

УДК 621.396

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТУРЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ*

Б.И. ФИЛИППОВ¹, Е.А. МАЛАХОВА²

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доцент, кандидат технических наук. E-mail: filippov-boris@rambler.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет. E-mail: kate.lion@mail.ru

В работе проводится предварительная оценка характеристик надежности аппаратуры гидроакустического канала связи (ГАКС). Для обеспечения необходимой надежности выполнены соответствующие расчеты, однако вопросам надежности аппаратуры уделялось необходимое внимание и в процессе разработки аппаратуры – при выборе вариантов построения аппаратуры, выборе элементной базы и типономиналов элементов. При проектировании аппаратуры ГАКС ставится задача добиться наиболее простыми способами наибольшей надежности, чтобы иметь достаточный запас прочности, так как все расчеты в теории надежности строятся на основании среднестатистических данных о надежности составных элементов и реально полученная надежность может быть несколько ниже расчетной. При расчете надежности учитывалось то обстоятельство, что донная часть аппаратуры эксплуатируется под водой и она недоступна для ремонта в случае отказа аппаратуры и, соответственно, невозможности ее всплытия. По характеру применения в соответствии с ГОСТ В.20.39.307-76 аппаратура относится к классу 2, вид 1 (донная часть – категория А, судовая часть – категория Б), что и учитывалось в процессе расчетов при определении соответствующих элементов аппаратуры в зависимости от температуры окружающей среды. Надежность аппаратуры определяется надежностью микросхем, диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов, печатных плат, разъемов и вспомогательных элементов схем. При оценке надежности аппаратуры использовался экспоненциальный закон распределения вероятностей отказа ее элементов, так как только для этого закона имеются необходимые справочные данные об интенсивности отказов элементов электронных схем. Все расчеты интенсивности отказов различных элементов были сведены в таблицы. Расчеты показали, что наработка на отказ аппаратуры гидроакустического канала связи и всплывающих модулей системы спутниковой связи (ВМССС) составляет 16 500 часов, что более чем в три раза превышает требуемую величину (5000 часов).

Ключевые слова: гидроакустический канал, судовая часть ГАКС, донная станция, интенсивность отказов, среднее время наработки на отказ, температурный режим, структурная схема, экспоненциальный закон, типономинал

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-4-67-91

*Статья получена 31 августа 2015 г.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании аппаратуры гидроакустического канала связи (ГАКС) ставится задача добиться наиболее простыми способами наибольшей надежности, чтобы иметь достаточный запас прочности, так как все расчеты в теории надежности строятся на основании среднестатистических данных о надежности составных элементов и реально полученная надежность может быть несколько ниже расчетной.

При расчете надежности будем учитывать то обстоятельство, что донная часть аппаратуры эксплуатируется под водой и она недоступна для ремонта в случае отказа аппаратуры и, соответственно, невозможности ее всплытия. Поэтому рассчитаем отдельно надежность (время наработки до отказа) донной части и судовой части аппаратуры. Расчет надежности донной части аппаратуры ГАКС был выполнен в исследовании [1].

Особенности гидроакустического канала были рассмотрены в работе [2], а в [3] был обоснован выбор сигналов для передачи информации по таким каналам.

Описание и обоснование структурной схемы аппаратуры ГАКС, а также результаты испытаний рассмотрены в работах [4–9].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕШЕНИЕ

Структурная схема бортового модуля ГАКС приведена на рис. 1. В составе бортового модуля аппаратуры ГАКС, так же как и в донном, можно условно выделить антенный модуль, устройство формирования и обработки бортового модуля (УДОФБ) и оптический изолятор (ОИ).

Устройство и работа гидроакустического антенного модуля, устройства дискретной обработки и формирования бортового модуля аппаратуры ГАКС полностью совпадают с устройством и работой соответствующих устройств донного модуля ГАКС. Отличие донной и судовой частей аппаратуры заключается в узлах, реализованных на 2-м микроконтроллере PIC. Отличие состоит в том, что все управление донным модулем ГАКС осуществляется от встроенного 2-го микроконтроллера PIC, а в бортовом модуле управление осуществляется от ЭВМ судовой приемо-обрабатывающей аппаратуры. На встроенном в бортовой модуль аппаратуры 2-м микроконтроллере PIC реализуются операции кодирования кодовых комбинаций сигнала управления, декодирование кодовых комбинаций сигнала квитанций [10], измерения интервала времени между окончанием передачи с судна команды управления и моментом приема соответствующей квитанции, а также операции обмена сигналами между бортовым модулем и ЭВМ СПОА по последовательному каналу

(RS-232) с гальванической развязкой типа «токовая петля». Основным (наиболее продолжительным) режимом работы бортового модуля ГАКС является режим приема, перевод в режим передачи осуществляется при поступлении из ЭВМ судового приемно-обрабатывающего комплекса (СПОК) номера (адреса) вызываемой донной станции «А» и номера передаваемой на нее команды управления «К». Соответствующие сигналы из блока сопряжения с ЭВМ D19 подаются в кодер кодовых комбинаций сигнала команд управления D16. В блоке сопряжения с ЭВМ D19 формируется сигнал PRD (передача), по которому в кодере D16 генерируются шесть кодовых комбинаций сигнала команды управления; сигнал излучается в направлении донной станции. В момент окончания передачи сигнала команды управления включается счетчик интервала времени D19, измеряющий продолжительность интервала времени ΔT от момента передачи сигнала команды управления до момента получения соответствующей квитанции; полученное значение интервала ΔT используется в ЭВМ СПОК для расчета наклонной дальности до гидроакустической автономной донной станции (ГДАС).

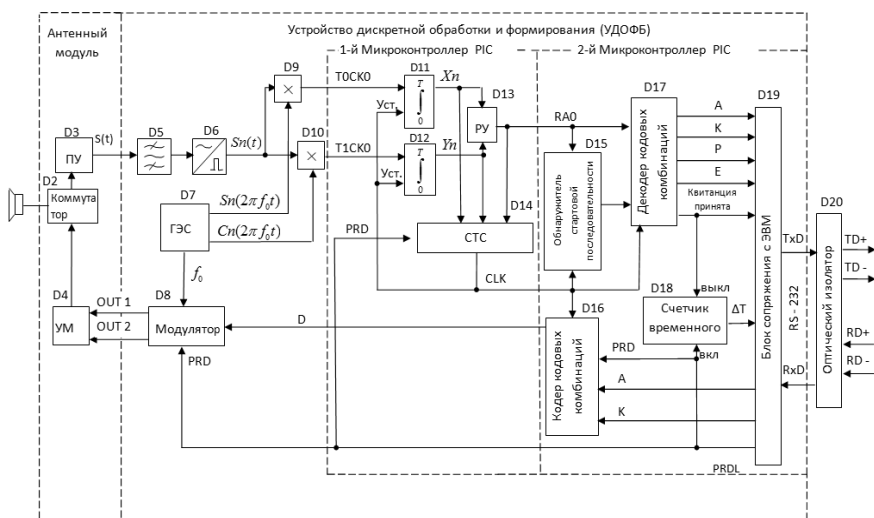


Рис. 1. Аппаратура гидроакустического канала связи. Бортовой модуль

После завершения передачи сигнала команды управления бортовой модуль ГАКС переходит в режим приема. Последовательность символов, поступающих из канала, обрабатывается приемником и с выхода решающего устройства D13 поступает в обнаружитель стартовой последовательности

