

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

—
Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

А. Н. ЧЕКАНОВ, А. А. ГРАЧЕВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий

с использованием ЭВМ

по курсу

«Теоретические основы конструирования

и надежности ЭВА»

Москва

1978

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

А. Н. ЧЕКАНОВ, А. А. ГРАЧЕВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к проведению практических занятий
с использованием ЭВМ по курсу
«Теоретические основы конструирования
и надежности ЭВА»

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

А.Н.Чеканов, А.А.Грачев

Утверждены
редсоветом МВТУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к проведению практических занятий
с использованием ЭВМ по курсу
"Теоретические основы конструирования и
надежности ЭВА"

Под редакцией В.В.Шерстнева



Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом.
Рассмотрены и одобрены кафедрой П-8 7/У-78 г., Методической комиссией факультета П
и Учебно-методическим управлением.

Рецензент д.т.н., проф. МИРЭА

Д.И.Мировицкий

Содержание

Введение	3
Работа № 1. Оптимизация резервной системы при помощи ЭВМ.....	3
Работа № 2. Оценка параметрической надежности системы методами вероятностного моделирования.....	17

Редактор Н.Г.Ковалевская Корректор Л.И.Малютина

Заказ **1391** Объем 2 п.л. (уч.-издл. 1,9) Тираж 200 экз.

Бесплатно Подписано к печати 27.11.78 г. План 1978 г., № 14

Ротапринт МВТУ. 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

Введение

При оценке надежности ЭВА и РЭА использование ЭВМ целесообразно в расчетах, связанных с последовательными приближениями, формированием массивов случайных чисел, моделированием и проведением аналогичных трудоемких операций, позволяющих не только повысить точность расчетов, но и ставить задачи в более корректной форме. К таким задачам относится оптимизация параметров резервной системы и расчеты параметрической надежности, предлагаемые на двух практических занятиях.

Эти задачи не требуют значительного объема памяти и высокого быстродействия и их целесообразно ставить на мини-ЭВМ типа "Электроника С-50", "Саратов", 15ВСМ-5 и др.

Система команд 15ВСМ-5 сравнительно проста, что позволяет студенту быстро ее освоить и работать на машине совершенно самостоятельно в отличие от универсальных вычислительных машин.

Работа № I. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЗЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ

Цель работы - ознакомление с методами определения оптимальных конструктивных параметров резервированной системы при ограничениях веса, энергоемкости или стоимости на основе реализации машинных способов обработки информации.

Порядок выполнения работы. Получив задание, студент подготавливает данные для ввода в соответствие с вариантом из табл. 1 или 2, вводит исходные данные в машину, повторяет решения для нескольких значений конструктивных ограничений.

В отчет по работе включаются: исходные данные, структурная схема полученной резервной системы, характеристики надежности и параметры исходной и резервной систем, алгоритм и программа для оценки максимального значения надежности, график зависимости вероятности безотказной работы в функция допустимого веса.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Теоретически резервированием можно достигнуть любого заданного уровня надежности, однако при этом возрастают весогабаритные характеристики изделия, его стоимость и при использовании нагруженного резерва повышается потребляемая мощность,

что также увеличивает вес. В зависимости от требований, определяемых условиями эксплуатации, задаются и конструктивные ограничения: для летательных аппаратов - это предельный вес, для систем с чисто экономической ответственностью (поточные линии, аппаратура станков)-это стоимость.

Полагаем, что имеется нерезервированная система, состоящая из W блоков (рис. 1), находящихся в основном соединении.

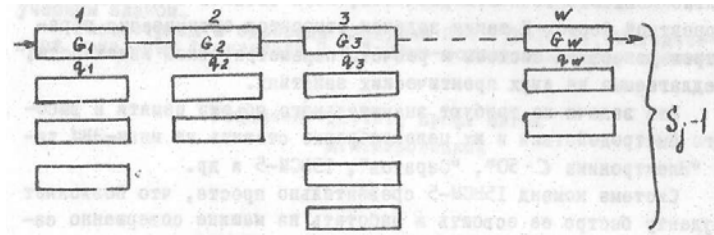


Рис. 1. Структурная схема расчета кратности резерва
 Заданы q_1, q_2, \dots, q_W - вероятности отказов блоков, веса которых соответственно равны G_1, G_2, \dots, G_W

Требуется провести поблочное резервирование системы так, чтобы вес системы не превышал бы допустимого $G_{доп}$ и вероятность безотказной работы $P_{рез}$ была бы максимальной.

По условию вес исходной системы

$$G_0 = \sum_{j=1}^W G_j, \quad (1)$$

вероятность безотказной работы этой же системы

$$P_0 = \prod_{j=1}^W (1 - q_j). \quad (2)$$

Если каждый из блоков исходной системы резервируется с помощью $S_j - 1$ резервных блоков, то вес зарезервированной системы будет

$$G_p = \sum_{j=1}^W S_j G_j; \quad (3)$$

вероятность ее безотказной работы

$$P_{рез} = \prod_{j=1}^W (1 - q_j^{S_j}) \quad (4)$$

Поскольку резервирование можно осуществить только целым числом блоков, задача сводится к нахождению таких целочисленных значений S_j^* , при которых вероятность безотказной работы при-

нимала бы максимальное значение, а вес не превышал бы допустимого

$$\sum_{j=1}^W S_j^* G_j \leq G_{гор} \quad (5)$$

В указанной постановке задача сводится к определению кратности резервирования S_j^0 из трансцендентного уравнения

$$\sum_{j=1}^W g_j \ln(g_j + y_0) = G_{гор} + \sum_{j=1}^W g_j \ln g_j, \quad (6)$$

в котором используется отношение

$$g_j = \frac{G_j}{\ln \frac{S_j^0}{g_j}}, \quad (7)$$

вычисляемое для каждого из W блоков, где $j = 1; 2; \dots; W$.

В дальнейшем под S_j^0 понимается целочисленная кратность резервирования, а под S_j^0 - дробная кратность резервирования, получаемая путем оценки y_0 из нижеследующих приближений, первое из которых проводится по зависимости

$$y_0^{(1)} = \exp\left[\frac{B}{\sum_{j=1}^W g_j}\right], \quad (8)$$

где $B = G_{гор} + \sum_{j=1}^W g_j \ln g_j$ является правой частью уравнения (6).

Для второго приближения обычно берут

$$y_0^{(2)} = y_0^{(1)} - \frac{\sum_{j=1}^W g_j \ln(y_0^{(1)} + g_j) - B}{\sum_{j=1}^W \frac{g_j}{y_0^{(1)} + g_j}} \quad (9)$$

и для третьего

$$y_0^{(3)} = \frac{y_0^{(1)} + y_0^{(2)}}{2} \quad (10)$$

Имея оценку y_0 , дробную кратность резервирования определяем как

$$S_j^0 = \left(\ln \frac{y_0 + g_j}{g_j}\right)^{-1} \quad (II)$$

Поскольку полученные дробные кратности резервирования могут быть округлены как по избытку $S_j^0 \Rightarrow S_j^*$, так и по недостатку $S_j^0 \Rightarrow S_j^{**}$, то представляют интерес только такие комбинации из S_j^* и S_j^{**} , представляющие наборы блоков резервированной системы, для которых функция $P(S_j^*)$ дает максимум и, кроме того, удовлетворяется условие

$$\sum_{j=1}^W S_j^* G_j \leq G_{гор} \quad (12)$$

Для выбора варианта резервирования среди целых чисел, отличающихся от S_j^0 не более чем на единицу, необходимо выбрать такие S_j^* , которые по сравнению с другими системами целых чисел, отвечали бы следующим условиям:

$$\sum_{j=1}^W G_j (S_j^0 - S_j^*) \geq 0, \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^W G_j (S_j^0 - S_j^*) = \min_{r_j^*} \quad (14)$$

Если несколько систем $\{S_j^*\}$ обеспечивают одинаковый минимум суммы $\sum_{j=1}^W G_j (S_j^0 - S_j^*)$, то выбирают ту, для которой

$$\sum_{j=1}^W G_j (S_j^0 - S_j^*)^2 = \min \quad (15)$$

По выбранной комбинации целочисленных значений S_j^* определяется вероятность безотказной работы резервированной системы по зависимости (4) с заменой S_j на S_j^* . Для сравнения вычисляется максимальное значение вероятности безотказной работы при

$$\rho_{pmax} = \frac{y_0^W}{\prod_{j=1}^W (y_0 - g_j)}, \quad (16)$$

что позволяет осуществить контроль правильности расчетов по условию выполнения неравенства $\rho_{рез} \leq \rho_{pmax}$.

Примечание. Постановка задачи получения оптимального уровня вероятности безотказной работы системы с резервированием при заданном ограничении на определяющий параметр не зависит от вида параметра. В большинстве случаев задают ограничения веса, поэтому в теоретической части работы решение задачи оптимизации проведено при заданом весе резервной системы. Варианты задания, в которых приняты ограничения другого вида, например стоимости (табл. 2), могут быть оптимизированы по той же схеме.

