

## Розрахунок надійності

Розрахунок надійності за раптовими відмовам проводиться з метою оцінки середнього часу напрацювання пристрою на відмову та ймовірності безвідмовної роботи до певного моменту часу.

Даними для розрахунку являються: принципова схема, перелік елементів, карта напруг (табл. 1, табл. 2), довідникові данні: інтенсивність відмов елементів РЕА –  $\lambda_0$  та коефіцієнти інтенсивності відмов  $K_1, K_2$ .

Таблиця 1 – Карта напруг активних елементів

U=, В (U~),В	VT1	VT2	VT3	VTn
Е	+0,5 (0)	0 (0)		
Б	+1(0,25)	+0,5(0,35)		
К	+8(1,4)	+10(1,2)		
ІК (А)	0,1	0,05		

Усі потенціали повинні бути виміряні відносно корпусу (загального проводу) пристрою.

Таблиця 2 – Карта напруг пасивних елементів

№	Позначення	Тип елемента	$\Delta U=(I=)$	$\Delta U\sim(I\sim)$	Допустимі параметри	$K_n$
1	C1	K50-6	6В	~1В	$U_p=10В$	0,7
2	C2	МБМ	160В	0В	$U_p=200В$	0,8
3	C3	КМ				
n	R1 R2	МЛТ-0,25 МЛТ-0,125			$P_d=0,25Вт$ $P_d=0,125Вт$	

Коефіцієнти навантажень  $K_n$  елементів розраховуються за такими формулами:

- для резисторів:

$$K_{nR} = \frac{\Delta U^2}{R_n \cdot P_{max}}$$

де  $\Delta U$  – сумарне падіння напруги на резисторі в робочому стані;

$R_n$  – номінальний опір резистора;

$P_{max}$  – допустима потужність розсіювання резистора;

- для конденсаторів:

$$K_H = \frac{U_{роб}}{U_{max}}$$

де  $U_{роб}$  – сумарне значення постійної і змінної складової на конденсаторі;  
 $U_{max}$  – допустима робоча напруга для конденсатора даного типу;

- для діодів:

коефіцієнт навантаження за напругою :

$$K_{H_{VD}} = \frac{U_z}{U_{z max}}$$

де  $U_z$  – зворотня напруга, яка прикладена до діода;  
 $U_{z max}$  – максимальна зворотня напруга діода;

коефіцієнт навантаження за струмом :

$$K_{H_{VD}} = \frac{I_{пр}}{I_{пр max}}$$

де  $I_{пр}$  – прямий струм, який протікає через діод;  
 $I_{пр max}$  – максимальний прямий струм діоду;

- для транзисторів розраховується три варіанти  $K_H$ , із яких вибирається найбільший:

$$K_{H_{VT}} = \frac{I_k}{I_k max} \quad K_{H_{VT}} = \frac{U_{ке}}{U_{ке max}} \quad K_H = \frac{P_k}{P_k max}$$

де  $I_k$  і  $I_k max$  – робоче і номінальне значення струму колектора.

$U_{ке}$  і  $U_{ке max}$  – робоча і номінальна напруга між колектором і емітером;

$P_k$  і  $P_k max$  – робоча і номінальна потужність розсіювання на транзисторі.

Крім загальних елементів у таблиці надійності повинні бути враховані пайка, навісний монтаж.

Метою розрахунку являється одержання значення  $\lambda_i = \lambda_{oK1K2}$  для кожного елемента схеми та одержання групових значень  $\lambda_{гр}$  для резисторів, конденсаторів, активних елементів та інших елементів.

Сумарна інтенсивність відмов визначається за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{гр1} + \lambda_{гр2} + \lambda_{гр3} + \dots,$$

де  $\lambda_{гр}$  – сумарна інтенсивність відмов групи елементів (резисторів, конденсаторів, діодів).