D15, который, так же как и в донном модуле, реализован по схеме 32-разрядного дешифратора. При обнаружении стартовой последовательности следующие за ней 32 символа кодовой комбинации циклического кода (32,16) подаются на декодер кодовых комбинаций сигнала квитанций D17. Начинается декодирование комбинации циклического кода. Если при декодировании 32 символов кодовой комбинации циклического кода (32,16) обнаруживается ошибка, то приемник переводится в режим обнаружения стартовой последовательности [10].

При отсутствии ошибок в комбинации циклического кода (32,16) 16 информационных символов циклического кода, содержащие четырехразрядный адрес «А» ответившей донной станции, номер «К» принятой на ней команды управления, порядковый номер «Р» принятой кодовой комбинации в сигнале квитанции, а также служебный символ Е, подаются на блок сопряжения с ЭВМ. Выдача этих сигналов сопровождается сигналом «квитанция принята», которым останавливается счетчик интервала времени D18. Его состояние вместе с указанными выше 16 информационными символами через блок сопряжения D20 по последовательному каналу через оптический изолятор D20 подается в ЭВМ СПОК.

Если принятая квитанция сопровождается блоком тестовой информации, то он вслед за 16 информационными символами и состоянием счетчика интервала времени ΔT также подается в ЭВМ СПОК.

Выделенные из принятой квитанции адрес (номер ГДАС), номер принятой на ГДАС команды управления, а также рассчитанное значение наклонной дальности отображаются на экране монитора

По характеру применения аппаратура в соответствии с ГОСТ В.20.39.307-76 относится к классу 2, вид 1 (донная часть – категория А, судовая часть – категория Б), что и учитывается в процессе расчетов при определении соответствующих элементов аппаратуры в зависимости от температуры окружающей среды. Максимальная температура, при которой должна сохраняться работоспособность донной [2] и судовой частей аппаратуры, составляет $+40^{\circ}\text{C}$. Надежность аппаратуры определяется надёжностью микросхем, диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов, печатных плат, разъемов и вспомогательных элементов схем.

При оценке надежности аппаратуры будем исходить из экспоненциального закона распределения вероятностей отказа ее элементов, так как только для этого закона имеются необходимые справочные данные об интенсивности отказов элементов электронных схем.

Ниже приводятся для справок значения интенсивностей отказов λ_6 («базовая интенсивность отказов») различных элементов аппаратуры.

Таблица 1

Интенсивность отказов различных элементов аппаратуры

№ п/п	Типы комплектующих изделий	$\lambda_6 \cdot 10^{-6}$
1	Микросхемы цифровые, микропроцессоры, программируемые логические матрицы, регистры сдвига	17
2	ОЗУ	38
3	ПЗУ, ППЗУ, РПЗУ	20
4	Микросхемы аналоговые	23
5	Микросхемы гибридные	25
6	Диоды	40
7	Стабилитроны	3
8	Транзисторы биполярные	48
9	Транзисторы полевые	9,6
10	Конденсаторы керамические	8
11	Конденсаторы пленочные	3
12	Конденсаторы оксидно-электролитические	140
13	Конденсаторы оксидно-полупроводниковые	10
14	Резисторы металлооксидные и металлодиэлектрические	2
15	Платы печатные – пайка волной	0,04
16	Разъемы прямоугольные для печатного монтажа	1,22
17	Кварцевые резонаторы в плоском металлическом корпусе	170

Все сведения о надежности различных элементов аппаратуры взяты из электротехнического справочника [11]. Поэтому в тексте ссылки на источники, откуда заимствованы сведения о надежности элементов, различных поправочных коэффициентах и т. д., в дальнейшем не приводятся.

Следует иметь в виду, что реальная интенсивность отказов конкретного элемента аппаратуры определенного вида («эквивалентная интенсивность отказов» λ_0) обычно отличается от базовой интенсивности, так как значение базовой интенсивности умножается на ряд коэффициентов, учитывающих сложность конкретного элемента аппаратуры, температуру и другие факторы.

2. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ МИКРОСХЕМ

Интенсивность отказов одного элемента аппаратуры определенного вида (в данном случае, например, микросхемы К140УД12) определяется формулой

$$\lambda_{эi} = \lambda_{бi} \cdot K_{стi} \cdot K_{эi} \cdot K_{Vi} \cdot K_{корi} \cdot K_{приi} \cdot K_{осi}, \quad (1)$$

где $\lambda_{эi}$ – эквивалентная интенсивность отказа элементов i -го типонаминала;

$\lambda_{бi}$ – базовая интенсивность отказов микросхем данного (-го) вида;

i – количество типонаминалов элементов данного вида;

N_i – количество элементов определенного (i -го) типонаминала;

$K_{стi}$ – коэффициент, определяемый сложностью микросхемы и температурой окружающей среды;

$K_{эi}$ – коэффициент жесткости условий эксплуатации;

K_{Vi} – коэффициент, определяемый степенью понижения напряжения питания микросхем по сравнению с максимально допустимым;

$K_{корi}$ – коэффициент, зависящий от типа корпуса микросхемы;

$K_{приi}$ – коэффициент, определяемый типом приемки;

$K_{осi}$ – коэффициент, определяемый степенью освоенности технологии изготовления микросхемы данного типа.

Рассмотрим численные значения указанных коэффициентов (индексы i в обозначениях для упрощения опускаем).

1. $\lambda_{б}$ – базовая интенсивность отказов.

Для аналоговых микросхем $\lambda_{б} = 0,023 \cdot 10^{-6}$.

Для цифровых микросхем $\lambda_{б} = 0,017 \cdot 10^{-6}$.

Для ОЗУ $\lambda_{б} = 0,038 \cdot 10^{-6}$.

Для ПЗУ $\lambda_{б} = 0,020 \cdot 10^{-6}$.

Для некоторых конкретных типов микросхем, имеющих пониженную надежность, величина $\lambda_{б}$ указывается отдельно. В нашем случае это микросхемы К140УД12, К564ЛС2, КР590КН2.

