощения расчета имеется возможность преобразовать схему рис. 3.9, заменив элементы 2 и 3 одним эквивалентным элементом  $2^*$  с показателями надежности  $\lambda_{2^*} = \lambda_2 + \lambda_3$ ;  $\beta_{2^*} = \beta_2 \beta_3$ ;  $\alpha_{2^*} = 1 - \beta_{2^*}$ , а элементы 2 и 4 заменить одним эквивалентным элементом  $3^*$  с показателями надежности  $\lambda_{3^*} = \lambda_2 + \lambda_4$ ;  $\beta_{3^*} = \beta_2 \beta_4$ ;  $\alpha_{3^*} = 1 - \beta_{3^*}$ . После этого условная схема для расчета надежности тракта принимает вид рис. 13.10. Эта схема допускает дальнейшее преобразование. Параллельно соединенные элементы  $2^*$  и  $3^*$  заменяют одним эквивалентным элементом с показателями надежности  $\beta_{2^*,3^*} = 1 - \alpha_{2^*} \alpha_{3^*}$ ;

$$\lambda_{2^*3^*} = \frac{\lambda_{3^*} \alpha_{2^*} \beta_{3^*} + \lambda_{2^*} \beta_{2^*} \alpha_{3^*}}{1 - \alpha_{2^*} \alpha_{3^*}} ;$$

последнее выражение следует из (3.9)]. Теперь показатели надежности схемы рис. 3.10 определяются как

$$K_{\Gamma} = \beta_1 \beta_{2,3*}; \quad T = 1/(\lambda_1 + \lambda_{2*} + \lambda_{3*}).$$

Параллельная передача по двум каналам по сравнению с одноканальным трактом, помимо увеличения надежности, обеспечивает и улучшение информационных показателей ТПД, а именно: повышение скорости передачи информации за счет уменьшения числа повторных передач искаженных комбинаций, так как переспрос производится только в том случае, когда ошибка обнаруживается в обоих каналах; повышение верности передачи в каналах

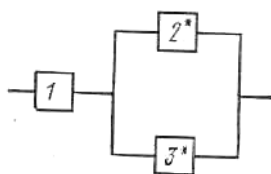


Рис. 13.10. Эквивалентная схема тракта ПД

с группирующимися ошибками, так как выборка информации происходит из канала, находящегося в исправном состоянии.

Как видно из схемы рис. 3.9, единственным нерезервированным устройством при параллельной работе является групповое устройство АПД. В то же время оно является одним из самых сложных устройств комплекса. Поэтому его надежность должна отвечать весьма высоким требованиям, что является недостатком способа параллельной передачи.

Надежность двухканального тракта ПД с переключением каналов ПД. Схема тракта ПД, состоящего из двух каналов ПД с переключением, представлена на рис. 3.11. Передача информации в каждый момент времени осуществляется только по одному

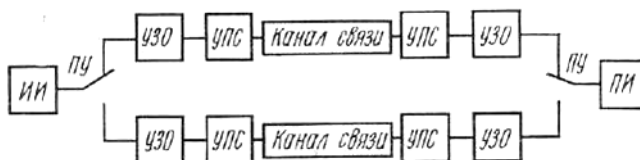


Рис. 3.11. Схема двухканального тракта ПД с переключением каналов ПД

каналу ПД, другой канал — резервный. Когда по рабочему каналу передается информация, по резервному передаются специальные контрольные тесты, позволяющие судить о его работоспособности. Когда выходит из строя рабочий канал, происходит переключение на резервный, если последний исправен. Вышедший из строя канал после восстановления становится резервным. Система с переключением каналов ПД является примером способа резервирования замещением с горячим резервом.

