

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации авиационных
электросистем и пилотажно-навигационных комплексов

А.Г. Демченко, С.А. Жнивин

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Учебно-методическое пособие
по проведению практических занятий

*для студентов II–III курсов
направления 25.03.02 и специальности 25.05.05
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2025

УДК 519.873
ББК 518
Д31

Рецензент:
Габец В.Н. – канд. техн. наук, доцент

Д31 **Демченко А.Г.**
Основы теории надежности [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практических занятий / А.Г. Демченко, С.А. Жнивин. – М.: ИД Академии Жуковского, 2025. – 16 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы теории надежности» по учебному плану для студентов II–III курсов направления 25.03.02 и специальности 25.05.05 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 28.10.2025 г. и методического совета 28.10.2025 г.

**УДК 519.873
ББК 518**

В авторской редакции

Подписано в печать 20.11.2025 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 1 Усл. печ. л. 0,93
Заказ № 2034/0929-УМП14 Тираж 25 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (499) 755-55-43
E-mail: zakaz@itsbook.ru

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Данное учебно-методическое пособие предназначено для более тщательного усвоения курса лекций учебной дисциплины «Основы теории надёжности». Учебно-методическое пособие содержит краткий теоретический материал и задачи по темам «Показатели надёжности невосстанавливаемых изделий» и «Структурные модели надёжности изделий».

2. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

2.1. При исследовании вопросов надёжности изделия могут рассматриваться как восстанавливаемые и невосстанавливаемые. За невосстанавливаемые принимаются изделия, которые в условиях эксплуатации не подлежат восстановлению после отказа.

Для невосстанавливаемых изделий определяются следующие показатели надёжности.

*Примечание. Все соотношения для показателей надёжности приводятся без их обоснования в вероятностной и статистической формах. Статистические параметры обозначены индексом *.*

Плотность распределения вероятности времени отказа (плотность вероятности отказа):

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{dn(t)}{N_0 dt} = -\frac{dp(t)}{dt}, \quad (1)$$

$$f^*(\Delta t_i) = \frac{\Delta n(\Delta t_i)}{N_0 \Delta t_i}, \quad (2)$$

где: $q(t)$ – вероятность отказа изделия за время t ; $n(t)$ – число отказавших изделий за время t ; N_0 – число испытываемых изделий в момент $t=0$; $\Delta n(\Delta t_i)$ – число отказавших изделий за интервал наработки изделия Δt_i .

Вероятность безотказной работы:

$$p(t) = \int_t^\infty f(\tau) d\tau, \quad (3)$$

$$p^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (4)$$

Вероятность отказа:

$$q(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau, \quad (5)$$

$$q^*(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (6)$$

Интенсивность отказов:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{dn(t)}{dt_{h\Sigma}(t)}, \quad (7)$$

$$\lambda^*(\Delta t_i) = \frac{\Delta n(\Delta t_i)}{N(\Delta t_i) \cdot \sum_j \Delta t_j} = \frac{\Delta n(\Delta t_i)}{\Delta t_{h\Sigma}(\Delta t_i)}, \quad (8)$$

где: $N(\Delta t_i)$ – число изделий, работавших на интервале Δt_i ; $\Delta t_{h\Sigma}(\Delta t_i)$ – суммарная наработка всех изделий на интервале времени Δt_i .

$$\Delta t_{h\Sigma}(\Delta t_i) = (N_i + 0,5\Delta n_i) \cdot \Delta t_i, \quad (9)$$

Δt_j – наработка j-го изделия на i-ом интервале времени; N_i – число исправных изделий в конце интервала Δt_i :

$$N_i = N_0 - \sum_{l=1}^i \Delta n_l, \quad (10)$$

Δn_l – число отказов на интервале Δt_i .

Средняя наработка на отказ:

$$T_c(t) = \frac{1}{\lambda(t)} = \frac{dt_{h\Sigma}(t)}{dn(t)}, \quad (11)$$

$$T_c^*(t, \Delta t) = \frac{1}{\lambda^*(t, \Delta t)} = \frac{\Delta t_{h\Sigma}(t, \Delta t)}{\Delta n(t, \Delta t)}, \quad (12)$$

Среднее время безотказной работы:

$$T_0 = \int_0^\infty t \cdot f(t) dt = \int_0^\infty p(t) dt, \quad (13)$$

$$T_0^* = \sum_{j=1}^{N_0} \frac{t_j}{N_0}, \quad (14)$$

где t_j – наработка j-го изделия до его отказа.