2. $K_{ст}$ – определяется сложностью (степенью интеграции) микросхемы и рабочей температурой. Так, для всех типов цифровых микросхем, кроме ОЗУ и ПЗУ, для температуры $+25 \dots +30$ °С значения $K_{ст}$ определяются по табл. 2.

Таблица 2

Зависимость $K_{ст}$ от сложности

Степень интеграции	Количество элементов	$K_{ст}, t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$K_{ст}, t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
I	1–10	0,6	1,24
II	11–100	0,8	1,66
III	101–1000	1	2,07
IV	1001–5000	1,8	3,73
V	5001–10 000	2,5	8,29

Для аналоговых микросхем значения $K_{ст}$ определяются аналогичным образом (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость $K_{ст}$ от сложности

Степень интеграции	Количество элементов	$K_{ст}, t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$K_{ст}, t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
I	1–10	0,6	1,35
II	11–100	1	2,25
III	101–500	1,41	3,15

Для ОЗУ и ПЗУ значения $K_{ст}$ определяются величиной памяти запоминающего устройства и температурой окружающей среды. Так, для температуры $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ОЗУ емкостью 2 кБит (микросхема типа ИМ1821РУ55) $K_{ст} = 1,4$, а для ПЗУ емкостью 16 кБит (микросхема типа К573РФ2) $K_{ст} = 2,5$.

3. Коэффициент жесткости эксплуатации K_j определяется условиями эксплуатации микросхемы. Для морских условий эксплуатации (работа в закрытых помещениях) $K_j = 2$.

4. $K_V = 1$ для всех микросхем, кроме микросхем КМОП. Для микросхем КМОП $K_V = 1$ при $U < 10\text{ В}$; $K_V = 3$ при $U = 12,6\text{ В}$; $K_V = 10$ при $U = 15\text{ В}$. В наших условиях $U < 10\text{ В}$, поэтому берем $K_V = 1$.

5. Для микросхем с герметичным корпусом $K_{кор} = 1$, для микросхем с пластмассовым корпусом $K_{кор} = 5$. В нашем случае принимаем $K_{кор} = 1$.

6. Для пятой приемки микросхем $K_{пр} = 1$.

С учетом приведенных здесь конкретных значений некоторых коэффициентов формула (1) приобретает вид

$$\lambda_{\Sigma i} = \lambda_{6i} K_{стi} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \lambda_{6i} K_{стi}. \quad (2)$$

Если в схеме имеется N_i элементов i -го типа, то найденная величина должна быть умножена на N_i , откуда

$$\lambda_{\Sigma Ni} = N_i \cdot 2\lambda_{\Sigma i} K_{\Sigma i} = 2\Pi_i, \quad (3)$$

где $\Pi_i = N_i \lambda_{\Sigma i} K_{\Sigma i}$.

Это интенсивность отказов всех микросхем определенного (i -го) типа с учетом их количества в аппаратуре. В этой формуле уже учтены численные значения всех коэффициентов, влияющие на величину $\lambda_{\Sigma i}$, кроме коэффициента $K_{\Sigma i}$, который различен для разных микросхем и температурных условий их работы.

Для всего устройства интенсивность отказа микросхем будет определяться с учетом всех n типоминиалов.

Вычисляя величины Π_i для всех n типов микросхем конкретного устройства и суммируя их для $i = 1, \dots, n$, окончательно получим

$$\lambda_{\Sigma \text{ микр}} = \Sigma \lambda_{\Sigma N_i} = 2 \sum_{i=1}^n \Pi_i. \quad (4)$$

Аналогичным образом рассчитывается интенсивность отказов других элементов аппаратуры.

Данные для расчета надежности микросхем судовой части аппаратуры приведены в табл. 4. В этой же таблице приведены значения количества выводов корпусов микросхем $N_{\text{вн}}$, необходимые для расчета числа отверстий в печатных платах под эти микросхемы (расчета надежности печатных плат).

Таблица 4

Данные расчета надежности микросхем судовой части

Типы микросхем	Кол-во микросхем N_i	Степень интеграции	$K_{\Sigma i}$ для $t = 60^\circ \text{C}$	$\lambda_{\Sigma i} \cdot 10^{-6}$	$\Pi_i \cdot 10^{-6}$	$N_{\text{вн}} \cdot N_i$
K140УД12	1	II	2,25	0,055	0,123	8
K293ЛП1	1	II	1,66	0,017	0,0282	14
K544УД1А	1	II	2,25	0,023	0,0517	8
K564ГГ1	1	III	2,07	0,017	0,0352	16
K564ИЕ9	1	III	2,07	0,017	0,0352	16
K 564ИЕ10	4	III	2,07	0,017	0,141	16·4
K564ИЕ15	1	IV	3,73	0,017	0,0632	16
K564ИЕ16	2	III	2,07	0,017	0,0705	16·2

Окончание табл. 4

Типы микросхем	Кол-во микро- схем N_i	Степень интегра- ции	K_{cti} для $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\lambda_{6i} \cdot 10^{-6}$	$\Pi_i \cdot 10^{-6}$	$N_{bi} \cdot N_i$
K564КП1	5	III	2,07	0,017	0,176	14·5
K564ЛA7	1	II	1,66	0,017	0,0282	14
K564ЛH2	2	II	1,66	0,017	0,0564	14·2
K564ЛП2	1	II	1,66	0,017	0,0282	14
K564ЛC2	2	II	1,66	0,18	0,566	16·2
K564ПY4	2	III	2,07	0,23	0,954	16·2
K564TM2	6	III	2,07	0,017	0,212	14·6
K573PФ2	1	—	8,29	0,038	0,315	24
K590KH2	1	III	2,07	0,036	0,0743	16
KP1002XЛ1	1	IY	3,73	0,017	0,0632	42
K1564ИP14	6	III	2,07	0,017	0,212	16·6
K1564ЛИ2	1	II	1,66	0,017	0,0282	16
KP1564ИД7B	2	III	2,07	0,017	0,705	16·2
ИМ1821BM85A	1	Y	8,29	0,017	0,141	40
ИМ1821PY55	1	—	2,6	0,038	0,099	40
				Сумма	3,57	658

Подставляя вычисленную сумму Π_i в формулу (4), получим для микросхем судовой части аппаратуры $\lambda_3 = 2 \cdot 3,57 \cdot 10^{-6} = 7,14 \cdot 10^{-6}$, 1/ч.

3. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ РЕЗИСТОРОВ АППАРАТУРЫ ГАКС

Интенсивность отказов резисторов i -го типа определяется формулой

$$\lambda_{3i} = \lambda_{6i} K_{pti} \cdot K_{3i} \cdot K_{ti} \cdot K_{mi} \cdot K_{стабi}, \quad (5)$$

где λ_{6i} — базовая интенсивность отказов резисторов данного типа (для металлодиэлектрических и металлооксидных резисторов $\lambda_6 = 0,002 \cdot 10^{-6}$);

K_{pti} — коэффициент, зависящий от отношения мощности P , выделяемой в резисторе, к номинальной мощности P_{\max} и от температуры окружающей среды (значения K_{pt} для температур $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ определяются по табл. 5).

Таблица 5

Значения $K_{рт}$ для температур $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$

P/P_{\max}	$K_{рт}, t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$K_{рт}, t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
0,1	0,35	0,45
0,2	0,40	0,53
0,3	0,45	0,60
0,4	0,51	0,70
0,5	0,57	0,80
0,6	0,64	0,90
0,8	0,81	1,1
1,0	1,0	1,4

$K_{эi}$ – коэффициент жесткости эксплуатации, определяется условиями эксплуатации резистора. Для морских условий эксплуатации (работа в закрытых помещениях) для резисторов $K_э = 6$;

$K_{гi}$ – коэффициент, зависящий от значения сопротивления резистора. Наиболее надежными резисторами являются резисторы с сопротивлением менее 10 МОм, в этом случае $K_г = 0,6$. При сопротивлении $R > 10$ МОм $K_г = 1,6$. В наших схемах $R < 10$ МОм, поэтому принимаем $K_г = 0,6$;

$K_{мi}$ – коэффициент, зависящий от номинальной мощности (габаритов) резистора. Для резисторов с максимальной мощностью в пределах 0,062...0,5 Вт $K_м = 0,7$;

$K_{стаб}$ – коэффициент, зависящий от допуска на величину сопротивления. При допуске 0,5 % $K_{стаб} = 2$, при допусках 1, 2, 5, 10 % $K_{стаб} = 1$. Принимаем $K_{стаб} = 1$.

Таким образом, с учетом λ_{bi} и указанных здесь постоянных коэффициентов $K_э$ и $K_м$ формула (5) преобразуется к виду

$$\lambda_{эi} = 0,002 \cdot K_{гi} \cdot 6 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,$$

или

$$\lambda_{эi} = 0,00503 \cdot K_{гi} \cdot 10^{-6},$$

откуда

$$\lambda_{эNi} = 0,00503 \cdot N_i \cdot K_{гi} \cdot 10^{-6}.$$

Окончательно λ_3 для всех резисторов схемы получим, просуммировав λ_{3Ni} по всем значениям i

$$\lambda_3 = \sum \lambda_{3Ni} . \quad (6)$$

Таблица 6

Данные для расчета интенсивности отказов резисторов судовой части аппаратуры

R_i , Ом	P_i/P_{\max}	$K_{\text{рті}}, t = 60^\circ\text{C}$	N_i	$N_i \cdot K_{\text{рті}}$
30...200	1	1,4	11	15,4
200...400	0,5	0,8	3	2,4
400...1000	0,2	0,53	18	9,5
Более 2 кОм	0,1	0,45	53	23,9
			Сумма	51,2

В соответствии с формулой (6) для резисторов судовой части аппаратуры получаем

$$\lambda_3 = 0,00503 \cdot 51,2 \cdot 10^{-6} = 0,258 \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}.$$

Примечание. Отношение P/P_{\max} , определяющее величину коэффициента $K_{\text{рті}}$, рассчитывалось для резисторов различных номиналов в предположении, что к резисторам приложено напряжение 5 В, хотя в действительности к резисторам иногда приложено меньшее напряжение. В результате получены несколько завышенные значения интенсивности отказов резисторов (завышение – на ничтожно малую величину).

4. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ КОНДЕНСАТОРОВ

Эквивалентная интенсивность отказов конденсаторов λ_{3i} i -го типа определяется формулой

$$\lambda_{3i} = \lambda_{6i} K_{\text{рті}} \cdot K_3 \cdot K_{ci} \cdot K_{\text{пси}} \cdot K_{\text{прі}}, \quad (7)$$

где λ_{6i} – базовая интенсивность отказов конденсаторов данного типа ($\lambda_6 = 0,008 \cdot 10^{-6}$ для керамических конденсаторов, $\lambda_6 = 0,003 \cdot 10^{-6}$ для пленочных конденсаторов, $\lambda_6 = 0,14 \cdot 10^{-6}$ для окисдно-электролитических конденсаторов, $\lambda_6 = 0,1 \cdot 10^{-6}$ для окисдно-полупроводниковых конденсаторов);

K_{pti} – коэффициент, определяемый нагрузкой конденсатора (отношением напряжения на конденсаторе к номинальному напряжению) с учетом температуры окружающей среды;

$K_{\lambda i}$ – коэффициент жесткости эксплуатации (для морских условий эксплуатации для конденсаторов $K_{\lambda} = 6$);

K_{ci} – коэффициент, зависящий от величины номинальной емкости конденсатора;

K_{nc} – коэффициент, зависящий от величины последовательно соединенного сопротивления (применяется в случае оксидно-полупроводниковых конденсаторов, однако при $t < 50^{\circ}\text{C}$ величина $K_{nci} = 1$ при любом последовательно включенном сопротивлении или без него);

K_{np} – коэффициент, определяемый видом приемки конденсаторов ($K_{np} = 1$ в случае пятой приемки).

Таким образом, в нашем случае $K_{\lambda} = 6$, $K_{nc} = 1$ и $K_{np} = 1$, поэтому формула (7) примет вид

$$\lambda_{\lambda i} = \lambda_{\lambda i} \cdot K_{pti} \cdot 6 K_{ci} \cdot 1 \cdot 1 = 6 \lambda_{\lambda i} \cdot K_{pti} \cdot K_{ci},$$

или окончательно для N_i конденсаторов i -го типа

$$\lambda_{\lambda Ni} = 6 N_i \cdot \lambda_{\lambda i} \cdot K_{pti} \cdot K_{ci}. \quad (8)$$

Суммируя значения $\lambda_{\lambda Ni}$ по всем значениям i , по формуле (6) определим окончательно интенсивность отказа конденсаторов.

Рассмотрим значения остальных коэффициентов, входящих в формулу (8).