Далі знаходять середній час напрацювання на відмову  $T_{ср} = 1 / \lambda_{\Sigma}$  та будують графік ймовірності безвідмовної роботи.

$$P(t) = \exp(-\lambda_{\Sigma} t),$$

де  $t = 0 \dots 100000$  годин (не менше 10 значень)

### Приклад 1.

Для складання карти напруг була застосована програма Electronic Work Bench 5.12. Схема для визначення карти напруг наведена на рисунку 1. Замість вітчизняної елементної бази була використана еквівалента, яка має в базі елементів програми. Був використаний пакет аналізу схеми за постійним струмом (DC). Результати приведені нижче:

```
---- End Chart: генерат.EWB
---- Page: "DC Bias"
---- Chart: генерат.EWB
Node/Branch      Voltage/Current
1      1.72660
5      12.00000
6      2.48821
7      2.48821
8      0.00000
10     3.41419
11     3.78986
12     2.73465
15     2.79782
16     3.71392
19     2.79718
20     2.11053
21     3.03098
22     11.96578
23     2.56010
24     2.55318
25     2.52070
26     2.79705
27     2.09997
28     4.05158
29     11.94656
30     4.74715
32     12.00000
33     17.09501m
34     0.00000
D1#internal 847.60427n
D2#internal 2.55318
D3#internal 2.11053
L1#branch 1.70508m
L2#branch -4.97642p
Q2#base 3.41406
Q2#collector 2.79740
Q2#emitter 2.73574
Q3#base 3.71389
Q3#collector 11.96520
Q3#emitter 3.03243
Q4#base 2.79700
Q4#collector 4.05067
Q4#emitter 2.10225
Q5#base 4.74711
Q5#collector 11.94566
Q5#emitter 4.05384
---- End Chart: генерат.EWB
---- End Page: "DC Bias"
```



Таблиця 4 – Карта режимів роботи пасивних елементів (конденсатори).

№	Позначення по схемі	Тип елемента	U, В	U <sub>max</sub> , В	Кн
1	C1	K10-176	6	16	0,38
2	C2	K10-176	6	16	0,38
3	C3	K10-176	2,488	16	0,16
4	C4	K10-176	0,1	16	0,01
5	C5	K10-176	12	25	0,48
6	C6	K10-176	1,72	16	0,11
7	C7	K10-176	3,41	16	0,213
8	C8	K10-176	2,52	16	0,16
9	C9	K10-176	3,79	16	0,24
10	C10	K10-176	0,93	16	0,06
11	C11	K10-176	3,79	16	0,24
12	C12	K10-176	2,797	16	0,17
13	C13	K10-176	3,5	25	0,14
14	C14	K10-176	9,85	16	0,62
15	C15	K10-176	12	25	0,48
16	C16	K10-176	0,07	16	0
17	C17	K10-176	2,1	16	0,13
18	C18	K10-176	5	16	0,31
19	C19	K10-176	12	25	0,48

Таблиця 5 – Карта напруг активних елементів (діоди).

№	Позначення по схемі	Тип елемента	U <sub>зв</sub> , В	U <sub>max</sub> , В	Кн
1	VD1	KB102	6	45	0,133
2	VD2*	КС139	5	26	0,192
3	VD3	КД503Б	0,8	30	0,027
4	VD4	КД503Б	0,8	30	0,027
5	VD5*	Д814Г	5	29	0,172
6	VD6*	Д814А	5	29	0,172

\* Замість U<sub>зв</sub> в таблиці приведений I<sub>ст</sub>, а замість U<sub>звmax</sub>-I<sub>ст max</sub>

Таблиця 6 – Карта напруг активних елементів (транзистори).

U, В	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5	VT6
Е	1,73	2,73	3,03	2,1	4,05	12
Б	2,49	3,41	3,71	2,79	4,74	12,7
К	12	3,78	11,96	4,05	11,95	20
U <sub>кеmax</sub> , В	50	50	50	50	50	40
Кн	0,2054	0,021	0,1786	0,039	0,158	0,2

Коефіцієнт навантаження для всіх інших елементів – для трансформаторів, роз'ємів, перемикачів, приймаються 1. Згідно довідникової літератури [68, 45] при відносній вологості повітря в межах 60...70 % і температурі в межах 20 °С поправочний коефіцієнт К2 приймається рівним 1. Використовуючи довідникові значення інтенсивності відмов і поправочний коефіцієнт К1 розраховуємо інтенсивність відмов радіоелементів і сумарне значення інтенсивності відмов пристрою, що розробляється. Отримані результати записуються до таблиці 7.