Основное интегральное уравнение надёжности:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}, \quad (15)$$

2.2. Структурная схема или модель надёжности представляет собой логическую схему, составленную из символов элементов изделия исходя только из учёта влияния состояния элементов на работоспособность изделия.

При построении структурных моделей надёжности рассматривают параллельное и последовательное соединения элементов.

Если отказ рассматриваемого элемента приводит к отказу всего изделия, то на структурной модели надёжности изделия данный элемент включается последовательно.

То есть, если структурная модель надёжности изделия представляет собой последовательное соединение n элементов, то изделие становится неработоспособным при отказе любого одного элемента.

Вероятность безотказной работы и вероятность отказа для последовательного соединения n элементов на структурной модели надёжности изделия определяются соответственно:

$$P_{\Sigma}(t) = p_1(t)p_2(t)p_3(t)\cdots p_{n-1}(t)p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t), \quad (16)$$

$$Q_{\Sigma}(t) = 1 - P_{\Sigma}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n p_i(t), \quad (17)$$

Если отказ рассматриваемого элемента не приводит к отказу всего изделия, то на структурной модели надёжности изделия данный элемент включается параллельно.

То есть, если структурная модель надёжности изделия представляет собой параллельное соединение m элементов, то изделие становится неработоспособным при отказе всех m элементов.

Вероятность отказа и вероятность безотказной работы для параллельного соединения m элементов на структурной модели надёжности изделия определяются соответственно:

$$Q_{\Sigma}(t) = q_1(t)q_2(t)q_3(t)\cdots q_{m-1}(t)q_m(t) = \prod_{j=1}^m q_j(t), \quad (18)$$

$$P_{\Sigma}(t) = 1 - Q_{\Sigma}(t) = 1 - \prod_{j=1}^m q_j(t), \quad (19)$$

3. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «ПОКАЗАТЕЛИ НАДЁЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ»

3.1. На испытание было поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За первые 3000 часов отказалось 80 электронных ламп, а за интервал времени от 3000 до 4000 часов отказалось еще 50 электронных ламп. Определить плотность

вероятности отказа и интенсивность отказов электронных ламп в промежутке времени от 3000 до 4000 часов.

3.2. На испытание было поставлено 400 изделий. За время наработки 3000 часов отказалось 200 изделий, за интервал времени от 3000 до 3100 часов отказалось 100 изделий. Определить вероятность безотказной работы за 3000 часов, за 3100 часов, 3050 часов, а также плотность вероятности отказа за 3050 часов, интенсивность отказов за 3050 часов наработки изделий.

3.3. В течение 300 часов налёта каждому из 360 самолётов зарегистрировано 27 отказов курсовых систем, причём 9 из них произошли в течение первых 100 часов налёта каждым самолётом. Определить вероятность безотказной работы за 300 часов налёта систем, которые безотказно отработали 100 часов.

3.4. Парк авиакомпании насчитывает 70 самолётов отечественного производства. Спустя 750 часов налёта из-за отказов блоков концентраторов данных центральной вычислительной системы в исправном и работоспособном состоянии осталось 37, при этом, в первые 380 часов исправных работоспособных судов было 52. Определить вероятность отказа за 750 часов налёта и интенсивность отказов систем, которые работали 380 часов.

3.5. При исследовании работы блока регулирования защиты и управления (БРЗУ) работой канала генерирования первичной системы электроснабжения, средняя наработка на отказ составила 215 часов. Определить вероятность отказа блока БРЗУ за 550 часов наработки.

3.6. Определить показатели надёжности невосстанавливаемых изделий (вероятность отказа, плотность вероятности отказа, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ, среднее время безотказной работы изделия), зная, что выражение для вероятности безотказной работы изделия имеет вид:

$$p(t) = 0,18 \cdot e^{-0,001 \cdot t} + 0,27 \cdot e^{-0,0003 \cdot t} + 0,55 \cdot e^{-0,0075 \cdot t}.$$

3.7. Определить показатели надёжности невосстанавливаемых изделий (вероятность безотказной работы, вероятность отказа, плотность вероятности отказа, средняя наработка на отказ), зная, что выражение для интенсивности отказов изделия имеет вид: $\lambda(t) = 0,003 + 0,01 \cdot t + 0,0008 \cdot t^2$.