1. K_{pti} для различных типов конденсаторов определяется по табл. 7.

Таблица 7

K_{pti} для различных типов конденсаторов

U/U_n	K_{pt} при $t = 25^{\circ}\text{C}$ / K_{pt} при $t = 60^{\circ}\text{C}$		
	Керамические, типы КМ-5а, К10-50а	Оксидно-электролитические, тип К-50	Оксидно-полупроводниковые, тип К-53
0,1	0,03 / 0,11	0,14 / 0,52	0,15 / 0,36
0,2	0,03 / 0,12	0,15 / 0,54	0,16 / 0,37
0,3	0,05 / 0,19	0,17 / 0,60	0,17 / 0,40
0,4	0,09 / 0,32	0,20 / 0,72	0,21 / 0,50
0,5	0,15 / 0,52	0,26 / 0,91	0,26 / 0,62

Окончание табл. 7

U/U_n	$K_{рт}$ при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $K_{рт}$ при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	Керамические, типы КМ-5а, К10-50а	Оксидно- электролитические, тип К-50	Оксидно- полупроводниковые, тип К-53
0,6	0,23 / 0,84	0,33 / 1,2	0,34 / 0,82
0,7	0,36 / 1,3	0,44 / 1,5	0,46 / 1,1
0,8	0,52 / 1,9	0,59 / 2,0	0,61 / 1,45
0,9	0,75 / 2,5	0,76 / 2,2	0,81 / 1,9 1,0
1	1,0 / 3,6	1,0 / 3,6	1,0 / 2,5
Количество	57 / 54	3 / 2	12 / 15

При определении величины $K_{рт}$ будем исходить из того, что керамические конденсаторы работают при напряжении $U = 0,1U_n$, а оксидные конденсаторы при $U = U_n$ (в действительности $U < U_n$, однако оксидных конденсаторов в схемах судовой части аппаратуры значительно меньше, чем керамических конденсаторов. Поэтому, ориентируясь на худший вариант ($U = U_n$), мы незначительно завышаем расчетное значение интенсивности отказов конденсаторов, что практически не сказывается на конечном результате.

2. Коэффициент K_c для оксидно-полупроводниковых конденсаторов любой емкости равен единице. Для керамических и оксидно-электролитических конденсаторов величина K_c зависит от величины емкости следующим образом.

Таблица 8

Зависимость K_c от величины емкости

Керамические		Оксидно-электролитические	
C , пф	K_c	C , мкф	K_c
100	0,7	< 1000	1
1000	0,9	> 1000	2

Данные расчета интенсивности отказов конденсаторов приведены в табл. 9.

Таблица 9

Данные расчета интенсивности отказов конденсаторов судовой части

$C, \text{ пФ}$	Количество N_i	$U_i/U_{\text{ин}}$	$K_{\text{рп}i}$	$K_{\text{с}1}$	$K_{\text{с}i} \cdot \lambda_{\text{б}i} \cdot 10^{-6}$	$N_i \cdot K_{\text{рп}i} \cdot K_{\text{с}i} \cdot \lambda_{\text{б}i} \cdot 10^{-6}$
Керамические конденсаторы						
$10 \dots 10^4$	5	0,1	0,11	1,2	8	5,27
$10^4 \dots 10^5$	2	0,1	0,11	1,6	8	2,81
$10^5 \dots 10^6$	35	0,1	0,11	2,1	8	64,6
$10^6 \dots 10^7$	7	0,1	0,11	2,65	8	16,3
$10^7 \dots 10^8$	5	0,1	0,11	3,0	8	13,2
Оксидно-электролитические конденсаторы						
До 10^9	2	1	2,0	1	140	560
Оксидно-полупроводниковые конденсаторы						
До 10^9	15	1	1,45	1	100	2175
					Сумма	2837

По формулам (7) и (8) для конденсаторов судовой части аппаратуры
 $\lambda_3 = 6 \cdot 2837 \cdot 10^{-6} = 17,2 \cdot 10^{-6}$, 1/ч.

5. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Эквивалентная интенсивность отказов полупроводникового прибора определяется формулой

$$\lambda_{3i} = \lambda_{\text{б}i} \cdot K_{\text{дт}i} \cdot K_{\text{ф}i} \cdot K_{\text{н}i} \cdot K_{\text{пр}i} \cdot K_{\text{эл}i}, \quad (9)$$

где $\lambda_{\text{б}i}$ – базовая интенсивность отказов прибора данного (i -го) типа;

$K_{\text{дт}i}$ – коэффициент, учитывающий допустимую нагрузку (максимально допустимый ток);

$K_{\text{ф}i}$ – коэффициент, определяемый функциональным назначением прибора (аналоговые или переключательные схемы);

$K_{\text{н}i}$ – коэффициент, зависящий от отношения рабочего напряжения к максимально допустимому;

K_{zi} – коэффициент жесткости эксплуатации;

K_{pri} – коэффициент, определяемый видом приемки прибора ($K_{pri} = 1$ для пятой приемки).

1. Базовая интенсивность отказов λ_6 принимается равной $0,040 \cdot 10^{-6}$ для диодов; $0,003 \cdot 10^{-6}$ для стабилитронов; $0,048 \cdot 10^{-6}$ для биполярных транзисторов и $0,0096 \cdot 10^{-6}$ для полевых транзисторов.

2. Коэффициент $K_{дт}$ зависит от максимально допустимого тока. Для диодов при $I_{доп} < 1$ А $K_{дт} = 0,6$; при $I_{доп} 1 \dots 3$ А $K_{дт} = 0,8$; при $I_{доп} 3 \dots 10$ А $K_{дт} = 1,0$. Для транзисторов при $I_{доп} < 1$ А $K_{дт} = 0,5$; при $I_{доп} < 5$ А $K_{дт} = 0,8$. В нашей аппаратуре для примененных в схемах диодов $I_{доп} < 1$ А, в результате чего для диодов $K_{дт} = 0,6$. Для большинства транзисторов $I_{доп} < 1$ А, поэтому $K_{дт} = 0,05$, однако для более мощных транзисторов КТ829 $I_{доп} = 8$ А, поэтому для этих транзисторов $K_{дт} = 0,8$.

3. Коэффициент K_{ϕ} определяется следующим образом: диоды, аналоговые сигналы, $K_{\phi} = 1,0$; диоды, импульсные сигналы, $K_{\phi} = 0,6$; транзисторы, аналоговые сигналы, $K_{\phi} = 1,5$; транзисторы, переключаемые схемы, $K_{\phi} = 0,7$. В дальнейшем принимаем для диодов $K_{\phi} = 1,0$ и для транзисторов $K_{\phi} = 1,7$.

4. Коэффициент K_n зависит от отношения рабочего напряжения к максимально допустимому.

Таблица 10

Зависимость коэффициент K_n от отношения рабочего напряжения к максимально допустимому

$U_{раб}/U_{доп}$	Значения K_n	
	Диоды (кроме стабилитронов)	Транзисторы биполярные
0...0,5	0,7	0,5
0,6	0,7	0,8
0,7	0,75	1,0
0,8	0,8	1,5
0,9	0,9	2,0
1,0	1,0	3,0

В рассмотренных схемах напряжение на диодах и транзисторах не превышает 50 % от допустимого значения, поэтому принимаем для любых полупроводниковых диодов $K_n = 0,7$, а для транзисторов $K_n = 0,5$. Стабилитроны работают всегда при номинальном напряжении, поэтому для них $K_n = 1$.