В программе решения задачи используются следующие машинные символы:

$$\begin{aligned} Q[\gamma] &\equiv q_j \quad j=1, \dots, 5 \\ G[\gamma] &\equiv G_j \\ G_{гор} &\equiv G_{гор} \end{aligned}$$

$$S^0[x] \equiv S_j^0$$

$$S^*[x]_{\text{нег}} \equiv S_j^*$$

$$S^*[x]_{\text{узб}} \equiv S_j^*$$

$$S^*[x]_{\text{опт}} \left\{ S_j^* \vee \bar{S}_j^* \right\} - \text{оптимальное значение.}$$

Таблица 1

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПО
УСЛОВИЯМ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЕСА

№ вар.	Параметр					
	Масса блоков, кг					Дополнительная масса системы, кг
	5	7	2	4	1	
1	0,2	0,3	0,41	0,5	0,6	60
2	0,1	0,2	0,35	0,4	0,31	71
3	0,1	0,25	0,2	0,45	0,3	58
4	0,15	0,3	0,18	0,4	0,6	65
5	0,018	0,22	0,38	0,5	0,4	80
6	0,12	0,2	0,24	0,4	0,6	76

Таблица 2

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПО УСЛОВИЯМ
ОГРАНИЧЕНИЯ СТОИМОСТИ

№ вар.	Параметр					
	Стоимости блоков, руб.					Дополнительная стоимость сис- темы, руб.
	50	30	15	40	25	
1	0,2	0,4	0,12	0,4	0,45	700
2	0,15	0,6	0,25	0,3	0,1	680
3	0,4	0,15	0,6	0,18	0,24	800
4	0,45	0,34	0,15	0,1	0,45	850
5	0,26	0,45	0,3	0,05	0,6	780
6	0,5	0,3	0,02	0,6	0,25	810

ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ

Программа решения данной задачи, алгоритм которой представлен на рис. 2, записана на МЛ и занимает 4 блока, контрольные суммы которых соответственно равны: КСбл1 = 37; КСбл2 = 2891; КСбл3 = 3782; КСбл4 = 3455.

Количество шагов в каждом блоке равно: КШбл1 = 4; КШбл2 = 289; КШбл3 = 374; КШбл4 = 342.

Программа использует метки: 0,1, ..., 9; 0001, 0002, 0015; 0106, 0107, ..., 0112. Для хранения исходных данных

и промежуточных расчетов используются регистры памяти R₁ П000- R₁П060. Распределение информации в регистрах памяти ЭКВМ показано в табл. 3.

Таблица 3

R ₁ П	000	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010
	q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	q ₅	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G _{гор}
R ₁ П	017	018	019	020	021	022	023	024	025	026	027
	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₀	S ₁ ^o	S ₂ ^o	S ₃ ^o	S ₄ ^o	S ₅ ^o
R ₁ П	028	029	030	031	032	033	034	035	036	037	
	S ₁ [*]	S ₂ [*]	S ₃ [*]	S ₄ [*]	S ₅ [*]	S ₁ [*]	S ₂ [*]	S ₃ [*]	S ₄ [*]	S ₅ [*]	
R ₁ П	049	015	055	056	057	058	059	012			
	$\sum_j (S_j^* \cdot G_j)$	$\sum_j (S_j^* \cdot G_j)_{opt}$	S _{1opt} [*]	S _{2opt} [*]	S _{3opt} [*]	S _{4opt} [*]	S _{5opt} [*]	P _{рез}			

Регистры памяти 011, 013, 014, 016, 038-048, 050-054 и 060 - служебные.

$(S_{1opt}^* \div S_{5opt}^*)$ - целочисленные значения кратностей резервирования, соответствующие оптимальному сочетанию количества блоков в каждой из резервных групп.

$\sum_j (S_j^* \cdot G_j)_{opt}$ - вес резервной системы, соответствующий оптимальному сочетанию блоков в тех же группах.

РАБОТА ПО ПРОГРАММЕ

Работа по программе осуществляется следующим образом:

1. Вставить МЛ; перемотать МЛ вправо, нажав клавишу .

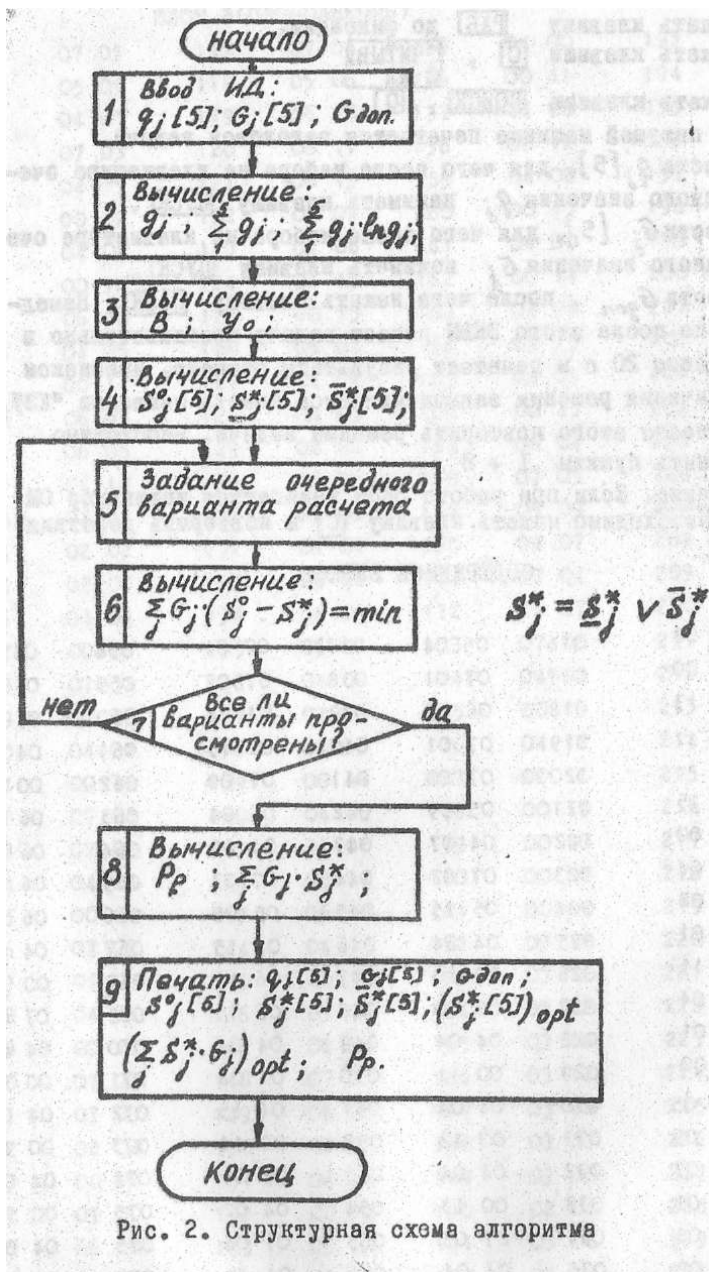


Рис. 2. Структурная схема алгоритма

2. Нажать клавишу **РАВ** до фиксации.
3. Нажать клавиши **С**, **СЧИТЫВ.**, **С**, **МЛ**.
4. Нажать клавиши **ПОИСК**, **0**.
5. На пишущей машинке печатается заголовок задачи.
6. Ввести $q_j [5]$, для чего после набора на клавиатуре очередного значения нажимать клавишу **ПУСК**.
7. Ввести $G_j [5]$, для q_j чего после набора на клавиатуре очередного "значения G_j нажимать клавишу **ПУСК**.
8. Ввести G_{gen} , после чего нажать клавишу **ПУСК**. Немедленно после этого ЭКВМ решает задачу приблизительно в течение 20 с и печатает результаты расчета. Признаком окончания решения задачи является печать символов "КЗ".

Чтобы после этого повторить решение задачи, необходимо вновь выполнить пункты 1 - 8.

Примечание. Если при работе ЭКЗМ загорается индикатор ОМ или ОП, то необходимо нажать клавишу **С** и повторить действия п. 1-8.