Время переключения на резервный канал, т. е. время задержки передачи информации при возникновении отказа рабочего канала, определяется по формуле

$$T_{рез} = T_{об} + T_{пер} + T_{вос},$$

(3.23)

где  $T_{об}$  — время обнаружения аварийного состояния рабочего канала и выработки сигнала аварии, которое тем меньше, чем более совершенна система контроля и сигнализации;  $T_{пер}$  — собственно время переключения;  $T_{вос}$  — время восстановления функционирования тракта ПД после переключения на резервный канал, которое может быть значительно уменьшено при использовании горячего резервирования. Быстродействие переключателя должно быть таким, чтобы длительность переключения не превышала критерия отказа. При этом можно считать переключение «мгновенным». Переключатель можно условно разделить на две функционально самостоятельные части — исполняющую и управляющую. Исполняющая часть осуществляет замыкание контактов, через которые проходит передаваемая информация; отказ исполняющей части переключателя даже при исправных каналах ПД приводит к отказу тракта. Управляющая часть переключателя осуществляет прием и обработку

сведений о исправности каналов ПД и осуществляет переключение. Отказы тракта возникают только в тех случаях, когда отказы управляющей части переключателя совпадают по времени с переключениями.

Условная схема для расчета надежности, тракта ПД, работающего по двум каналам с переключением (рис. 3.12), в случае,

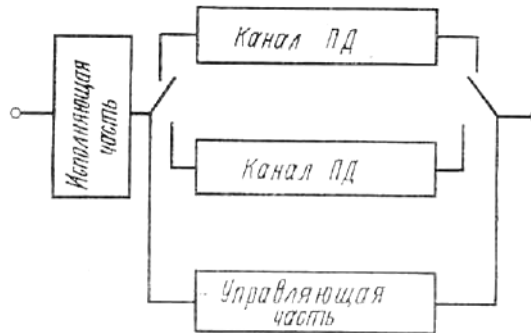


Рис. 3.12. Условная схема для расчета надежности тракта ПД

когда каналы связи проходят в разных магистралях, преобразуется в эквивалентную ей схему рис. 13.13. Показатели надежности элемента 1 определяются как показатели надежности исполнительной части переключателя, элементов 2 и 3 – как показатели надежности каналов ПД, вычисляемые по методике, описанной в §3.3, а элемента 4 – как показатели надежности управляющей части переключателя.

4. Исправен элемент 1, а элемент 4 неисправен, но система функционирует. Вероятность такого состояния определена выражением (13.26). Переход из этого состояния в отказовое происходит в результате отказа элемента 1 и элемента 2 или 3, стоящего на рабочем месте. Отсюда среднее число переходов равно  $\lambda_1 + \lambda$ . Из сказанного следует, что

$$N = \beta_2 \beta_4 \beta_1 \lambda_1 + 2 \beta_1 \beta_4 \alpha \beta (\lambda_1 + \lambda) + \beta_1 \alpha_4 \beta (\lambda_1 + \lambda) + \frac{\beta_1 \alpha_4 \beta \mu_4 (\lambda_1 + \lambda)}{\mu_4 + \lambda + \mu} = (\lambda_1 + \lambda) K_{\Gamma} - \lambda \beta_2 \beta_4 \beta_1. \quad (3.28)$$

Окончательное выражение для среднего времени отказов принимает вид

$$T = \frac{K_{\Gamma}}{(\lambda_1 + \lambda) K_{\Gamma} - \lambda \beta_2 \beta_4 \beta_1}. \quad (13.29)$$

Надежность двухканального тракта ПД с переключением каналов связи. Статистические данные об отказах каналов ПД указывают на то, что самым ненадежным звеном в канале ПД является канал связи. Современная элементарная база позволяет создавать аппаратуру передачи данных очень высокой надежности. Однако, как бы ни были высоки показатели надежности АПД, организовать высоконадежный канал ПД по низко надежному каналу связи невозможно. Поэтому с целью увеличения надежности системы часто используются два канала связи. Функциональная схема тракта ПД с переключением каналов связи представлена на