5. При эксплуатации аппаратуры в морских условиях коэффициент $K_3 = 9$ для диодов, стабилитронов и биполярных транзисторов и $K_3 = 5$ для полевых транзисторов.

Результаты расчетов интенсивности отказов полупроводниковых приборов приведены в табл. 6.

Эквивалентная интенсивность отказов любого полупроводникового прибора λ_{3i} определяется по формуле (9), а результирующая интенсивность отказов полупроводниковых приборов с учетом количества различных типов приборов в схеме определена по формуле (1).

Таблица 11

Данные для расчета интенсивности отказов полупроводниковых приборов судовой части аппаратуры ($K_{np} = 1$)

Тип п.п.п	Количество N_i	$\lambda_{6i} \cdot 10^{-6}$	$K_{дтi}$	$K_{фi}$	$K_{нi}$	K_{3i}
КТ3102	4	0,048	0,5	1,7	0,5	9,0
КТ907	1	0,048	0,5	1,7	0,5	9,0
КТ315	1	0,048	0,5	1,7	0,5	9,0
КТ829	2	0,048	1,0	1,7	0,5	9,0
КП302	2	0,0096	0,5	1,7	0,5	5,0
КД521	1	0,04	0,6	1,0	0,7	9,0
КД522	12	0,04	0,6	1,0	0,7	9,0
АОТ110	1	0,04	0,6	1,0	0,7	9,0
КС162	1	0,003	0,6	1,0	0,7	9,0
КС170	1	0,003	0,6	1,0	0,7	9,0

Применяя формулу (9), получаем для полупроводниковых приборов судовой части аппаратуры $\lambda_3 = 4,79 \cdot 10^{-6}$, 1/ч.

6. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Интенсивность отказов печатной платы определяется формулой

$$\lambda_3 = \lambda_6 \cdot K_3 [N_1(K_c + K_S) + N_2(K_c + 13)], \quad (10)$$

где λ_6 – базовая интенсивность отказов одного отверстия печатной платы. Для печатного монтажа $\lambda_6 = 0,00004 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

K_3 – коэффициент жесткости эксплуатации (для морских условий эксплуатации в закрытых помещениях $K_3 = 4$);

N_1 и N_2 – количество отверстий соответственно с использованием пайки волной или вручную;

K_c – коэффициент, определяется числом слоев (сложностью) печатной платы. Для 2-слойного монтажа $K_c = 1$;

K_S – коэффициент, зависящий от качества пайки волной. Если после пайки волной требуется перепайка вручную не более 6 % отверстий, то в этом случае $K_S = 0$. Таким образом, при пайке волной $\lambda_6 = 0,00004 \cdot 10^{-6}$, $K_3 = 4$, $K_c = 1$ и $K_S = 0$ формула (10) примет вид

$$\lambda_3 = 0,00004 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot N_1 = 0,00016 \cdot 10^{-6} \cdot N_1, 1/\text{ч}. \quad (11)$$

Таблица 12

**Данные для расчета интенсивности отказов
печатных плат судовой части**

Наименование деталей	Судовая часть	
	Количество деталей	Количество отверстий
Микросхемы	44	658
Перемычки	20	40
Резисторы	85	170
Конденсаторы	71	142
Диоды	23	46
Транзисторы	10	30
Трансформаторы	1	4
Дроссели	5	10
Кварц	2	4
Установочные изделия	1	2
Лепестки	10	20
Разъемы	10	240
		$N = 1344$

Вывод: интенсивность отказов печатных плат судовой части аппаратуры $\lambda_3 = 0,00016 \cdot 10^{-6} \cdot 1344 = 0,18 \cdot 10^{-6}$, 1/ч.

7. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ РАЗЪЕМОВ

Интенсивность отказов разъемов определяется формулой

$$\lambda_{эi} = \lambda_{бi} \cdot K_{pi} \cdot K_{kki} \cdot K_{ksi} \cdot K_{эi} \cdot K_{при}, \quad (12)$$

где $\lambda_{бi}$ – базовая интенсивность отказов разъемов. Для прямоугольных разъемов печатного монтажа $\lambda_{бi} = 0,001223 \cdot 10^{-6}$ 1/ч;

K_{pi} – учитывает токовую нагрузку контактов и рабочую температуру.

В нашей аппаратуре токовая нагрузка контактов очень мала, так как большинство контактов используются для передачи ничтожно слабых логических сигналов. При $I/I_{\max} = 0,1$ и $t = 25^\circ\text{C}$ $K_p = 0,67$. При $I_{\max} = 0,1$ и $t = 60^\circ\text{C}$ $K_p = 15,7$;

K_{kk} – коэффициент, зависящий от числа задействованных контактов отдельно в каждом разъеме, определяется по табл. 13.

Таблица 13

Значения коэффициентов K_{kk} в зависимости от числа задействованных контактов отдельно в каждом разъеме

Число контактов	K_{kk}	Число контактов	K_{kk}	Число контактов	K_{kk}
1	1	30	5,6	100	25,13
5	1,87	40	7,42	125	37,22
10	2,58	50	9,5	150	53,2
15	3,28	60	1,89	175	73,0
20	4,0	80	17,9	200	100,0
25	4,78	90	21,2		

K_{kc} – определяется количеством расчленений разъемов в соответствии с табл. 14.

Таблица 14

Значения коэффициентов K_{kc} в зависимости от количества расчленений разъемов

Число расчленений	25	100	250	более 500
K_{kc}	0,32	0,42	0,64	1,0

При расчете надежности примем $K_{kc} = 0,42$.

K_3 – коэффициент жесткости условий эксплуатации. Для морских условий эксплуатации разъемов $K_3 = 4$.

$K_{пр}$ – коэффициент, равный 1,0 для пятой приемки разъемов.

Умножая $\lambda_{эi}$ на число разъемов i -го типа, получим интенсивность отказов разъемов i -го типа $\lambda_{эNi}$.

С учетом численных значений коэффициентов получаем для судовой части аппаратуры

$$\lambda_{эNi} = 0,0012 \cdot 10^{-6} \cdot 15,7 \cdot 0,42 \cdot 4 \cdot 1 N_i \cdot K_{kki} = 0,0322 \cdot 10^{-6} N_i \cdot K_{kki}.$$

Суммируя значения $\lambda_{эNi}$ по всем типам разъемов, получаем интенсивность отказов разъемов всего устройства

$$\lambda_э = \sum \lambda_{эNi}.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 15.