СОДЕРЖИМОЕ БЛОКОВ

БЛОК 1							
000	04 08	016	05 04	037	07 01	058	04 05
001	07 00	017	07 01	038	07 07	059	01 06
002	05 13	018	06 00	039	04 04	060	05 04
КС=37		019	07 01	040	00 15	061	04 00
		020	07 00	041	07 00	062	00 11
БЛОК 2							
000	00 15	021	05 09	042	06 04	063	06 04
001	07 00	022	04 07	043	04 08	064	06 11
002	06 04	023	07 02	044	07 03	065	06 02
003	04 08	024	05 15	045	05 05	066	06 05
004	07 01	025	04 04	046	06 15	067	04 00
005	05 15	026	00 10	047	06 11	068	00 12
006	05 04	027	07 00	048	06 15	069	07 01
007	07 01	028	04 04	049	04 04	070	04 00
008	06 00	029	00 11	050	01 06	071	00 13
009	07 05	030	04 04	051	04 15	072	04 00
010	05 09	031	00 12	052	00 14	073	00 14
011	04 07	032	04 04	053	05 05	074	04 00
012	07 01	033	00 13	054	04 02	075	00 15
013	04 08	034	07 05	055	01 06	076	04 05
014	07 02	035	04 04	056	04 15	077	00 13
015	05 15	036	00 14	057	00 15	078	06 04

БЛОК 2(ПРОДОЛЖЕНИЕ)

079	07 05	117	07 04	155	04 00	193	00 07
080	05 09	118	05 05	156	00 11	194	02 00
081	04 07	119	06 15	157	04 00	195	02 05
082	07 03	120	06 11	158	00 12	196	03 07
083	04 15	121	06 15	159	04 00	197	02 05
084	00 12	122	04 04	160	00 13	198	02 00
085	04 05	123	01 06	161	04 00	199	03 02
086	00 10	124	04 15	162	00 14	200	03 13
087	06 00	125	00 15	163	04 00	201	03 14
088	04 05	126	05 05	164	00 15	202	03 09
089	00 11	127	06 04	165	04 05	203	00 07
090	06 03	128	04 05	166	00 13	204	02 01
091	06 05	129	02 02	167	06 04	205	03 08
092	06 14	130	06 06	168	07 05	206	02 01
093	04 04	131	06 03	169	05 09	207	02 02
094	02 02	132	07 01	170	04 07	208	02 05
095	07 00	133	06 00	171	07 04	209	03 12
096	04 04	134	06 05	172	04 07	210	02 10
097	00 13	135	06 11	173	07 00	211	00 07
098	07 01	136	04 02	174	04 08	212	03 15
099	07 07	137	01 06	175	00 15	213	03 14
100	04 04	138	04 15	176	04 12	214	00 07
101	00 15	139	00 14	177	00 11	215	03 15
102	07 02	140	04 05	178	00 13	216	03 00
103	07 03	141	01 06	179	00 07	217	02 00
104	04 04	142	05 04	180	00 07	218	03 00
105	00 14	143	06 08	181	00 04	219	03 12
106	07 02	144	04 15	182	03 14	220	02 05
107	07 08	145	00 11	183	03 15	221	02 02
108	04 04	146	05 04	184	02 02	222	02 00
109	00 11	147	06 04	185	03 08	223	03 00
110	07 03	148	07 01	186	03 12	224	03 12
111	07 03	149	06 00	187	03 08	225	00 07
112	04 04	150	06 05	188	03 07	226	03 13
113	00 12	151	04 15	189	03 00	227	03 00
114	07 00	152	00 12	190	02 06	228	03 04
115	06 04	153	05 04	191	03 08	229	02 05
116	04 08	154	07 01	192	02 14	230	03 06

БЛОК 2 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)				БЛОК 3 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)			
231	03 13	270	03 00	019	04 04	058	04 04
232	03 14	271	02 00	020	06 00	059	04 05
233	02 01	272	03 00	021	04 08	060	04 08
234	02 02	273	03 10	022	07 05	061	00 04
235	03 08	274	02 02	023	07 01	062	04 05
236	00 13	275	02 05	024	04 00	063	03 09
237	00 07	276	02 00	025	04 02	064	04 12
238	00 07	277	03 08	026	04 05	065	06 11
239	00 07	278	02 01	027	04 02	066	05 14
240	00 07	279	02 02	028	04 12	067	00 05
241	00 07	280	03 08	029	06 11	068	04 05
242	00 07	281	03 10	030	04 07	069	02 09
243	00 07	282	00 06	031	07 06	070	04 04
244	00 07	283	01 02	032	04 05	071	04 04
245	03 15	284	00 13	033	03 02	072	04 08
246	02 00	285	00 12	034	04 04	073	00 06
247	03 08	286	04 13	035	04 07	074	04 05
248	00 07	287	05 11	036	04 08	075	03 08
249	03 14	КС=2891		037	00 00	076	04 12
250	03 03	БЛОК 3		038	04 05	077	06 11
251	02 00	000	07 00	039	04 01	078	05 14
252	03 00	001	04 04	040	04 12	079	00 08
253	03 13	002	03 08	041	06 11	080	04 05
254	03 08	003	04 04	042	04 07	081	02 08
255	02 07	004	03 09	043	07 08	082	04 04
256	02 05	005	04 04	044	04 05	083	04 03
257	03 13	006	04 00	045	03 01	084	04 08
258	03 08	007	04 04	046	04 04	085	00 11
259	03 08	008	04 01	047	04 05	086	07 00
260	00 07	009	07 09	048	04 08	087	04 04
261	03 02	010	07 09	049	00 01	088	04 09
262	02 05	011	07 09	050	04 05	089	07 05
263	02 01	012	04 04	051	04 00	090	07 00
264	03 14	013	04 08	052	04 12	091	04 04
265	03 02	014	07 01	053	06 11	092	00 12
266	02 10	015	07 11	054	05 14	093	07 05
267	00 15	016	04 04	055	00 02	094	04 04
268	00 07	017	04 02	056	04 05	095	00 13
269	00 15	018	07 02	057	03 00	096	07 04

БЛОК 3 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

097	07 03	135	00 15	173	00 11	211	04 04
098	04 04	136	04 15	174	05 04	212	01 06
099	00 15	137	00 14	175	07 01	213	04 15
100	07 02	138	07 02	176	04 00	214	00 11
101	07 03	139	07 08	177	00 11	215	05 05
102	04 04	140	05 09	178	04 00	216	04 02
103	00 14	141	05 14	179	00 12	217	01 06
104	06 04	142	00 12	180	04 15	218	04 05
105	04 08	143	04 15	181	00 12	219	01 06
106	00 12	144	04 09	182	07 05	220	06 14
107	05 05	145	04 12	183	07 05	221	06 04
108	04 04	146	05 10	184	05 09	222	07 01
109	01 06	147	05 14	185	05 14	223	06 06
110	04 15	148	00 13	186	00 14	224	06 01
111	00 15	149	04 07	187	04 07	225	06 05
112	05 05	150	07 05	188	07 05	226	04 02
113	04 01	151	04 08	189	04 08	227	00 12
114	01 06	152	00 13	190	00 09	228	04 15
115	04 15	153	04 05	191	07 05	229	00 14
116	00 12	154	04 08	192	07 05	230	05 05
117	05 04	155	05 08	193	04 04	231	04 04
118	04 15	156	04 07	194	00 11	232	01 06
119	00 13	157	07 05	195	07 05	233	04 15
120	05 05	158	04 14	196	04 04	234	00 11
121	04 02	159	04 08	197	00 14	235	05 05
122	01 06	160	07 05	198	07 01	236	04 02
123	04 05	161	07 05	199	04 04	237	01 06
124	01 06	162	04 04	200	00 12	238	04 05
125	04 00	163	00 11	201	07 00	239	01 06
126	04 09	164	07 05	202	04 04	240	04 00
127	07 01	165	07 00	203	00 13	241	00 15
128	04 00	166	04 04	204	04 04	242	07 01
129	00 12	167	00 12	205	00 15	243	04 00
130	04 00	168	06 04	206	06 04	244	00 11
131	00 13	169	04 08	207	04 08	245	04 00
132	04 00	170	00 14	208	01 06	246	00 13
133	00 14	171	05 05	209	05 05	247	04 00
134	04 00	172	04 15	210	06 11	248	00 14

БЛОК 3 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

249	04 05	287	05 09	325	00 04	363	00 00	097	07 03
250	00 13	288	04 07	326	04 08	364	00 10	098	04 04
251	06 04	289	07 09	327	00 03	365	00 09	099	00 15
252	07 05	290	07 00	328	04 05	366	04 08	100	07 02
253	05 09	291	04 04	329	03 05	367	00 10	101	07 03
254	05 14	292	04 01	330	04 04	368	04 05	102	04 04
255	01 06	293	07 01	331	04 05	369	03 03	103	00 14
256	04 07	294	04 00	332	00 04	370	04 04	104	06 04
257	07 00	295	04 00	333	04 08	371	04 03	105	04 08
258	04 08	296	04 05	334	00 05	372	00 11	106	00 12
259	07 06	297	03 01	335	04 15	КС=3782		107	05 05
260	04 15	298	04 04	336	06 00	БЛОК 4		108	04 04
261	06 00	299	04 06	337	05 09	000	04 12	109	01 06
262	05 09	300	00 01	338	05 14	001	00 11	110	04 15
263	04 07	301	04 08	339	00 07	002	00 13	111	00 15
264	07 07	302	07 09	340	07 00	003	00 07	112	05 05
265	07 00	303	04 05	341	04 04	004	00 07	113	04 01
266	04 04	304	03 06	342	03 09	005	00 06	114	01 06
267	04 02	305	04 04	343	07 01	006	02 14	115	04 15
268	07 01	306	04 06	344	04 00	007	01 09	116	00 12
269	04 00	307	00 01	345	03 08	008	03 09	117	05 04
270	04 01	308	04 08	346	04 05	009	02 15	118	04 15
271	04 05	309	00 02	347	02 09	010	02 05	119	00 13
272	03 02	310	04 15	348	04 04	011	00 07	120	05 05
273	04 04	311	06 00	349	04 04	012	00 07	121	04 02
274	04 07	312	05 09	350	00 06	013	00 07	122	01 06
275	00 00	313	05 14	351	04 08	014	00 07	123	04 05
276	04 08	314	00 03	352	00 07	015	00 07	124	01 06
277	07 07	315	07 00	353	04 05	016	00 04	125	04 00
278	04 05	316	04 04	354	03 04	017	04 13	126	04 09
279	03 07	317	04 00	355	04 04	018	07 00	127	07 01
280	04 04	318	07 01	356	04 04	019	04 04	128	04 00
281	04 07	319	04 00	357	00 00	020	00 13	129	00 12
282	00 00	320	03 09	358	04 08	021	06 04	130	04 00
283	04 08	321	04 05	359	00 08	022	04 08	131	00 13
284	07 08	322	03 00	360	04 15	023	01 11	132	04 00
285	04 15	323	04 04	361	06 00	024	05 05	133	00 14
286	06 00	324	04 05	362	05 09	025	04 11	134	04 00