Таблиця 7– Результати розрахунків інтенсивності відмов радіоелементів.

№	Найменування, тип	Позначення по схемі	Кількість	$\lambda_0$	K1	Kн	$\lambda_i$	$\lambda_c$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мікросхеми								
1	кварц	ZQ1	1	1,00E-06	1	1	1,00E-06	1,00E-06
2	дросель	L1	1	1,00E-06	1	1	1,00E-06	1,00E-06
3	дросель	L2,L5	2	1,00E-06	1	1	1,00E-06	2,00E-06
Конденсатори								
4	K10-7Б	C1	1	2,20E-06	0,4	0,38	8,80E-07	8,80E-07
5	K10-7Б	C2	1	2,20E-06	0,4	0,38	8,80E-07	8,80E-07
6	K10-7Б	C3	1	2,20E-06	0,15	0,16	3,30E-07	3,30E-07
7	K10-7Б	C4	1	2,20E-06	0,01	0,01	2,20E-08	2,20E-08
8	K10-7Б	C5	1	2,20E-06	0,55	0,48	1,21E-06	1,21E-06
9	K10-7Б	C6	1	2,20E-06	0,1	0,11	2,20E-07	2,20E-07
10	K10-7Б	C7	1	2,20E-06	0,25	0,213	5,50E-07	5,50E-07
11	K10-7Б	C8	1	2,20E-06	0,15	0,16	3,30E-07	3,30E-07
12	K10-7Б	C9	1	2,20E-06	0,85	0,8	1,87E-06	1,87E-06
13	K10-7Б	C10	1	2,20E-06	0,05	0,06	1,10E-07	1,10E-07
14	K10-7Б	C11	1	2,20E-06	0,3	0,24	6,60E-07	6,60E-07
15	K10-7Б	C12	1	2,20E-06	0,15	0,17	3,30E-07	3,30E-07
16	K10-7Б	C13	1	2,20E-06	0,35	0,32	7,70E-07	7,70E-07
17	K10-7Б	C14	1	2,20E-06	0,7	0,62	1,54E-06	1,54E-06
18	K10-7Б	C15	1	2,20E-06	0,55	0,48	1,21E-06	1,21E-06
19	K10-7Б	C16	1	2,20E-06	0,01	0,0044	2,20E-08	2,20E-08
20	K10-7Б	C17	1	2,20E-06	0,7	0,6	1,54E-06	1,54E-06
21	K10-7Б	C18	1	2,20E-06	0,35	0,31	7,70E-07	7,70E-07
22	K10-7Б	C19	1	2,20E-06	0,55	0,48	1,21E-06	1,21E-06
Резистори								
23	C2-23-0.125	R1	1	6,00E-07	0,1	0,026292	6,00E-08	6,00E-08
24	СПЗ-16-0.125	R2	1	6,00E-07	0,1	0,021632	6,00E-08	6,00E-08
25	C2-23-0.125	R3	1	6,00E-07	0,1	0,002163	6,00E-08	6,00E-08
26	C2-23-0.125	R4	1	6,00E-07	0,1	0,000514	6,00E-08	6,00E-08
27	СП5-19-0.125	R5	1	6,00E-07	0,1	1,74E-06	6,00E-08	6,00E-08
28	C2-23-0.125	R6	1	6,00E-07	0,1	0,023667	6,00E-08	6,00E-08
29	C2-23-0.125	R7	1	6,00E-07	0,1	0,000246	6,00E-08	6,00E-08
30	C2-23-0.125	R8	1	6,00E-07	0,1	0,061981	6,00E-08	6,00E-08
31	C2-23-0.125	R9	1	6,00E-07	0,1	0,173621	6,00E-08	6,00E-08
32	C2-23-0.125	R10	1	6,00E-07	0,1	0,0034	6,00E-08	6,00E-08