Таблица 15

Значения $N_i \cdot K_{kki}$ для разъемов судовой части аппаратуры

Число задействованных контактов в каждом разъеме	Количество разъемов	K_{kki}	$K_{kki} \cdot N_i$
4–10	5	2,58	12,9
16–28	2	5,6	11,2
45–60	3	11,8	35,4
Сумма			59,5

Интенсивность отказов разъемов судовой части аппаратуры

$$\lambda_э = 0,0322 \cdot 59,5 \cdot 10^{-6} = 1,92 \cdot 10^{-6}, \text{ 1/ч.}$$

8. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА

Интенсивность отказов кварцевого резонатора определяется формулой

$$\lambda_э = \lambda_6 \cdot K_э. \quad (13)$$

Для малогабаритных кварцевых резонаторов в плоском металлическом корпусе $\lambda_6 = 0,17 \cdot 10^{-6}$.

$K_э$ – коэффициент жесткости эксплуатации. Для морских условий эксплуатации кварцевых резонаторов $K_э = 2$. В связи с этим интенсивность отказов кварцевого резонатора будет равна

$$\lambda_э = 0,17 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 0,34 \cdot 10^{-6}, \text{ 1/ч.}$$

9. РАСЧЕТ ПАДЕЖНОСТИ БЛОКОВ АППАРАТУРЫ

Суммарная интенсивность отказов аппаратуры определена в табл. 16, получена в соответствии с табл. 1–15.

Таблица 16

Расчет суммарной интенсивности отказов аппаратуры

Элементы аппаратуры	Интенсивность отказов $\lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6}$
	Судовая часть
Интегральные микросхемы	7,14
Резисторы	0,258
Конденсаторы	17,2
Полупроводниковые приборы	4,79
Печатные платы	0,18
Разъемы	1,92
Кварцевые резонаторы	0,68
ИТОГО	32,168

Таким образом, рассчитанные интенсивности отказов для составных частей аппаратуры ГАКС составляют :

для судовой части $\lambda_{\Sigma} = 32,168 \cdot 10^{-6}$ 1/ч;

для донной части [1] $\lambda_{\Sigma} = 14,3 \cdot 10^{-6}$ 1/ч;

для модуля ВМССС [1] $\lambda_{\Sigma} = 14,3 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

для всей аппаратуры (судовой части, донной части и модуля ВМССС)
 $\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\Sigma} + \lambda_{\Sigma} + \lambda_{\Sigma} = 60,768 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

Определим среднее время наработки на отказ и вероятность отказа аппаратуры и ее отдельных блоков.

Среднее время наработки на отказ определяется формулой

$$T = \lambda^{-1} \text{ ч.} \quad (14)$$

При этом вероятность $P(T)$ безотказной работы аппаратуры в течение времени наработки на отказ T будет равна

$$P(T) = e^{-1} = 0,37. \quad (15)$$

Вероятность безотказной работы аппаратуры за время t (часов) определяется формулой

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (16)$$

Результаты расчетов среднего времени наработки на отказ отдельных блоков, всего комплекта аппаратуры в целом и вероятность безотказной работы аппаратуры за время 5000 часов приведены в табл. 17.

Таблица 17

**Среднее время наработки на отказ и вероятность безотказной работы
за 5000 часов**

Части аппаратуры ГАКС	$\lambda \cdot 10^{-6}$	T , ч	T , лет	$P(t)$ (за 5000 ч)
Судовая часть	32,16	31 400	3,4	0,85
Донная часть	14,3	69 500	8,0	0,93
Часть ГАКС – ВМССС	14,3	69 500	8,0	0,93
Комплект аппаратуры	60,768	16 500	1,9	0,74

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если принять, что время наработки на отказ должно быть 5000 ч, что требуется по техническому заданию [12], то полученные расчетные результаты 16 500 ч значительно превосходят это значение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов Б.И., Малахова Е.А. Расчет надежности донной части аппаратуры гидроакустического канала связи // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 3 (81). – С. 79–97.
2. Филиппов Б.И., Чернецкий Г.А. Анализ статистических характеристик сигналов и помех в гидроакустических каналах связи // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 3. – С. 78–84.
3. Филиппов Б.И., Чернецкий Г.А. Выбор ансамбля сигналов для передачи команд управления в гидроакустических каналах связи // Известия ВолгГТУ. Серия: Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2015. – Т. 11, № 3 (161). – С. 69–72.

4. Криволапов Г.И., Потеряева Л.А., Чернецкий Г.А. Результаты испытания аппаратуры двусторонней гидроакустической связи для автономных донных станций // Методика и техника сейсмоакустических и вибросейсмических исследований на акваториях: сборник научных трудов / под ред. В.И. Добринского. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1988. – С. 10–16.

5. Некоторые результаты испытаний АГАС для управления и диагностики ДСС / Г.И. Криволапов, А.А. Макаров, Н.И. Постников, Г.А. Чернецкий // Методика и техника сейсмоакустических и вибросейсмических исследований на акваториях: сборник научных трудов / под ред. В.И. Добринского. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1988. – С. 17–25.

6. Разработка принципов и устройств передачи геофизической информации по гидроакустическому каналу связи: отчет / НЭИС им. Н.Д. Псурцева; науч. рук.: А.А. Макаров, Л.А. Чиненков. – Новосибирск, 1983. – 55 с. – № ГР 81019632. – Инв. № 02830079562.

7. Аппаратура управления автономными донными сейсмическими станциями: отчет / НЭИС им. Н.Д. Псурцева; науч. рук.: А.А. Макаров, Г.А. Чернецкий. – Новосибирск, 1987. – 75 с. – № ГР 01840005880. – Инв. № 020880016084.

8. Криволапов Г.И., Макаров А.А., Чернецкий Г.А. Комплекс устройств для передачи данных по гидроакустическому каналу связи // Тезисы докладов Четвертой дальневосточной акустической конференции «Акустические методы и средства исследования океана». – Владивосток, 1986. – С. 107–108.

9. Анализатор характеристик гидроакустических каналов связи: отчет / НЭИС им. Н.Д. Псурцева; науч. рук.: А.А. Макаров, Г.А. Чернецкий. – Новосибирск, 1985. – 77 с. – № ГР 0184000588. – Инв. № 02860021414.

10. Филиппов Б.И. Протокол обмена сигналами в сети гидроакустических донных автономных станций // Известия ВолгГТУ. Серия: Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2015. – Т. 12, № 11 (176). – С. 104–111.

11. Электротехнический справочник: в 4 т. / под общ. ред. И.Н. Орлова. – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2003.