БЛОК 4 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

026	04 04	084	00 06	142	07 08	200	01 09
027	04 12	085	03 03	143	05 09	201	03 09
028	00 07	086	01 05	144	05 14	202	02 15
029	00 07	087	00 04	145	01 07	203	00 04
030	04 13	088	03 04	146	04 12	204	03 08
031	07 01	089	03 14	147	00 13	205	03 07
032	04 00	090	03 15	148	00 07	206	03 01
033	00 13	091	00 06	149	00 07	207	00 06
034	04 15	092	01 02	150	00 06	208	01 02
035	00 13	093	01 06	151	02 01	209	02 05
036	07 05	094	01 11	152	00 04	210	00 04
037	05 09	095	00 07	153	00 09	211	04 12
038	05 14	096	00 07	154	00 06	212	07 03
039	01 11	097	00 04	155	01 09	213	07 03
040	04 12	098	04 13	156	03 09	214	04 04
041	00 13	099	04 05	157	02 15	215	01 06
042	00 07	100	00 10	158	00 04	216	06 04
043	00 07	101	04 11	159	03 13	217	04 08
044	00 06	102	04 04	160	03 05	218	01 10
045	03 03	103	04 12	161	03 04	219	05 05
046	01 09	104	00 13	162	00 06	220	04 11
047	03 09	105	00 07	163	01 02	221	04 04
048	02 15	106	00 07	164	02 05	222	04 12
049	02 05	107	00 06	165	00 04	223	00 07
050	00 07	108	02 01	166	04 13	224	00 07
051	00 07	109	00 04	167	07 02	225	04 13
052	00 07	110	02 15	168	07 08	226	07 01
053	00 07	111	00 06	169	04 04	227	04 00
054	00 07	112	01 09	170	00 11	228	01 06
055	00 04	113	03 09	171	06 04	229	04 15
056	04 13	114	02 15	172	04 08	230	01 06
057	07 05	115	02 05	173	01 09	231	07 03
058	04 04	116	00 07	174	05 05	232	07 08
059	00 14	117	00 07	175	04 11	233	05 09
060	06 04	118	00 07	176	04 04	234	05 14
061	04 08	119	00 07	177	04 12	235	01 10
062	01 12	120	00 04	178	00 07	236	04 12
063	05 05	121	04 13	179	00 07	237	00 13
064	04 11	122	07 02	180	04 13	238	00 07
065	04 04	123	07 03	181	07 01	239	00 07
066	04 12	124	04 04	182	04 00	240	00 06
067	00 07	125	00 14	183	00 11	241	02 01
068	00 07	126	06 04	184	04 15	242	00 04
069	04 13	127	04 08	185	00 11	243	00 09
070	07 01	128	01 07	186	07 03	244	00 06
071	04 00	129	05 05	187	07 03	245	01 09
072	00 14	130	04 11	188	05 09	246	03 09
073	04 15	131	04 04	189	05 14	247	02 15
074	00 14	132	04 12	190	01 09	248	00 04
075	07 01	133	00 07	191	04 12	249	03 14
076	07 00	134	00 07	192	00 13	250	03 15
077	05 09	135	04 13	193	00 07	251	02 02
078	05 14	136	07 01	194	00 07	252	00 06
079	01 12	137	04 00	195	00 06	253	01 02
080	04 12	138	00 14	196	02 01	254	02 05
081	00 13	139	04 15	197	00 04	255	00 04
082	00 07	140	00 14	198	00 09	256	04 13
083	00 07	141	07 02	199	00 06	257	07 05

БЛОК 4 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

258	07 05	280	01 08	302	01 09	324	00 04
259	04 04	281	04 12	303	03 09	325	04 13
260	00 11	282	00 13	304	02 15	326	04 05
261	06 04	283	00 07	305	01 06	327	00 12
262	04 08	284	00 07	306	01 11	328	04 11
263	01 08	285	00 04	307	00 07	329	04 04
264	05 05	286	02 01	308	00 07	330	04 12
265	04 11	287	02 03	309	00 04	331	00 13
266	04 04	288	03 12	310	04 13	332	00 07
267	04 12	289	03 12	311	04 05	333	00 07
268	00 07	290	03 00	312	00 15	334	00 04
269	00 07	291	00 06	313	04 11	335	03 10
270	04 13	292	01 05	314	04 04	336	03 07
271	07 01	293	02 01	315	04 12	337	00 13
272	04 00	294	00 04	316	00 13	338	00 12
273	00 11	295	00 09	317	00 07	339	04 12
274	04 15	296	00 06	318	00 07	340	05 15
275	00 11	297	01 09	319	00 04		
276	07 06	298	03 09	320	02 00		
277	07 00	299	02 15	321	00 06		
278	05 09	300	01 07	322	01 11		
279	05 14	301	03 03	323	00 07		

КС=3455

026	04 04
027	04 12
028	00 07
029	00 07
030	04 13
031	07 01
032	04 00
033	00 13
034	04 15
035	00 13
036	07 05
037	05 09
038	05 14
039	01 11
040	04 12
041	00 13
042	00 07
043	00 07
044	00 06
045	03 03
046	01 09
047	03 09
048	02 15
049	02 05
050	00 07
051	00 07
052	00 07
053	00 07
054	00 07
055	00 04
056	04 13
057	07 05
058	04 04
059	00 14
060	06 04
061	04 08
062	01 12
063	05 05
064	04 11
065	04 04
066	04 12
067	00 07
068	00 07
069	04 13
070	07 01
071	04 00
072	00 14
073	04 15
074	00 14
075	07 01
076	07 00
077	05 09
078	05 14
079	01 12
080	04 12
081	00 13
082	00 07
083	00 07

Работа № 2 . ОЦЕНКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ
МЕТОДАМИ ВЕРОЯТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы - ознакомление с методами оценки надежности систем, элементы которых имеют рассеивание долговечностей с параметрами, являющимися функцией времени, на основе машинной реализации вероятностного моделирования.

Порядок выполнения работы: 1. Студент, получивший задание готовит исходные данные в соответствии с кодом варианта (табл. 1) и заданными законами распределений (см. табл. 2 и 3) оформляя их в виде табл. 4. 2. После проверки преподавателем в машину вводятся исходные данные и по полученной распечатке значений $P_c(t_{\delta p})$ строится гистограмма распределения вероятностей безотказной работы схемы для $t_{\delta p}$ и Δt .

Отчет по работе должен включать: исходные данные в виде табл. 4, алгоритм решения задачи, распечатку значений $P_c(t_{\delta p})$, $P_c(t_{\delta p} + \Delta t)$, $P_c(t_{\delta p} + 2\Delta t)$ гистограммы распределения $P_c(t)$ для $t_{\delta p}$, $t_{\delta p} + \Delta t$ и $t_{\delta p} + 2\Delta t$.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оценка параметрической надежности для ряда сечений времени с использованием методов вероятностного моделирования позволяет учесть реальные законы распределения отказов и дает возможность проследить за изменением вероятности безотказной работы системы. Ограниченность информации учитывается шириной доверительных интервалов изменения параметров комплектующих при заданном уровне доверительной вероятности ρ^* .

Основой для прогнозирования надежности схем ЭВА является анализ процессов формирования параметрических отказов, которые независимо от физической причины возникновения (потеря выносливости, износ, диффузионные процессы или реологические изменения), подчиняются единой схеме (рис. 1), показывающей, что отказ в выборке элементов, имеющей начальное распределение определяющего параметра h с средним значением h_{0i} и размахом Δ_0 , произойдет, когда параметр h достигнет допустимого значения В.

Начальное рассеивание значений номиналов элементов статистически описывается изменением оценок среднего значения

$$\bar{h} = h(t)$$

и размаха выборки $\Delta t = \Delta(t) = h_{max}(t) - h_{min}(t)$.