Продовження таблиці 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	C2-23-0.125	R11	1	6,00E-07	0,1	0,114913	6,00E-08	6,00E-08
34	C2-23-0.125	R12	1	6,00E-07	0,1	1,53E-06	6,00E-08	6,00E-08
35	C2-23-0.125	R13	1	6,00E-07	0,1	0,000153	6,00E-08	6,00E-08
36	C2-23-0.125	R14	1	6,00E-07	0,1	0,006387	6,00E-08	6,00E-08
37	C2-23-0.125	R15	1	6,00E-07	0,1	0,076324	6,00E-08	6,00E-08
38	C2-23-0.125	R16	1	6,00E-07	0,1	3,92E-07	6,00E-08	6,00E-08
39	C2-23-0.125	R17	1	6,00E-07	0,1	0,090462	6,00E-08	6,00E-08
40	C2-23-0.125	R18	1	6,00E-07	0,1	0,016002	6,00E-08	6,00E-08
41	C2-23-0.125	R19	1	6,00E-07	0,1	0,042135	6,00E-08	6,00E-08
42	C2-23-0.125	R20	1	6,00E-07	0,5	0,45	3,00E-07	3,00E-07
	Транзистори							
43	КТ3102А	VT1	1	4,00E-06	0,23	0,2054	9,20E-07	9,20E-07
44	КТ3102А	VT2	1	4,00E-06	0,05	0,021	2,00E-07	2,00E-07
45	КТ3102А	VT3	1	4,00E-06	0,15	0,1786	6,00E-07	6,00E-07
46	КТ3102А	VT4	1	4,00E-06	0,05	0,039	2,00E-07	2,00E-07
47	КТ3102А	VT5	1	4,00E-06	0,15	0,158	6,00E-07	6,00E-07
48	КТ815Б	VT6	1	4,00E-06	0,23	0,2	9,20E-07	9,20E-07
	Діоди							
49	KB103	VD1	1	4,20E-06	0,2	0,133	8,40E-07	8,40E-07
50	КС139	VD2	1	4,20E-06	0,25	0,192	1,05E-06	1,05E-06
51	КД503	VD3-VD4	2	5,00E-06	0,1	0,027	5,00E-07	1,00E-06
52	Д814	VD5-VD6	2	4,20E-06	0,25	0,172	1,05E-06	2,10E-06
53	Роз'єм	XS1	1	1,00E-06	1	1	1,00E-06	1,00E-06
54	ВЧ трансфор	L3,L4,L6	3	1,00E-06	1	1	1,00E-06	3,00E-06
55	пайка		108	5,00E-08	1	-	5,00E-08	5,40E-06

Сумарна інтенсивність відмов визначається за формулою :

$$\lambda_{\Sigma} = \sum \lambda_{cp\ i} = 3,77 \cdot 10^{-5} \text{1/год}$$

Визначаємо середній час напрацювання на відмову за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = 1/(3,77 \cdot 10^{-5}) = 26500 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи можливо визначити за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} \cdot T}$$

де P(t) – функція ймовірності безвідмовної роботи;

$\lambda_{\Sigma}$  – сумарна інтенсивність відмов радіоелементів;

T – час, на протязі якого працює прилад.

Таблиця 8 – Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи генератора сигналів.

t, тис. год.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
P	1	0,69	0,47	0,32	0,22	0,15	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02

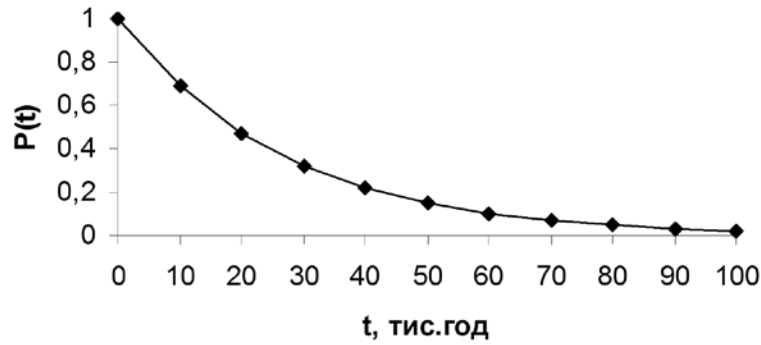


Рисунок 2 – Графік ймовірності безвідмовної роботи генератора сигналів

Розрахунок карти напруг або  $\lambda\Sigma$ ,  $T_{ср}$ ,  $P(t)$  рекомендується виконувати з застосуванням ЕОМ.

Розрахунок надійності можливо виконувати за допомогою програми ІСОКТР. Приклад попереднього та кінцевого розрахунку наводиться нижче.