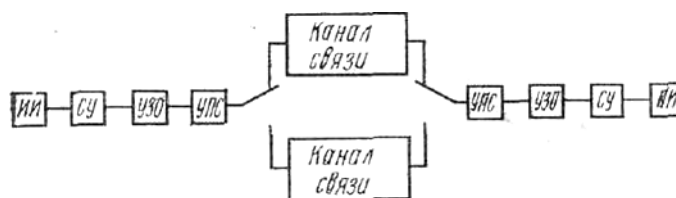


Рис. 3.14. Схема тракта ПД с переключением каналов связи

рис. 3.14. Длительность переключения должна быть меньше критерия отказа. При высокой надежности переключателя условная схема для расчета надежности тракта при организации каналов

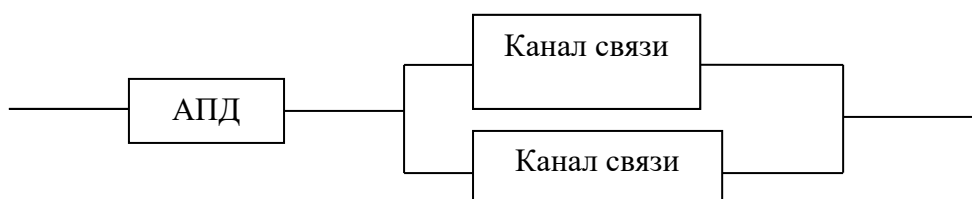


Рис. 3.15. Условная схема для расчета надежности тракта ПД

Показатели надежности элемента 1 определяют согласно схеме рис. 13.16, эквивалентной схеме рис. 13.15, как показатели надежности последовательного соединения двух полукомплектов УПС, УЗО, СУ; показатели надежности элементов 2 и 3 равны показателям надежности каналов связи, рассчитываемым по методике.

Сравнение рис. 3.14 с рис. 13.9 позволяет записать выражение для  $K_{Г.ТР}$  по аналогии с выражениями (3.21) и (3.22):  $K_{Г.ТР} = \beta_1 \beta_{2,3}; T = 1/(\lambda_1 + \lambda_{2,3})$ .

Переключатель каналов связи принципиально не отличается от переключателя каналов ПД. В соответствии с этим условная обобщенная схема для расчета надежности тракта ПД с ненадежным переключателем каналов связи аналогична схеме рис. 3.12, а выражения для расчетов  $K_{Г.ТР}$  и  $T_{ТР}$  суть (3.27) и (3.29).

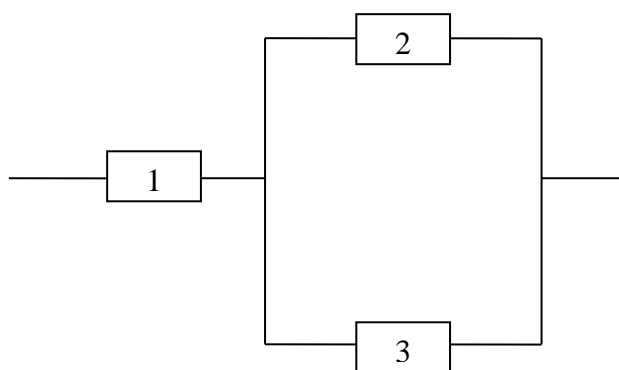


Рис. 3.16. Эквивалентная схема тракта ПД

При этом, поскольку каналы связи проходят в разных магистралях, показатели надежности элемента 1 определяются как показатели надежности последовательного соединения исполнительной части переключателя и двух полукомплектов УПС, УЗО и СУ. Показатели надежности каналов связи рассчитываются по методике, описанной в § 13.2. Показатели надежности элемента 4 есть показатели надежности управляющей части переключателя.