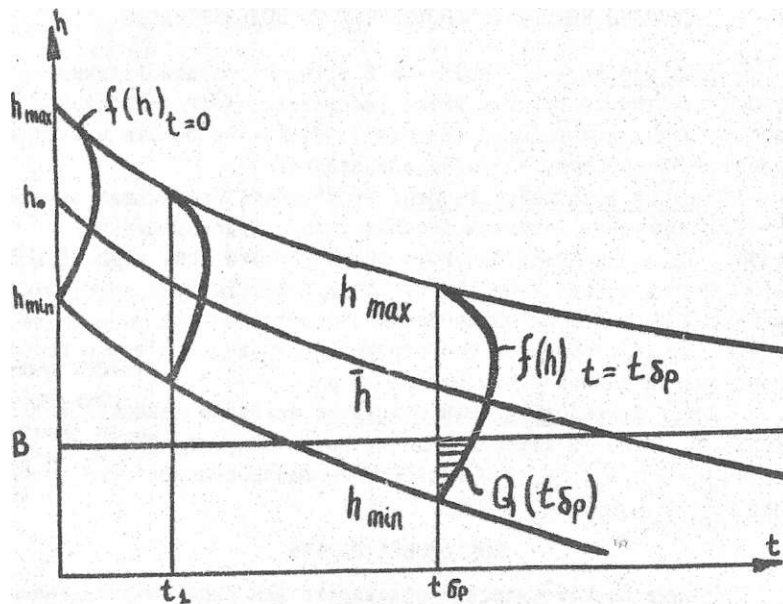


Рис. 1. Схема формирования параметрического отказа

Таблица I

Варианты задания

№ вар.	Состав варианта	Исходное		Доверительная вероятность ρ^*
		$t_{\delta p}$	Δt	
1	2Н2Р1С1Э	230	50	0,95
2	5Н4Р1С2Э	200	100	0,80
3	1Н3Р2С6Э	185	50	0,95
4	3Н3Р5С3Э	200	100	0,98
5	1Н4Р4С7Э	210	100	0,98
6	2Н3Р4С9Э	200	100	0,95
7	4Н2Р5С5Э	205	50	0,95
8	3Н5Р1С4Э	170	50	0,9
9	1Н4Р3С8Э	190	50	0,95
10	2Н1Р3С10Э	250	100	0,95

Таблица 2

Виды распределений

Вид распределения	Число испытаний	Допустимое значение параметра	Начальные значения распределения							
			линейно-равномерного				линейно-верного			
	n	β	n_0	Δ_0	$\alpha \cdot 10^2$	Δ_0	$\alpha \cdot 10^2$	$\beta \cdot 10^2$	ξ	ζ
Нормальное	1Н	2,2	8,1	4,2	2,15					
	2Н	1,9				1,1	2,18	3,3	9,2	-40
	3Н	1,85	6,9	4,1	2,12					
	4Н	2,1				1,2	2,16	3,1	9,6	-50
	5Н	2,0	7,8	4,2	2,1					
Равномерное	1Р	3,8	16,2	7,8	4,32					
	2Р	5,1				2,2	4,31	3,2	19,5	-48
	3Р	4,3	15,8	7,85	4,28					
	4Р	5,15				2,18	4,29	3,5	18,8	-45
	5Р	3,9	14,8	7,6	4,0					
Симпсона	1С	12,3	45,5	18,2	13,5					
	2С	10,0				5,6	13,8	3,9	49,5	-51
	3С	12,7	48,6	18,2	12,8					
	4С	12,4				5,2	13,6	4,1	50,1	-48
	5С	13,3	45,8	20,1	13,8					

Таблица 3

Экспоненциальное распределение

№ варианта	Число испытаний n	Интенсивность отказов 10^4	№ варианта	Число испытаний n	Интенсивность отказов 10^4
1Э	35	0,12	6Э	24	1,72
2Э	71	4,3	7Э	40	1,97
3Э	48	3,1	8Э	43	4,12
4Э	17	0,47	9Э	31	5,8
5Э	23	0,31	10Э	18	3,87

Таблица 4

Исходные данные для расчетов $\Delta t = t_{\delta p} =$

Закон рас- пределения	Исходные значения	$t_{\delta p} + \Delta t$	$t_{\delta p} + 2\Delta t$	$t_{\delta p} + 3\Delta t$	Примечание
Нормальный	Δt				
	h				
	B				
Равной вероятности	Δt				
	h				
	B				
Симпсона	Δt				
	h				
	B				
Экспонен- циальный	ρ_e				
	ρ_B				
	ρ_H				

В общем случае зависимости характеристик рассеивания от времени нелинейны, однако, как правило, вид закона рассеивания параметра $f(h)$ остается неизменным для любого сечения времени, выбранного для определения вероятности безотказной работы элемента $P(t_{\delta p})$. Величина $P(t_{\delta p})$ находится как площадь под кривой распределения $f(h)$ для заданного $t_{\delta p}$ по зависимости

$$P(t_{\delta p}) = \int_0^{t_{\delta p}} f(h) dh.$$

Для упрощения оценок параметров закона распределения вводится линейно-равномерная и линейно-верная аппроксимации, позволяющие представить любое изменение рассеивания по времени в кусочно-линейной форма.

При изменении рассеивания параметра, происходящего по ли-

нейно-равномерному закону (ЛР), оценка диапазона изменения параметра (рис. 2а)

для заданного $t_{\delta p}$ проводится по зависимостям

$$\bar{h} = \bar{h}_0 - \alpha_0 t_{\delta p}, \quad (1)$$

$$\Delta_t = \Delta_0 = \text{const}, \quad (2)$$

где \bar{h}_0 и \bar{h} - начальное и соответствующее $t_{\delta p}$ среднее значение параметра;

Δ_0 и Δ_t - начальная и соответствующая $t_{\delta p}$ величина размаха распределения параметра;

α_0 - характеристика убывания среднего (в случае возрастания среднего ставится знак плюс).

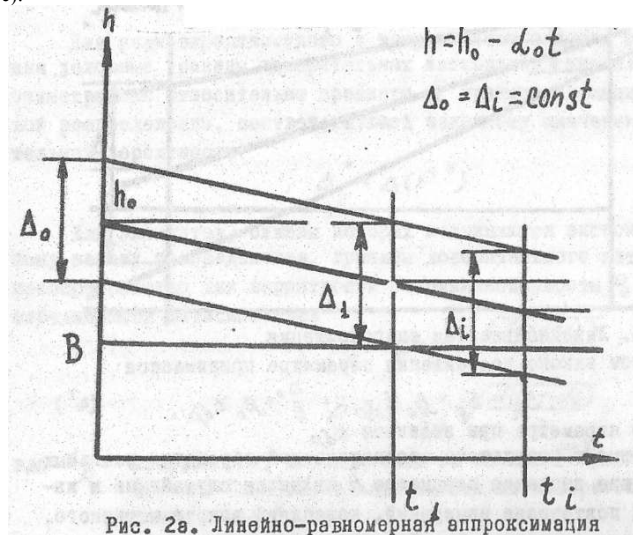


Рис. 2а. Линейно-равномерная аппроксимация

При нормальном законе распределения отказов и линейно-равномерном убывании параметра при оценке диапазона рассматривается СКО и тогда

$$S_h = S_0 = \text{const}. \quad (2')$$

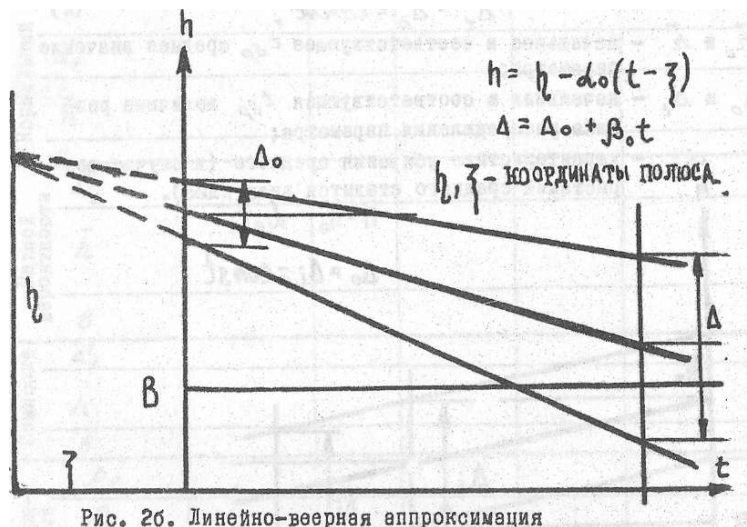
Для линейно-верного (ЛВ) изменения параметра (см. рис. 2б) преобразование диапазона производится по зависимостям

$$\bar{h} = \zeta - \alpha_0 (t_{\delta p} - \xi) \quad (3)$$

$$\Delta t = \Delta_0 + \beta_0 t_{\delta p}, \quad (4)$$

где ζ и ξ - координаты полюса; \bar{h} - среднее значение параметра при заданном $t_{\delta p}$;

Δ_0 и Δ_t - начальное и соответствующее $t_{\text{до}}$ значения диапазона (размаха) изменения параметра;
 α_0 и β_0 - соответственно характеристики изменения среднего и размаха изменения параметра.



При нормальном законе рассеивания параметра принимается

$$S_h = S_0 + \beta_0 t_{\text{до}} = \frac{\Delta_0}{6} + \beta_0 t_{\text{до}}, \quad (4')$$

где S_h - СКО параметра при заданном $t_{\text{до}}$.