Приклад 2

Попередній розрахунок надійності у програмі ІСОКТР

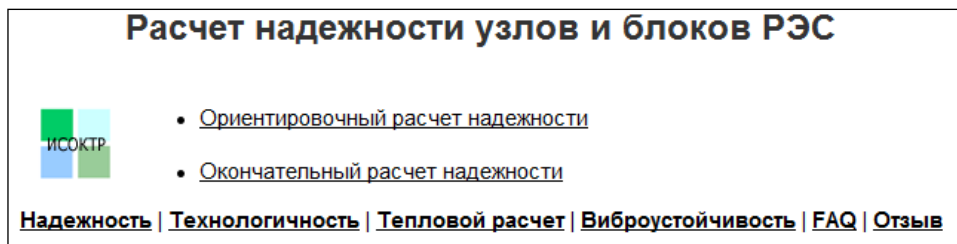


Рисунок 3 – Вікно програми ІСОКТР для розрахунку надійності (початок)

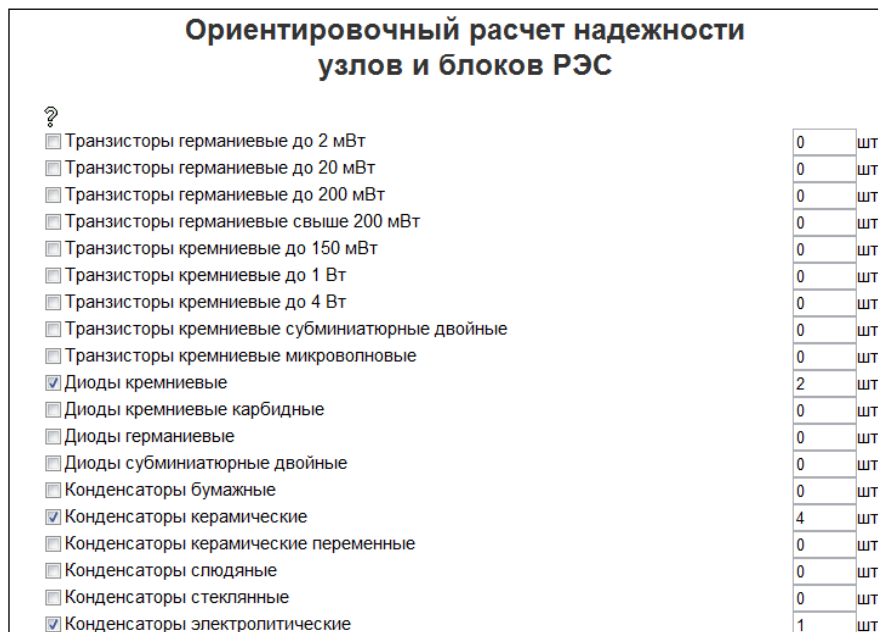


Рисунок 4 – Вікно програми ІСОКТР для розрахунку надійності (форма для заповнення інформації по радіоелементам)



<input type="checkbox"/> Батареи заряжаемые	0	шт.
<input type="checkbox"/> Антенны	0	шт.
<input type="checkbox"/> Волноводы жесткие	0	шт.
<input type="checkbox"/> Волноводы гибкие	0	шт.
<input type="checkbox"/> Микрофоны динамические	0	шт.
<input type="checkbox"/> Громкоговорители динамические	0	шт.
<input type="checkbox"/> Тумблеры	0	К*
<input type="checkbox"/> Выключатели быстродействующие	0	К*
<input type="checkbox"/> Выключатели магнитные	0	шт.
<input type="checkbox"/> Выключатели термические	0	шт.
<input checked="" type="checkbox"/> Гнезда	4	Ш*
<input type="checkbox"/> Соединители штепсельные	0	Ш*
<input type="checkbox"/> Соединители с контрольным гнездом	0	Ш*
<input type="checkbox"/> Контактторы	0	КГ*
<input type="checkbox"/> Реле малогабаритные	0	КГ*
<input type="checkbox"/> Переключатели кнопочные	0	КГ*
<input type="checkbox"/> Переключатели блокировочные	0	КГ*
<input type="checkbox"/> Переключатели миниатюрные	0	КГ*
<input type="checkbox"/> Переходные колодки	0	шт.
<input type="checkbox"/> Клеммы, зажимы	0	шт.
<input type="checkbox"/> Выводы высокочастотные	0	шт.
<input type="checkbox"/> Провода соединительные	0	шт.
<input type="checkbox"/> Кабели	0	шт.
<input type="checkbox"/> Предохранители плавкие	0	шт.
<input type="checkbox"/> Изоляторы	0	шт.
<input type="checkbox"/> Изолирующие шайбы, прокладки	0	шт.
<input checked="" type="checkbox"/> Плата печатной схемы	1	шт.
<input checked="" type="checkbox"/> Пайка печатного монтажа	70	шт.
<input type="checkbox"/> Пайка навесного монтажа	0	шт.
<input type="checkbox"/> Пайка объемного монтажа	0	шт.