Достоинством системы резервирования каналов связи по сравнению с системой резервирования каналов ПД является меньший объем оборудования АПД. Недостатком данного способа резервирования является необходимость коррекции частотных характеристик и подстройки устройств тактовой и цикловой синхронизации после замены рабочего канала на резервный, что приводит к увеличению  $T_{Вос}$  и, следовательно,  $T_{рез}$ . Поэтому резервирование каналов связи обычно применяют в СПД с

достаточно большими критериями отказа. В этих случаях проявляется еще одно достоинство, этой системы: возможность во время исправного состояния рабочего канала связи использовать резервный канал связи для передачи другой информации, например телефонной.

### 3.3. Расчет надежности элементов СПД

Порядок расчета надежности каналов и трактов ПД подробно изложен. Приведем конкретный пример расчета. Канал ПД организован на кабельной магистрали длиной 3200 км, состоящей из четырех участков. Используется аппаратура ЧРК типа К-300. Среднее время наработки на отказ как передающей, так и приемной части УЗО, составляет  $T=500$  ч. Среднее время восстановления  $\tau=20$  мин. Такие же параметры имеет и устройство преобразования сигналов УПС. Критерий отказа  $t_{\text{отк}} = 1,0$  мин.

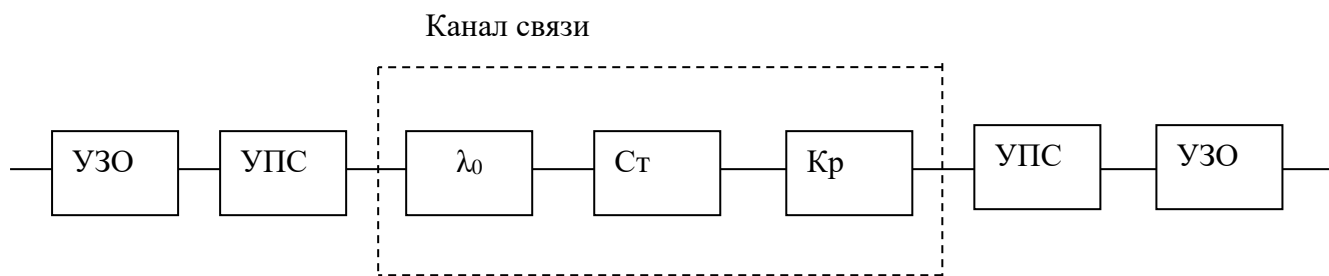


Рис-4. Эквивалентная схема расчета

Эквивалентная схема расчета приведена на рис. 4. В блоке канала связи указаны три типа отказов – линейные, станционные и кратковременные. Сначала определим  $\lambda$  – характеристики составляющих элементов и  $K_T$ :

$$\lambda_{УЗО} = \frac{1}{T} = \frac{1}{500} = 0,021/ч;$$

$$\lambda_{УПС} = \frac{1}{T} = \frac{1}{500} = 0,021/ч;$$

$$K_{эУЗО} = \frac{T}{T + \tau} = \frac{500}{500 + 0,33} = 0,999340;$$

$$K_{2УПС} = \frac{T}{T + \tau} = \frac{500}{500 + 0,33} = 0,999340;$$

Для определения характеристик канала связи необходимо составить таблицу, подобную таб. 2. Величины  $\lambda$  и  $K_T$  – берутся из приложений 2 и 3.

Для всего канала связи:

$$\lambda_{ло} = \sum_{i=1}^4 \lambda_{iлл} = 0,000566;$$

$$\lambda_{ст} = \sum_{i=1}^4 \lambda_{iсс} = 0,02503;$$

$$\lambda_{кр} = \sum_{i=1}^4 \lambda_{iкк} = 0,036394;$$

$$K_{2ло} = \prod_{i=1}^4 K_{2лоi} = 0,998591;$$

$$K_{2ст} = \prod_{i=1}^4 K_{2сти} = 0,993337;$$

$$K_{2кр} = \prod_{i=1}^4 K_{2кри} = 0,99954;$$

Для канала связи:

$$\lambda_{кс} = \lambda_{ло} + \lambda_{ст} + \lambda_{кр} = 0,061991/ч;$$

$$K_{2кс} = K_{2ло} * K_{2ст} * K_{2кр} = 0,991481;$$

Для канала передачи данных:

$$\lambda_{кнд} = 2\lambda_{узо} + 2\lambda_{УПС} + \lambda_{кс} = 0,069990;$$

$$K_{2КПД} = K_{2УЗО}^2 * K_{2УПС}^2 * K_{2кс} = 0,98908;$$

Среднее время наработки на отказ КПД:

$$\dot{O}_{\text{ЕІА}} = \frac{1}{\lambda_{\text{ЕІА}}} = 14,29\div.$$

Среднее время восстановления КПД:

$$\tau_{кпд} = \frac{T_{кпд}(1-K_{зкпд})}{K_{зкпд}} = 0,15781ч.$$

Вероятность безотказной работы за 12ч:

$$P(t=12ч) = e^{-t/T_{кпд}} = 0,432$$

Если полученные надежностные характеристики не удовлетворяют требованиям задания, то нужно применить меры по повышению надежности. При малых критериях отказа (менее 3 мин), как правило, применяют постоянное резервирование.

Рассмотрим случай постоянного резервирования параллельным подключением второго канала ПД, образованного в той же кабельной магистрали и в одном и том же комплекте аппаратуры К-300. коррелированными (общими) отказами для тракта ПД, состоящего из двух каналов ПД, будут линейные и станционные отказы, а также отказы группового устройства, обеспечивающего передачу информации по двум параллельным каналам.

Схема для расчета тракта ПД приведена на рис. 5.

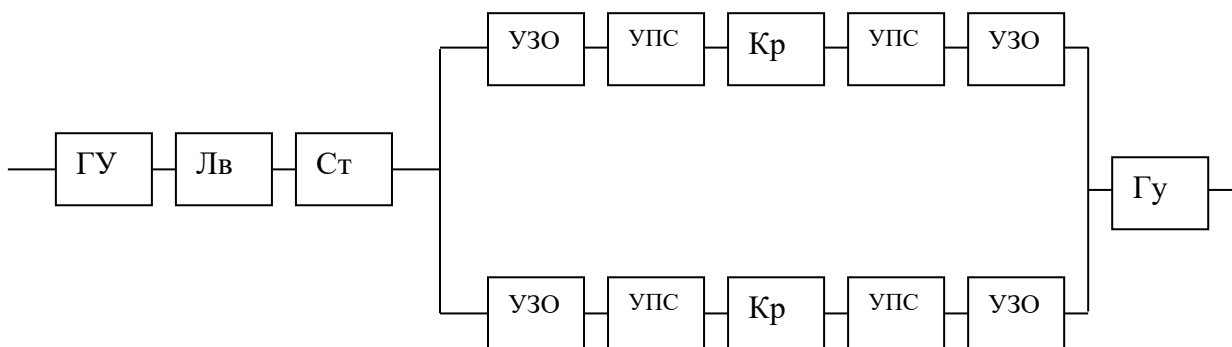


Рис. 5. Схема для расчета тракта ПД

Зададим среднее время наработки на отказ группового устройства (ГУ)  $T_{гy} = 1500$  ч, а  $\tau = 1,5$  ч.

Тогда

$$\lambda_{гy} = \frac{1}{1500} = 0,000661/ч, \quad K_{згy} = \frac{1500}{1500 + 1,5} = 0,999001.$$