Полученные в результате статистической обработки реальных выборок средние значения параметра \bar{h} являются случайными и изменяются при повторении измерений, колеблясь вокруг истинного, но неизвестного значения h . Для получения гарантированных оценок разброса параметра \hat{h} вводится учет случайного положения \bar{h} внутри доверительного интервала Δ_t , накрывающего истинное значение h с доверительной вероятностью ρ^* .

Практически Δ определяется в зависимости от числа испытаний n , уровня доверительной вероятности ρ^* и вида закона распределения параметра. Ширина доверительного интервала, которая также является случайной величиной в данных расчетах принимается постоянной для всех \bar{h} .

Для нормального закона распределения отказов доверительный интервал строится по зависимостям

$$P\{\bar{n} - \varepsilon < \mu < \bar{n} + \varepsilon\} = P^* \quad (5)$$

$$\varepsilon = t_{\alpha} \frac{S_A}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

где

$t_{\alpha} = t_{(n-1); P^*}$ определяется по таблицам t-распределения Стьюдента*.

С учетом (6) находится ширина доверительного интервала распределения параметра

$$\Delta_t^1 = z \varepsilon \quad (7)$$

Для равновероятностного и треугольного законов распределения условные границы доверительных интервалов определяются как симметричные относительно среднего \bar{n} границы площади под кривой распределения, соответствующей заданному значению доверительной вероятности

$$\Delta_t^1 = \Delta(P^*) \quad (8)$$

Для элементов, отказы которых подчиняются экспоненциальному закону распределения, границы доверительного интервала непосредственно для вероятности безотказной работы $P_e(t_{\delta p})$ определяются зависимостями

$$P_B = P_e + t_{\beta} \sqrt{\frac{P_e(1-P_e)}{n}} \quad (9)$$

$$P_H = P_e - t_{\beta} \sqrt{\frac{P_e(1-P_e)}{n}} \quad (10)$$

где t_{β} - коэффициент, определяемый по таблице** распределения функции Лапласа, в зависимости от доверительной вероятности P^* ;

n - число наблюдений, по которому определялось значение интенсивности отказов λ_c .

Вероятность безотказной работы элемента P_e находится по зависимости

$$P_e(t_{\delta p}) = e^{-\lambda_c t_{\delta p}} \quad (II)$$

Вероятностное моделирование осуществляется посредством оценки случайного выбора положения среднего значения \bar{n} внутри дове-

* Ю.В.Линник. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М., Физматгиз, 1958, стр. 328, табл. 1.

** Е.С.Вентцель. Теория вероятностей. М., "Наука", 1969, стр. 321, табл. 14. 3.1.

рительного интервала Δ_i и последующего определения вероятности безотказной работы данного элемента $\rho_i(t)$ с учетом соответствующего смещения функции распределения параметра h . Для осуществления этой процедуры производится разбиение полученных доверительных интервалов на 10 квантов, каждому из которых приписывается определенный номер. Случайный выбор кванта осуществляются по стандартной программе или вручную.

Для экспоненциального закона распределения квантование доверительного интервала

$$\Delta_9(t) = \rho_B - \rho_H \quad (11')$$

сразу же дает значения $\rho_i(t)$, используемые при вероятностном моделировании. По остальным распределениям - нормальному, равномерному и Симпсона - производится вычисление характеристик вероятности безотказной работы $\rho_i(t)$ для каждого из комплектующих элементов, по случайно выбранным средним значениям квантов.

Для нормального закона распределения при линейно-равномерном распределении параметра используется выражение

$$\rho(t_{\delta p}) = 1 - \Phi \left\{ \frac{\bar{h}_K - B}{S_h} \right\}, \quad (12)$$

где знаком Φ обозначается значение функции Лапласа от дроби, заключенной в скобки;

\bar{h}_K - среднее значение параметра, соответствующее случайно выбранному кванту;

B - предельно допустимое значение параметра;

S_h - определяется зависимостью (2').

При линейно-верном изменении параметра вероятность безотказной работы элементов, рассеивание долговечностей которых подчиняется нормальному закону, определяется по зависимости

$$\rho(t_{\delta p}) = 1 - \Phi \left\{ \frac{\bar{h}_K - B}{S_0 + \beta_0 t_{\delta p}} \right\}, \quad (13)$$

где S_0 - начальное значение среднеквадратичного отклонения, определяемое по зависимости (4');

β_0 - характеристика возрастания рассеивания во времени.

Для равновероятного закона распределения параметра случайное значение вероятности безотказной работы (см. рис. 4) определяется условными границами доверительного интервала по зависимости

$$P_p(t_{dp}) = 0,5 + \frac{(\bar{h}_k - B)}{\Delta_k}, \quad (14)$$

где $\frac{\Delta_k}{2}$ - условная ширина доверительного интервала;
 \bar{h}_k - случайно выбранное значение среднего.

Для треугольного распределения (распределения Симпсона) оценка случайного значения вероятности безотказной работы определяется из выражения

$$P_c(t_{dp}) = 1 - \left(\frac{B - \bar{h}_k + \frac{\Delta_k}{2}}{\Delta_k} \right) \quad (15)$$

В этом выражении, как и выше, \bar{h}_k и Δ_k - случайное значение среднего и ширина доверительного интервала соответственно.

Целью проводимой работы является получение закона распределения вероятности безотказной работы системы $P_c(t)$, для чего производится перемножение случайных значений вероятностей безотказной работы по всем элементам, составляющим систему, в соответствии с зависимостью

$$P_c(t_{dp}) = \prod_{i=1}^n P_i(t_{dp}) \quad (16)$$

Для получения распределения достаточно иметь статистический ряд из 50-60 значений P_c для каждого сечения времени $t_{dp}, t_{dp} + \Delta t$ и $t_{dp} + 2\Delta t$.

Гистограммы распределений для заданных $t_{dp}, t_{dp} + \Delta t$ и т.д. строятся путем группирования значений $P_c(t)$ по ряду интервалов (8-10) и представляются в виде графика.

ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ

Программа решения задачи, алгоритм которой представлен на рис. 3, записана на МЛ и занимает три блока, контрольные суммы которых соответственно равны: КС бл1=37; КС бл2=1785; КС бл3=7061.

Количество шагов в каждом блоке равно КШ бл1=4; КШ бл2=180; КШ бл3=681.

Программа использует мотки: 0,1,2,...,9, 0000, 0001, ..., 0015, 0106,0107,0108,0109,0200,0206. Для хранения исходных данных и промежуточных расчетов используются регистры памяти РгП000-РгП29.

Распределение информации в регистрах памяти ЭКВМ представлено в табл. 5.

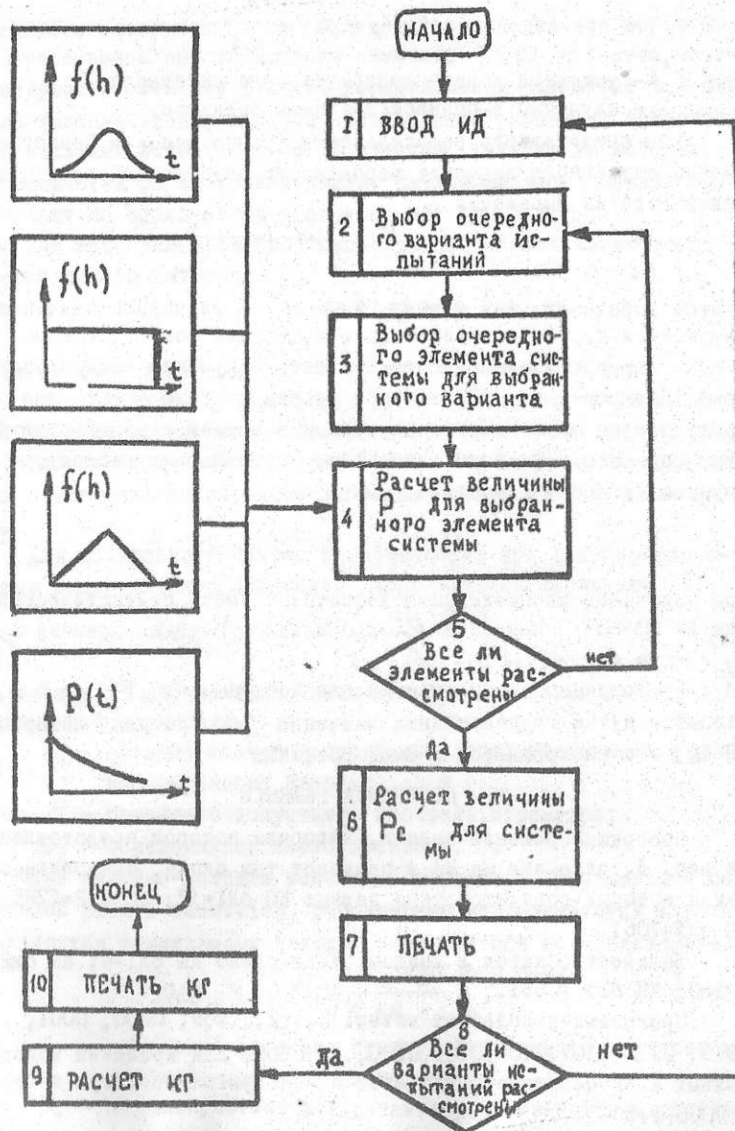


Рис. 3. Структурная схема алгоритма

Таблица 5

РгП	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Δ_t^1	\bar{h}	B	Δ_t^1	\bar{h}	B	Δ_t^1	\bar{h}	B	P_{CD}	P_B	P_H	K_3	n	
	нормальный закон			равномерный закон			закон Симпсона			экспоненциальный закон			K_3	n	
РгП	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
	K_3	$K_Г$	P_c	рабочие регистры:											
РгП	26	27	28	29											
	рабочие регистры														

где K_3 - заданное количество испытаний;

K_3 - номер очередного испытания;

[РгП13] - число, используемое для работы программы ДСЧ, причем $n \neq 0; n \neq 1$;

$K_Г$ - доля годных;

P_c

- вероятность безотказной работы системы из четырех элементов.