Рисунок 5– Вікно програми ІСОКТР для розрахунку надійності (продовження)

**Интенсивность отказа узла/блока  $I=3.505000 \text{ час}^{-1}$**

**Среднее время безотказной работы  $T_{срб}=285306.704708 \text{ часов}$**

**Вид графика вероятности безотказной работы**

Рисунок 6 – Результати розрахунку надійності

За результатами розрахунку будуватиметься графік ймовірності безвідмовної роботи.

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \text{ де } t = 0 \dots 20000 \text{ годин}$$

Таблиця 9 – Залежність  $P(t) = e^{-\lambda t}$

t, тис. год.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
P	1,00	0,97	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,76	0,73	0,70

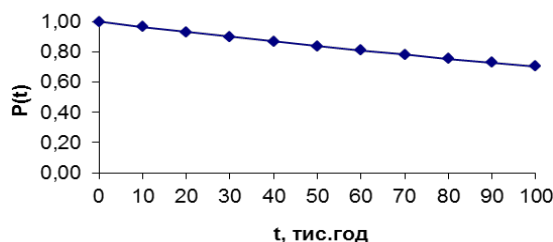



Рисунок 7 – Графік ймовірності безвідмовної роботи пристрою

### Приклад 3

Кінцевий розрахунок надійності у програмі ІСОКТР

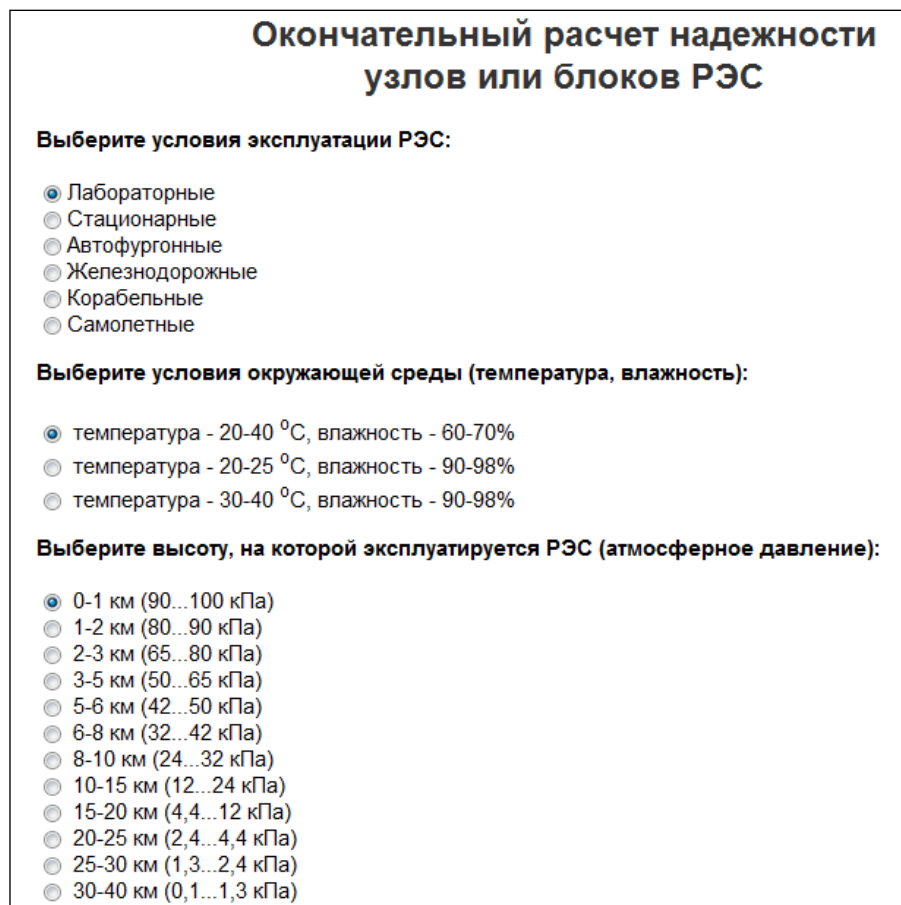


**Окончательный расчет надежности узлов или блоков РЭС**

? Введите количество различных по параметрам типов ЭРЭ и элементов конструкции

[Выдать форму для ввода данных](#)

Рисунок 8 – Вікно програми ІСОКТР для розрахунку надійності (початок)



**Окончательный расчет надежности узлов или блоков РЭС**

**Выберите условия эксплуатации РЭС:**

- Лабораторные
- Стационарные
- Автофургонные
- Железнодорожные
- Корабельные
- Самолетные

**Выберите условия окружающей среды (температура, влажность):**

- температура - 20-40 °С, влажность - 60-70%
- температура - 20-25 °С, влажность - 90-98%
- температура - 30-40 °С, влажность - 90-98%

**Выберите высоту, на которой эксплуатируется РЭС (атмосферное давление):**

- 0-1 км (90...100 кПа)
- 1-2 км (80...90 кПа)
- 2-3 км (65...80 кПа)
- 3-5 км (50...65 кПа)
- 5-6 км (42...50 кПа)
- 6-8 км (32...42 кПа)
- 8-10 км (24...32 кПа)
- 10-15 км (12...24 кПа)
- 15-20 км (4,4...12 кПа)
- 20-25 км (2,4...4,4 кПа)
- 25-30 км (1,3...2,4 кПа)
- 30-40 км (0,1...1,3 кПа)

Рисунок 9 – Вікно програми ІСОКТР для розрахунку надійності (форма для заповнення інформації по радіоелементам)

№	Наименование	Количество	Интенс. отказов $I_0$	Коэффициент $a(T, K_u)$