Определим параметры каждой ветви параллельной части схемы

$$\lambda_1 = 2\lambda_{yzo} + 2\lambda_{ync} + \lambda_{кр} = 0,0443941/ч;$$

$$\lambda_2 = 2\lambda_{yzo} + 2\lambda_{ync} + \lambda_{кр} = 0,0443941/ч;$$

$$K_{21} = K_{2yzo} * K_{2ync} * K_{кр} = 0,9971171/ч;$$

$$K_{22} = K_{21} = \dots = 0,997117.$$

Среднее время восстановления

$$\tau_1 = \frac{1 - K_{21}}{\lambda_1 * K_{21}} = 0,0651409ч;$$

$$\lambda_2 = \lambda_1.$$

Интенсивность восстановления

$$\mu_1 = \frac{1}{\tau_1} = 15,351/ч;$$

$$\mu_2 = \mu_1.$$

Определим параметры параллельной части схемы в целом

$$K_{2нар} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - K_{2i}) = 1 - (1 - K_{21})(1 - K_{22}) = 0,9999917;$$

$$\mu_{нар} = \mu_1 + \mu_2 = 30,7ч;$$

$$\tau_{нар} = \frac{1}{\mu_{нар}} = 0,3257ч;$$

$$\lambda_{нар} = \frac{1 - K_{2нар}}{\tau_{нар} * K_{2нар}} = 0,00025481/ч.$$

Определим параметры всей схемы (тракта передачи данных):

$$\lambda_{ТПД} = 2\lambda_{ГУ} + \lambda_{ЛО} + \lambda_{СТ} + \lambda_{ПАР} = 0,0271841/ч;$$

$$T_{ТПД} = \frac{1}{\lambda_{ТПД}} = 36,79ч;$$

$$K_{2ТПД} = K_{2ГУ}^2 * K_{2ЛО} * K_{2ст} * K_{2ПАР} = 0,9899461;$$

$$\tau_{ТПД} = \frac{1 - K_{2ТПД}}{\lambda_{ТПД} * K_{2ТПД}} = 0,373639ч;$$

$$P(t = 12) = e^{-\frac{t}{T_{ТПД}}} = 0,7217.$$

Сравнивая надежностные показатели КПД и резервированного ТПД, можно заметить, что среднее время наработки на отказ возросло в 2,6 раза, а вероятность безотказной работы – в 1,7 раза.

Дальнейшим шагом к повышению надежности может быть организация ТПД с помощью двух каналов ПД, организованных в одной

кабельной магистрали, но в разных комплектах аппаратуры К-300 (или другого типа).

Схема для расчета надежности изображена на рис. 6.

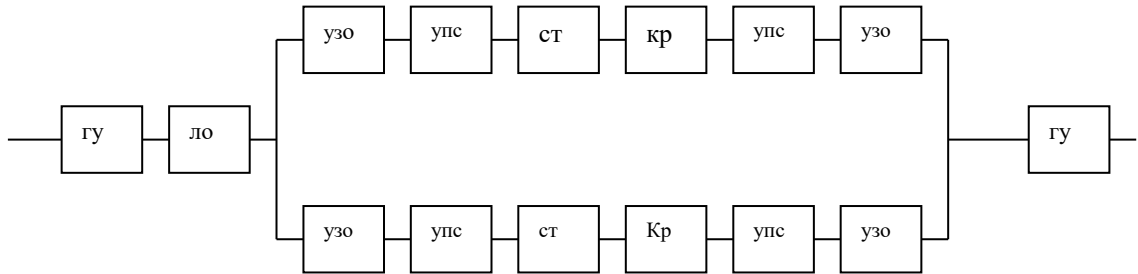


Рис. 6. Схема для расчета надежности

При этом варианте построения ТПД коррелированы линейные отказы и отказы ГУ. Станционные, кратковременные отказы, отказы УЗО и УПС независимы.