РАБОТА ПО ПРОГРАММЕ

Работа по программе осуществляется в следующем порядке:

1. Вставить МЛ, перемотать МЛГ вправо, нажав клавишу **▶**.
2. Нажать клавишу **РАБ** до фиксации.
3. Нажать клавиши **С** **СЧИТЫВ** **С** **МЛ**.
4. Нажать клавиши **ПОИСК**, **0**.
5. Пишущая машинка печатает заголовок задачи, делает перевод строки и возврат каретки, далее печатается фраза "Введи ИД"
6. Вводятся исходные данные в такой последовательности:
 - а) Δ_t^1, \bar{h}, B - для нормального закона;
 - б) Δ_t^1, \bar{h}, B - для равномерного закона;
 - в) Δ_t^1, \bar{h}, B - для закона Симпсона;
 - г) P_c, P_B, P_H - экспоненциального закона;
 - д) K_3 ;
 - е) n .

Примечание. После ввода каждого из значений а - г или д осуществляется печать введенного значения и лишь после этого можно вводить очередное значение.

После ввода каждого числа необходимо нажать клавишу **ПОИСК**

Если после ввода очередного числа студент замечает ошибку в наборе числа (клавиша **ПОИСК** еще не нажата!), то нажав кла-

вишу **СК**, набрать правильное значение числа; если ошибка замечена после нажатия клавиши **ПУСК**, то повторить задачу с п. 1.

7. При нажатии клавиши **ПУСК** после набора n (п.6е) ЭКВМ переходит к решению задачи. Среднее время счета для одного испытания составляет 10 с. Результаты решения печатаются в два столбца, причем в первой позиции каждой строки печатается номер испытания, а во второй позиции - величина P_c . После печати в строке печатается величина КГ и признак окончания задачи "КЗ".

В программе решения задачи предусмотрен случай, когда вероятность безотказной работы одного из четырех элементов равна нулю; в этом случае в первой позиции строки печатается номер испытания, во второй позиции - цифра ноль, в третьей позиции - одна из цифр 1,2,3,4, которые указывают, какой из элементов системы имеет вероятность безотказной работы, равную нулю, причем цифра 1 соответствует нормальному закону, цифра 2 - равномерному закону, цифра 3 - закону Симпсона, цифра 4 - экспоненциальному закону.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. Чтобы повторить решение задачи при $t_{до} + \Delta t$, $t_{до} + 2\Delta t$ и т.д., необходимо определить новые значения доверительных интервалов, провести квантование и выполнить пп. 1-7. Действия по пп. 1-7 повторяются и в случае, если при работе ЭКВМ загорается индикатор ОП или ОМ, предварительно перед повторением надо нажать клавишу **С**.

Примечание 2. Программа построена для системы, состоящей из четырех элементов, однако на ее основе может быть получена оценка надежности любой реальной схемы, путем последовательного свертывания частей схемы, представляемых четырьмя элементами. Используемая в алгоритме стандартная программа генерация случайных чисел, распределенных равномерно на отрезке [-1;+1], позволяет моделировать выборку практически любого закона распределения.

СОДЕРЖАНИЕ БЛОКОВ							
БЛОК 1		БЛОК 2 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)					
000	04 08	010	03 05	025	00 07	040	03 04
001	07 00	011	02 02	026	02 01	041	03 00
002	05 13	012	00 07	027	00 07	042	00 07
КС=37		013	00 07	028	00 07	043	00 07
БЛОК 2		014	03 13	029	02 03	044	03 15
000	04 12	015	03 00	030	02 07	045	03 00
001	00 11	016	03 04	031	03 05	046	02 00
002	00 13	017	03 05	032	02 02	047	03 00
003	00 07	018	03 06	033	03 14	048	03 12
004	00 07	019	03 13	034	03 12	049	03 05
005	00 04	020	03 14	035	00 07	050	02 02
006	02 00	021	02 01	036	00 07	051	02 00
007	03 00	022	02 02	037	02 03	052	03 14
008	02 01	023	03 08	038	00 15	053	03 02
009	02 07	024	00 07	039	03 14	054	00 07

БЛОК 2 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)											
055	00	07	113	00	01	171	00	07	048	02	03
056	03	10	114	04	08	172	00	12	049	04	08
057	03	14	115	07	03	173	04	13	050	07	05
058	03	12	116	07	06	174	05	15	051	04	05
059	03	15	117	05	09	175	04	04	052	00	13
060	03	11	118	04	07	176	00	13	053	00	13
061	03	05	119	07	04	177	04	07	054	04	04
062	03	10	120	00	00	178	07	00	055	00	13
063	02	02	121	04	08	КС=1785			056	05	04
064	02	03	122	07	04	БЛОК 3			057	07	01
065	02	13	123	05	08	000	07	00	058	06	00
066	02	09	124	04	07	001	04	04	059	07	02
067	03	08	125	07	05	002	00	14	060	06	03
068	00	15	126	00	01	003	04	04	061	04	14
069	00	13	127	04	08	004	00	15	062	02	04
070	00	07	128	07	05	005	04	08	063	04	15
071	03	02	129	07	09	006	07	02	064	01	07
072	03	02	130	05	09	007	07	01	065	07	01
073	03	05	131	04	07	008	04	00	066	05	09
074	03	04	132	07	06	009	00	14	067	04	07
075	03	08	133	00	00	010	04	04	068	07	06
076	00	07	134	04	08	011	01	06	069	04	07
077	00	07	135	07	06	012	07	00	070	07	07
078	03	08	136	05	08	013	04	04	071	04	08
079	03	04	137	04	07	014	01	07	072	07	06
080	00	12	138	07	07	015	04	08	073	07	03
081	04	13	139	00	01	016	07	03	074	05	09
082	07	00	140	04	08	017	07	01	075	04	07
083	06	04	141	07	07	018	04	00	076	07	08
084	04	04	142	07	01	019	01	07	077	04	07
085	00	15	143	07	02	020	04	15	078	07	07
086	04	12	144	05	09	021	01	07	079	04	08
087	00	11	145	04	07	022	07	01	080	07	08
088	00	13	146	00	01	023	05	09	081	07	04
089	04	13	147	00	00	024	04	07	082	05	09
090	04	08	148	04	08	025	00	05	083	04	07
091	07	01	149	00	00	026	04	15	084	07	09
092	05	15	150	04	12	027	00	00	085	04	08
093	05	04	151	00	13	028	04	14	086	07	07
094	04	11	152	04	13	029	01	08	087	04	05
095	04	04	153	04	08	030	07	06	088	02	04
096	07	01	154	00	01	031	06	03	089	04	00
097	04	00	155	04	15	032	04	14	090	02	02
098	00	15	156	00	14	033	02	01	091	07	01
099	04	14	157	07	01	034	04	05	092	04	00
100	00	14	158	06	00	035	00	01	093	02	03
101	04	15	159	07	01	036	04	04	094	04	15
102	00	15	160	07	02	037	01	09	095	01	07
103	07	03	161	05	09	038	04	05	096	05	09
104	05	09	162	04	07	039	00	02	097	04	07
105	04	07	163	07	01	040	04	04	098	00	01
106	07	02	164	05	15	041	02	00	099	00	00
107	00	00	165	04	04	042	04	08	100	04	08
108	04	08	166	00	12	043	07	04	101	00	01
109	07	02	167	04	11	044	07	00	102	07	04
110	05	08	168	04	04	045	04	04	103	05	09
111	04	07	169	04	12	046	02	02	104	04	07
112	07	03	170	00	13	047	04	04	105	00	02

ЛЮК 3(ПРОДОЛЖЕНИЕ)