3.8. Определить показатели надёжности невосстанавливаемых изделий (вероятность безотказной работы, плотность вероятности отказа, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ, среднее время безотказной работы изделия), зная, что выражение для вероятности отказа изделия имеет вид:

$$q(t) = 1 - 0,43 \cdot e^{-0,0025 \cdot t} - 0,38 \cdot e^{-0,0007 \cdot t} - 0,19 \cdot e^{-0,0005 \cdot t}.$$

3.9. Определить показатели надёжности невосстанавливаемых изделий (вероятность безотказной работы, вероятность отказа, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ, среднее время безотказной работы изделия), зная, что выражение для плотности вероятности отказа изделия имеет вид:

$$f(t) = 0,000525 \cdot e^{-0,00075 \cdot t} + 0,0002 \cdot e^{-0,001 \cdot t} + 0,00002 \cdot e^{-0,0002 \cdot t}.$$

3.10. Определить показатели надёжности невосстанавливаемых изделий (вероятность безотказной работы, вероятность отказа, плотность вероятности отказа, интенсивность отказов), зная, что выражение для средней наработки на отказ изделия имеет вид:

$$T_c(t) = \frac{t}{0,0025 \cdot t^5 + 0,0018 \cdot t^4 + 0,0076 \cdot t^3 + 0,002 \cdot t^2 + 0,0034 \cdot t + 0,0003}.$$

3.11. На испытании находилось 1000 образцов неремонтируемой аппаратуры. Число отказов фиксировалось каждые 100 часов работы. Данные об отказах приведены в таблице 1. Определить количественные показатели надёжности невосстанавливаемых изделий и построить зависимости характеристик от времени.

Таблица 1. Данные об отказах изделий

Δt , час	$n(\Delta t_i)$	Δt , час	$n(\Delta t_i)$	Δt , час	$n(\Delta t_i)$
0 – 100	50	1000 – 1100	15	2000 – 2100	12
100 – 200	40	1100 – 1200	14	2100 – 2200	13
200 – 300	32	1200 – 1300	14	2200 – 2300	12
300 – 400	25	1300 – 1400	13	2300 – 2400	13
400 – 500	20	1400 – 1500	14	2400 – 2500	14
500 – 600	17	1500 – 1600	13	2500 – 2600	16
600 – 700	16	1600 – 1700	13	2600 – 2700	20
700 – 800	16	1700 – 1800	13	2700 – 2800	25
800 – 900	15	1800 – 1900	14	2800 – 2900	30
900 – 1000	14	1900 – 2000	12	2900 – 3000	40

3.12. Минимальная наработка на отказ составляет 3000 часов, средняя наработка 1200 часов. Определить количество отказавших изделий при наработке 9000 часов и основные показатели надёжности.

3.13. На рис. 1 представлен график зависимости вероятности отказа от времени для вычислительного блока управления полётом (БВУП) воздушного судна (ВС). Определить значения плотности вероятности отказа, интенсивности отказов, средней наработки на отказ блока БВУП для моментов времени $t_1 = 2000$ ч и $t_2 = 4000$ ч.

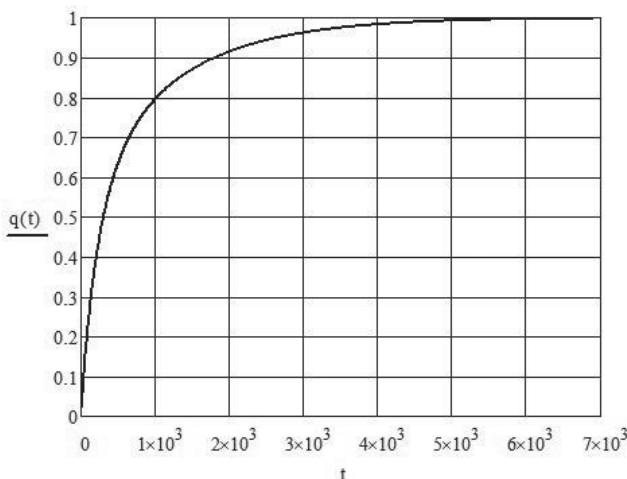


Рис.1. График зависимости вероятности отказа для блока БВУП

3.14. На рис. 2 представлен график зависимости вероятности безотказной работы от времени для противообледенительной системы (ПОС) ВС. Определить значения плотности вероятности отказа, интенсивности отказов, средней наработки на отказ противообледенительной системы для моментов времени $t_1 = 1000$ ч и $t_2 = 3000$ ч.