12. Разработка принципов и устройств передачи геофизической информации по гидроакустическому каналу связи: отчет / НЭИС им. Н.Д. Псурцева; науч. рук.: А.А. Макаров, Л.А. Чиненков. – Новосибирск, 1982. – 76 с. – № ГР 81019632. – Инв. № 02830014986.

Филиппов Борис Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – радиотехника и связь.

Имеет 32 статьи, 2 учебных пособия и монографию. E-mail: filippov-boris@rambler.ru

Малахова Екатерина Андреевна, студент кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. E-mail: kate.lion@mail.ru

Calculation of reliability of the equipment hydroacoustic communication channel*

B.I. Filippov¹, E.A. Malahova²

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, associate professor, candidate of technical science. E-mail: filippov-boris@rambler.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. E-mail: kate.lion@mail.ru

In work calculation of reliability of the equipment of a hydroacoustic communication channel (GAKS) is shown. For ensuring necessary reliability the corresponding calculations are executed, however the necessary attention and in the course of development of the equipment was paid to questions of reliability of the equipment at a choice of options of creation of the equipment, a choice of element base and standard ratings of elements. At design of the GAKS equipment to be set the task to achieve the easiest ways of the greatest reliability to have sufficient margin of safety as all calculations in the theory of reliability are based on the basis of average data on reliability of components and really received reliability can be slightly lower than the settlement. At calculation of reliability that circumstance was considered that the ground part of the equipment is operated under water and it is inaccessible to repair in case of refusal of the equipment and, respectively, impossibility of its emersion. On nature of application according to GOST V.20.39.307-76 the equipment belongs to the class 2, a look 1 (ground part – category A, ship part – category B), as was considered in the course of calculations when determining the corresponding elements of the equipment depending on ambient temperature. Reliability of the equipment is defined by reliability of chips, diodes, transistors, resistors, condensers, printed-circuit boards, sockets and auxiliary elements of schemes. At an assessment of reliability of the equipment the exponential law of distribution of probabilities of refusal of its elements as only for this law there are necessary help data on failure rate of elements of electronic schemes was used. All calculations of failure rate of various elements were tabulated. Calculations showed that the time between failures of the equipment of a hydroacoustic communication channel and the emerging modules of satellite communication system (EMSCS) makes 16500 hours that much more set (5000 hours).

Keywords: hydroacoustic channel, ship part of HACC, ground station, failure rate, average time of a time between failures, temperature condition, block diagram, exponential law, standard rating

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-4-67-91

* Received 31 August 2015.

REFERENCES

1. Filippov B.I., Malakhova E.A. Raschet nadezhnosti donnoi chasti apparatury gidroakusticheskogo kanala svyazi [Calculation of reliability of ground part of the equipment of a hydroacoustic communication channel]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (81), pp. 79–97.
2. Filippov B.I., Chernetskii G.A. Analiz statisticheskikh kharakteristik signalov i pomekh v gidroakusticheskikh kanalakh svyazi [The analysis of statistical characteristics of signals and hindrances in hydroacoustic communication channels]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2015, no. 3, pp. 78–84.
3. Filippov B.I., Chernetskii G.A. Vybór ansamblya signalov dlya peredachi komand upravleniya v gidroakusticheskikh kanalakh svyazi [Choice of ensemble of signals for transfer of teams of management in hydroacoustic communication channels]. *Izvestiya VolgGTU. Seriya: Elektronika, izmeritel'naya tekhnika, radiotekhnika i svyaz' – News of Volgograd state technical University. Series: electronics and instrumentation engineering, radio engineering and communication*, 2015, vol. 11, no. 3 (161), pp. 69–72.
4. Krivolapov G.I., Poteryaeva L.A., Chernetskii G.A. [Results of test of the equipment of two-way hydroacoustic communication for autonomous ground stations]. *Metodika i tekhnika seismoakusticheskikh i vibroseismicheskikh issledovanií na akvatoriyakh*. *Sbornik nauchnykh trudov* [A technique and technology of seismoacoustic and vibrothesesmicheskyy researches on akvatoriyakh. Collection of science works]. Ed. by V.I. Dobrinsky. Novosibirsk, 1988, pp. 10–16.
5. Krivolapov G.I., Makarov A.A., Postnikov N.I., Chernetskii G.A. [Some results of tests of AGAS for management and diagnostics of DSS]. *Metodika i tekhnika seismoakusticheskikh i vibroseismicheskikh issledovanií na akvatoriyakh*. *Sbornik nauchnykh trudov* [A technique and technology of seismoacoustic and vibrothesesmicheskyy researches on akvatoriyakh. Collection of science works]. Ed. by V.I. Dobrinsky. Novosibirsk, 1988, pp. 17–25.
6. Makarov A.A., Chinenkov L.A., res. supervisors. [Development of the principles and devices of transfer of geophysical information on a hydroacoustic communication channel]. Report no. GR 81019632. Novosibirsk, 1983. 55 p. (In Russian, unpublished)
7. Makarov A.A., Chernetskii G.A., res. supervisors. [Equipment of management of autonomous ground seismic stations]. Report no. GR 01840005880, Novosibirsk, 1987. 75 p. (In Russian, unpublished)

8. Krivolapov G.I., Makarov A.A., Chernetskii G.A. [Kompleks of devices for data transmission on a hydroacoustic communication channel]. *Tezisy докладov Chetvertoi dal'nevostochnoi akusticheskoi konferentsii "Akusticheskie metody i sredstva issledovaniya okeana"* [The fourth Far East acoustic conference "Acoustic methods and means of research of the Ocean". Theses of reports]. Vladivostok, 1986, pp. 107–108.

9. Makarov A.A., Chernetskii G.A., res. supervisors. [Analyzer of characteristics of hydroacoustic communication channels]. Report no. GR 0184000588, Novosibirsk, 1985. 77 p. (In Russian, unpublished)

10. Filippov B.I. Protokol obmena signalami v seti gidroakusticheskikh donnykh avtonomnykh stantsii [Signaling protocol network of hydroacoustic bottom autonomous stations]. *Izvestiya VolgGTU. Seriya: Elektronika, izmeritel'naya tekhnika, radiotekhnika i svyaz'* – *News of Volgograd state technical University. Series: Electronics and instrumentation engineering, radio engineering and communication*, 2015, vol. 12, no. 11 (176), pp. 104–111.

11. Orlov I.N., ed. *Elektrotekhnicheskii spravochnik: v 4 t.* [The electrotechnical reference book: in 4 vol.]. 9th ed. Moscow, MEI Publ., 2003.

12. Makarov A.A., Chinenkov L.A., res. supervisors. [Development of the principles and devices of transfer of geophysical information on a hydroacoustic communication channel]. Report no. GR 81019632, Novosibirsk, 1982. 76 p. (In Russian, unpublished).