1	Трансформатор імпульсний	1	0,17 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,1
2	К10-7В-М47-330 пФ	3	0,15 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,36
3	К50-35-25в-4,7мкФ	1	0,035 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,48
4	К10-7В-М47-0,1мкФ	2	0,15 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,36
5	К50-35-25в-470мкФ	2	0,035 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,48
6	Мікросхема UC3843	1	0,01 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	1
7	Мікросхема Attiny13	1	0,01 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	1
8	C2-29b-0,125-150 Ом	1	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,2
9	C2-29b-0,125-1 кОм	2	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,2
10	C2-29b-0,125-10 Ом	1	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,35
11	C2-29b-0,125-200 Ом	3	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,2
12	C2-29b-0,125-1 Ом	10	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,35
13	C2-29b-0,125-820 Ом	1	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,2
14	C2-29b-0,125-4,7 кОм	1	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,2
15	C2-29b-0,125-20 кОм	1	0,016 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,2
16	Стабілітрон Р6КЕ24А	1	0,2 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,5
17	Діод FR104	1	0,2 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,78
18	Світлодіод АЛ307БМ	2	0,15 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,3
19	Стабілітрон 15MQ40	1	0,2 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,78
20	Транзистор IRFZ24N	2	0,74 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	0,4
21	MF-02MA	1	0,082 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	1
22	MF-03MA	1	0,082 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	1
23	лампа Н4 12V 60/55W	2	1,7 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	1
24	Плата	1	0,7 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	1
25	Пайка	96	0,01 $\cdot 10^{-6}$ 1/час	1

Рисунок 10 – Вікно програми ІСОКТР для розрахунку надійності (продовження)