Расчет надежности производится аналогично предыдущему варианту.

$$\lambda_1 = 2\lambda_{узо} + 2\lambda_{упс} + \lambda_{ст} + \lambda_{кр} = 0,069242 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_2 = \lambda_1;$$

$$K_{z1} = K_{z_{узо}}^2 \cdot K_{z_{упс}}^2 \cdot K_{z_{ст}} \cdot K_{z_{кр}} = 0,990473;$$

$$K_{z2} = K_{z1};$$

$$\tau_1 = \frac{1 - K_{z1}}{\lambda_1 \cdot K_{z2}} = 0,13854 \text{ ч};$$

$$\tau_2 = \tau_1;$$

$$\mu_1 = \frac{1}{\tau_1} = 7,218 \text{ 1/ч};$$

$$\mu_2 = \mu_1.$$

Определим параметры параллельной части схемы в целом:

$$K_{z_{нар}} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - K_{zi}) = 1 - (1 - K_{z1})(1 - K_{z2}) = 0,999909;$$

$$\mu_{нар} = \mu_1 + \mu_2 = 14,436 \text{ ч};$$

$$\tau_{нар} = \frac{1}{\mu_{нар}} = 0,06927 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_{нар} = \frac{1 - K_{z_{нар}}}{\tau_{нар} \cdot K_{z_{нар}}} = 0,001311 \text{ 1/ч};$$

Определим параметры ТПД:

$$\lambda_{ТПД} = 2\lambda_{г\gamma} + \lambda_{ло} + \lambda_{нар} = 0,003209 \text{ 1/ч};$$

$$T_{ТПД} = \frac{1}{\lambda_{ТПД}} = 311,55 \text{ ч};$$

$$K_{эТПД} = K_{эг\gamma}^2 \cdot K_{эло} \cdot K_{энар} = 0,996504;$$

$$\tau_{ТПД} = \frac{1 - K_{эТПД}}{\lambda_{ТПД} \cdot K_{эТПД}} = 1,092 \text{ ч};$$

$$P(t = 12) = e^{-\frac{t}{T_{ТПД}}} = 0,962.$$

Сравнив последний вариант с предыдущим, можно заключить что среднее время наработки на отказ и вероятности безотказной работы резко увеличились.

В том случае, если полученные характеристики не удовлетворяют требованиям задания, нужно рассчитать характеристики варианта, при котором ТПД организован по двум каналам ПД, организованном в двух разнесенных кабельных магистралях. Здесь все виды отказов (за исключением отказов ГУ) будут независимы.

Схема для расчета этого варианта приведена на рис. 7.

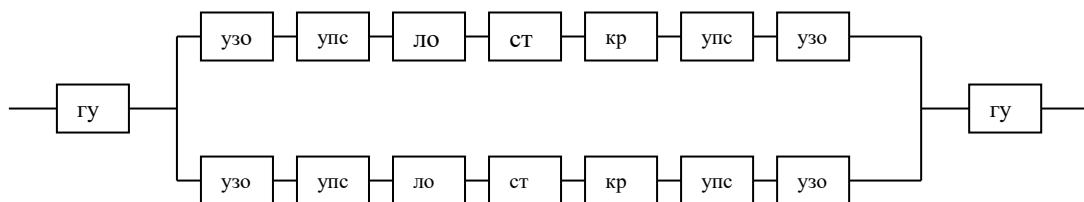


Рис. 7. Схема для расчета этого варианта

Заметим, что при организации каналов ПД в разнесенных магистралях, длины магистралей окажутся разными. Поэтому следует по географической карте определить длину обходной магистрали и длину участков, образующих магистраль. Если надежность характеристики и этого варианта не будет отвечать заданию, необходимо рассчитать варианты организации ТПД по трем каналам ПД; сначала в одной кабельной магистрали и в одной аппаратуре ЧРК, затем – в одной кабельной магистрали, но в разных

комплектах аппаратуры ЧРК, и, наконец, в трех разнесенных кабельных магистралях.

### **Выводы по главе 3**

Приведен анализ методов повышения надежности СПД. Приведены основные характеристики надежности и их расчет. Рассмотрены основные методы повышения надежности трактов ПД при параллельной работе двух каналов и с переключением каналов ПД. Проведен расчет надежности элементов СПД для различных вариантов резервирования.