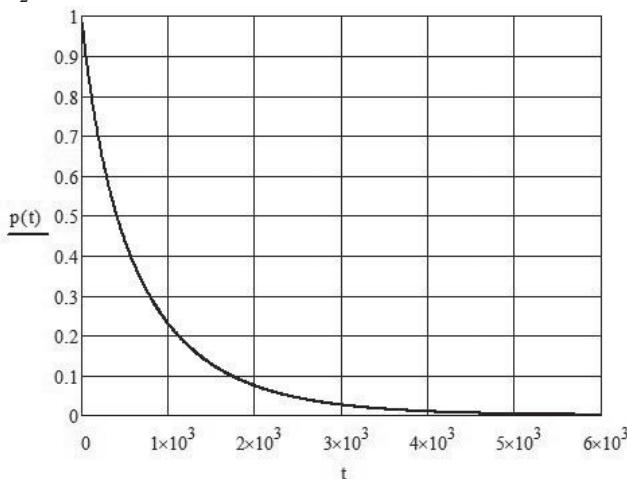


Рис. 2. График зависимости вероятности безотказной работы для системы ПОС

3.15. На рис. 3 представлен график зависимости плотности вероятности отказа от времени для системы траекторного управления (СТУ) ВС. Опреде-

лить значения вероятности безотказной работы, интенсивности отказов, средней наработки на отказ системы СТУ для моментов времени $t_1 = 2000$ ч и $t_2 = 5000$ ч.

Примечание. При решении данной задачи необходимо учитывать, что графику зависимости плотности вероятности отказа (рис. 3) соответствует ломаная линия, образованная соединением прямолинейных отрезков.

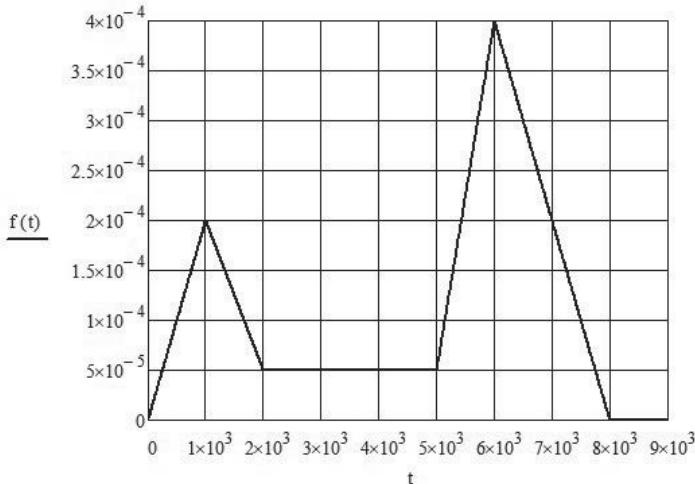


Рис. 3. График зависимости плотности вероятности отказа для системы СТУ

3.16. На рис. 4 представлен график зависимости плотности вероятности отказа от времени для блока регулирования защиты и управления (БРЗУ) рабочей канала генерирования первичной системы электроснабжения ВС. Определить значения вероятности безотказной работы, интенсивности отказов, средней наработки на отказ блока БРЗУ для моментов времени $t_1 = 2500$ ч и $t_2 = 7500$ ч.

Примечание. При решении данной задачи необходимо учитывать, что графику зависимости плотности вероятности отказа (рис. 4) соответствует уравнение:

$$f(t) = \begin{cases} 2 \cdot 10^{-13} \cdot t^3, & \text{при } 0 \leq t \leq 1000 \text{ ч} \\ 3,75 \cdot 10^{-11} \cdot (t - 3000)^2 + 5 \cdot 10^{-5}, & \text{при } 1000 \leq t < 3000 \text{ ч} \\ 5 \cdot 10^{-5}, & \text{при } 3000 \leq t < 6000 \text{ ч} \\ 4 \cdot 10^{-13} \cdot (t - 6000)^3 + 5 \cdot 10^{-5}, & \text{при } 6000 \leq t < 7000 \text{ ч} \\ 5 \cdot 10^{-11} \cdot (t - 10000)^2, & \text{при } 7000 \leq t < 10000 \text{ ч} \\ 0, & \text{при } t > 10000 \text{ ч} \end{cases}$$

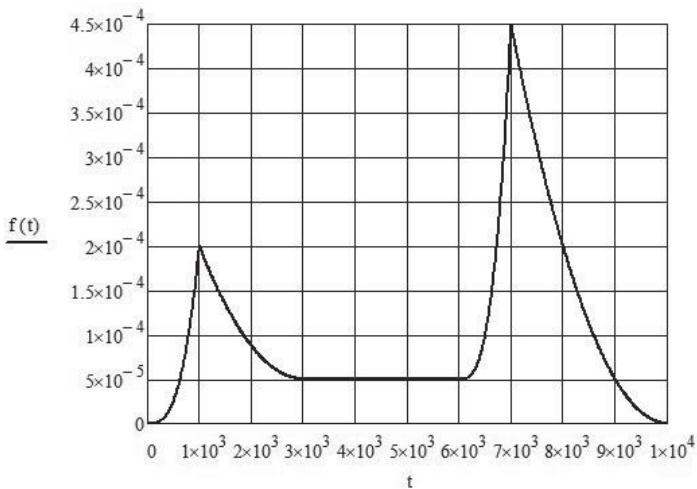


Рис. 4. График зависимости плотности вероятности отказа для блока БРЗУ

4. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ НАДЁЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ»