106	04 08	163	04 05	220	06 03	277	06 01
107	00 00	164	02 05	221	04 05	278	07 06
108	04 15	165	06 00	222	00 04	279	06 03
109	02 03	166	04 14	223	06 00	280	06 05
110	07 01	167	02 02	224	04 14	281	04 02
111	07 02	168	00 04	225	02 06	282	02 02
112	05 09	169	04 08	226	04 15	283	04 05
113	04 07	170	00 02	227	00 05	284	00 09
114	07 05	171	04 15	228	04 14	285	04 00
115	04 15	172	02 03	229	02 00	286	02 02
116	02 02	173	07 02	230	04 07	287	04 08
117	07 06	174	05 09	231	07 05	288	00 04
118	06 01	175	04 07	232	04 08	289	04 15
119	04 14	176	07 05	233	00 06	290	02 06
120	02 02	177	04 15	234	04 15	291	04 05
121	04 15	178	02 02	235	01 07	292	02 05
122	01 07	179	07 02	236	07 03	293	06 01
123	07 01	180	06 03	237	05 09	294	07 01
124	05 09	181	04 14	238	04 07	295	07 00
125	04 07	182	02 02	239	07 04	296	05 03
126	00 03	183	04 15	240	04 15	297	04 14
127	04 15	184	02 06	241	00 06	298	02 04
128	02 02	185	04 05	242	04 14	299	07 00
129	04 05	186	02 05	243	01 08	300	04 04
130	02 01	187	06 01	244	07 02	301	02 03
131	06 02	188	04 05	245	06 03	302	04 08
132	04 05	189	02 02	246	04 05	303	00 07
133	01 09	190	06 02	247	00 07	304	07 01
134	06 00	191	04 05	248	06 06	305	04 00
135	04 14	192	02 05	249	06 01	306	02 03
136	02 02	193	06 00	250	04 14	307	04 15
137	04 15	194	04 14	251	02 05	308	02 03
138	02 01	195	02 02	252	04 15	309	04 05
139	07 03	196	00 04	253	00 06	310	02 04
140	06 02	197	04 08	254	07 02	311	06 02
141	04 05	198	00 05	255	06 03	312	04 05
142	01 09	199	04 15	256	04 05	313	02 05
143	06 06	200	01 07	257	00 07	314	06 00
144	06 01	201	07 02	258	06 00	315	04 05
145	04 14	202	05 09	259	04 14	315	02 02
146	02 05	203	04 07	260	02 06	317	05 07
147	04 15	204	00 06	261	04 15	318	04 07
148	01 09	205	04 15	262	00 08	319	00 07
149	06 00	206	00 03	263	04 14	320	04 15
150	04 14	207	04 14	264	02 00	321	02 03
151	02 06	208	01 08	265	04 07	322	07 12
152	00 04	209	07 02	266	07 04	323	07 05
153	04 08	210	06 03	267	04 08	324	06 01
154	07 09	211	04 05	268	00 03	325	04 05
155	04 15	212	00 04	269	04 15	326	02 04
156	02 06	213	06 06	270	00 10	327	06 02
157	04 05	214	06 01	271	04 14	328	04 05
158	02 05	215	04 14	272	02 06	329	02 05
159	06 01	216	02 05	273	04 05	330	05 00
160	04 05	217	04 15	274	00 11	331	04 14
161	02 04	218	00 03	275	04 04	332	02 04
162	06 02	219	07 02	276	02 05	333	04 15

БЛОК 3 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

334	01 07	391	01 06	448	06 06	505	04 11
335	07 04	392	04 08	449	06 01	506	03 03
336	05 09	393	00 12	450	06 05	507	04 12
337	04 07	394	07 02	451	04 08	508	00 13
338	00 09	395	05 09	452	00 15	509	00 07
339	04 05	396	04 07	453	04 02	510	00 04
340	02 04	397	01 09	454	01 06	511	03 10
341	04 02	398	01 08	455	04 08	512	03 07
342	01 06	399	04 08	456	00 08	513	00 13
343	07 01	400	01 06	457	04 15	514	00 12
344	04 00	401	04 15	458	01 07	515	04 13
345	00 15	402	02 04	459	07 04	516	05 15
346	00 08	403	04 05	460	05 08	517	04 08
347	04 08	404	02 00	461	04 07	518	00 10
348	00 09	405	06 01	462	02 04	519	04 12
349	04 15	406	04 05	463	04 07	520	00 11
350	01 08	407	02 01	464	07 03	521	00 13
351	07 02	408	06 03	465	04 08	522	00 07
352	05 03	409	06 05	466	02 04	523	00 04
353	04 05	410	00 14	467	04 12	524	04 13
354	02 04	411	07 12	468	00 11	525	04 05
355	06 06	412	07 05	469	00 13	526	00 14
356	06 01	413	06 06	470	00 07	527	04 11
357	04 14	414	06 01	471	04 13	528	02 02
358	02 02	415	06 05	472	04 05	529	04 12
359	04 05	416	00 15	473	00 14	530	00 07
360	01 08	417	04 08	474	04 11	531	04 13
361	06 00	418	01 08	475	02 02	532	07 00
362	04 14	419	04 15	476	04 12	533	04 11
363	02 03	420	02 04	477	00 07	534	03 03
364	04 15	421	04 05	478	04 13	535	04 12
365	02 02	422	02 00	479	04 05	536	00 07
366	04 05	423	06 01	480	01 06	537	04 13
367	02 00	424	04 05	481	04 11	538	04 05
368	05 07	425	01 08	482	03 03	539	01 07
369	04 07	426	06 03	483	04 12	540	04 11
370	00 11	427	07 12	484	00 13	541	01 01
371	07 01	428	07 05	485	00 12	542	04 12
372	00 15	429	06 00	486	04 13	543	00 13
373	04 08	430	06 05	487	04 08	544	00 12
374	00 11	431	00 15	488	02 06	545	04 13
375	04 15	432	04 08	489	04 15	546	02 06
376	02 00	433	01 09	490	00 14	547	04 08
377	04 05	434	04 15	491	04 05	548	00 13
378	02 03	435	01 08	492	00 12	549	04 04
379	05 07	436	07 02	493	05 09	550	02 08
380	04 07	437	06 03	494	04 07	551	05 07
381	01 07	438	04 05	495	07 02	552	06 11
382	00 10	439	02 00	496	04 15	553	04 04
383	04 08	440	06 00	497	00 15	554	02 09
384	01 07	441	04 05	498	06 03	555	06 04
385	04 15	442	02 04	499	06 05	556	07 00
386	01 07	443	06 01	500	04 12	557	05 07
387	07 01	444	04 05	501	00 11	558	05 14
388	05 09	445	01 08	502	00 13	559	07 11
389	04 07	446	06 03	503	00 07	560	07 12
390	00 12	447	07 01	504	04 13	561	07 00

334	01 07						
335	07 04						
336	05 09						
337	04 07						
338	00 09						
339	04 05						
340	02 04						
341	04 02						
342	01 06						
343	07 01						
344	04 00						
345	00 15						
346	00 08						
347	04 08						
348	00 09						
349	04 15						
350	01 08						
351	07 02						
352	05 03						
353	04 05						
354	02 04						
355	06 06						
356	06 01						
357	04 14						
358	02 02						
359	04 05						
360	01 08						
361	06 00						
362	04 14						
363	02 03						
364	04 15						
365	02 02						
366	04 05						
367	02 00						
368	05 07						
369	04 07						
370	00 11						
371	07 01						
372	00 15						
373	04 08						
374	00 11						
375	04 15						
376	02 00						
377	04 05						
378	02 03						
379	05 07						
380	04 07						
381	01 07						
382	00 10						
383	04 08						
384	01 07						
385	04 15						
386	01 07						
387	07 01						
388	05 09						
389	04 07						
390	00 12						

БЛОК 3 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)					
562	07 05	592	07 03	622	02 03
563	06 00	593	06 02	623	07 07
564	06 05	594	06 05	624	06 02
565	04 12	595	06 14	625	06 05
566	07 01	596	06 04	626	06 14
567	06 08	597	07 01	627	06 04
568	04 12	598	07 06	628	07 02
569	04 01	599	07 07	629	07 09
570	04 15	600	06 02	630	07 08
571	02 09	601	06 05	631	06 02
572	06 01	602	04 12	632	06 05
573	07 02	603	04 03	633	04 12
574	07 00	604	04 01	634	04 05
575	06 02	605	02 07	635	04 01
576	06 05	606	04 15	636	02 07
577	04 15	607	02 03	637	04 15
578	02 08	608	07 05	638	02 03
579	05 11	609	06 02	639	07 09
580	05 14	610	06 05	640	06 02
581	05 14	611	06 14	641	06 05
582	04 08	612	06 04	642	06 14
583	00 14	613	07 02	643	06 04
584	05 11	614	07 05	644	07 04
585	04 04	615	06 02	645	07 00
586	02 03	616	06 05	646	07 07
587	06 14	617	04 12	647	06 02
588	04 04	618	04 03	648	06 05
589	02 07	619	04 00	649	04 12
590	04 15	620	02 07	650	04 06
591	02 03	621	04 15	651	04 00
					КС=7061

ЛИТЕРАТУРА

1. Половко А.М. Инженерные методы исследования надежности радиоэлектронных систем. М., "Радио", 1968.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М., "Знание" 1976.
3. Устройство специализированное управляющее вычислительное ИВСМ-5, МЗ.857.044 ТО.