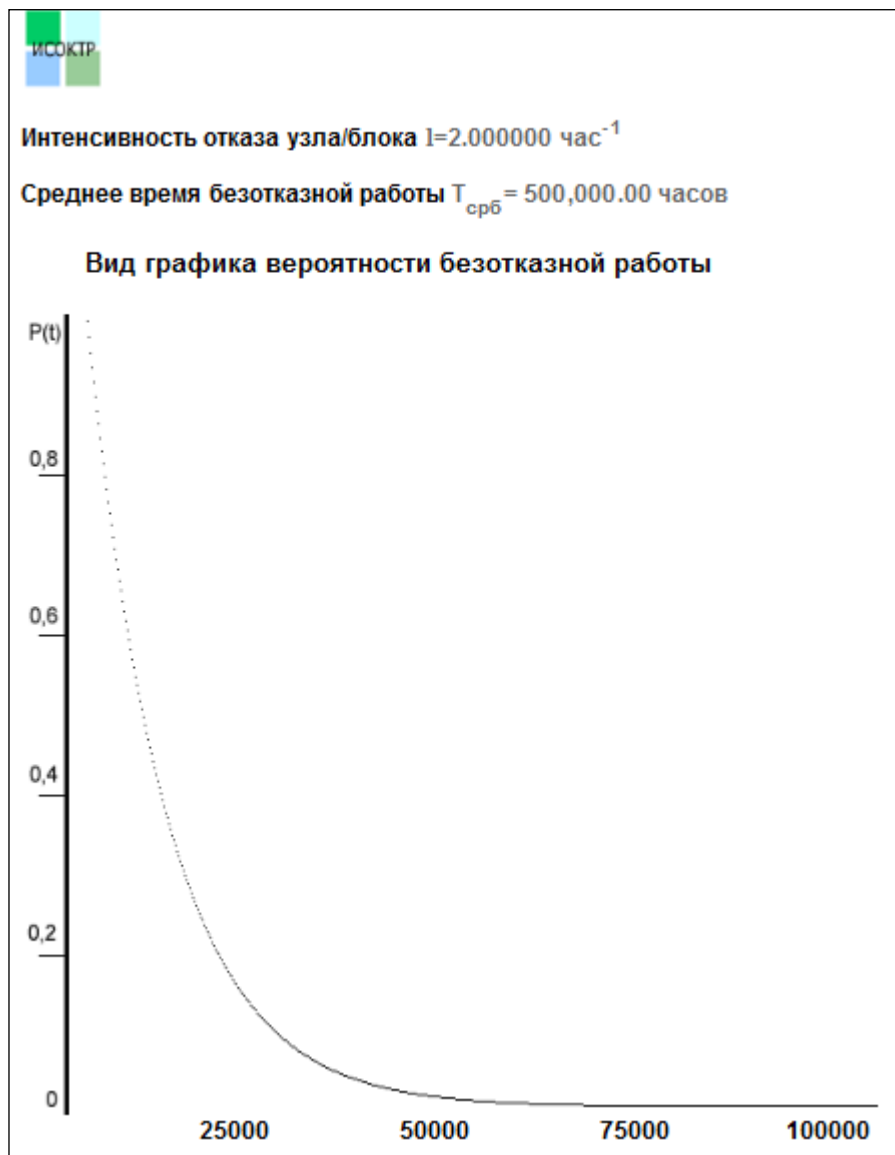


Рисунок 11 – Результаты розрахунку надійності зарядного пристрою

## Рекомендована література

1. Парфенов Е. М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов/ Б. М. Парфенов, Э. Н. Камышная, В. П. Усачов. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.– ISBN 5-256-00288-0.
2. Половко А. М. Основы теории надежности. Практикум/ А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. –560 с.– ISBN 5-94157-542-4
3. Расчет надежности узлов и блоков РЭС [Электроний ресурс] / Интерактивная система основных конструкторско-технологических расчетов РЭС (ИСОКТР РЭС) – Режим доступа: <http://skr.radioman.ru/depend/index.htm>, вільний. – Назва з екрана.
4. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры/ Г. Д. Фрумкин. – М.: Высшая школа, 1988. –287с.
5. Надёжность электрорадиоизделий. Справочник. – М. : МО РФ, 2006. – 641 с.
6. ALD Reliability Engineering Ltd [Электроний ресурс] / Free MTBF Calculator. – Режим доступа: <http://aldservice.com/Reliability-Software/free-mtbf-calculator.html>, вільний. – Назва з екрана.