4.1. На рис. 5 представлены структурные модели надёжности бортовых систем пилотажно-навигационного комплекса (ПНК). Вероятности безотказной работы и вероятности отказа элементов структурных моделей надёжности (рис. 5а-5е) соответственно равны: $p_1 = p_2 = p_3 = 0,9$, $q_4 = q_5 = q_6 = 0,35$, $p_7 = p_8 = p_9 = 0,82$. Определить вероятность безотказной работы бортовых систем ПНК (рис. 5а-5е).

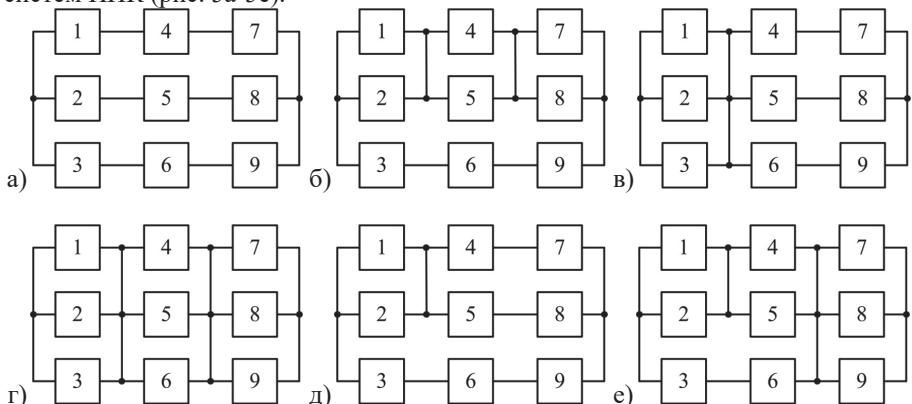


Рис. 5. Структурные модели надёжности бортовых систем ПНК

4.2. На рис. 6 представлены структурные модели надёжности бортовых авиационных электросистем (АЭС). Вероятности безотказной работы и вероятности отказа элементов структурных моделей надёжности (рис. 6а-6е) соответственно равны: $q_1 = q_2 = q_3 = 0,16$, $p_4 = p_5 = p_6 = 0,75$, $q_7 = q_8 = q_9 = 0,27$. Определить вероятность безотказной работы бортовых систем АЭС (рис. 6а-6е).

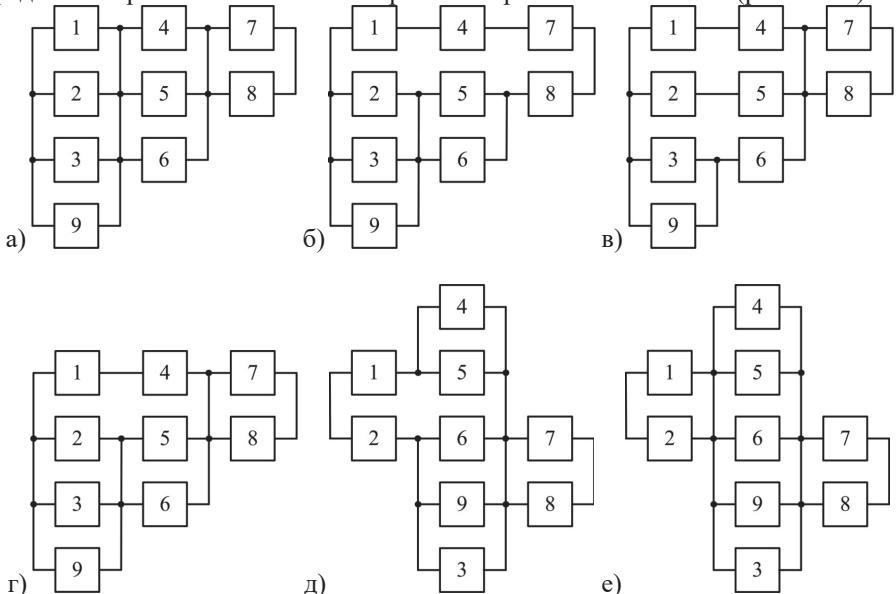


Рис. 6. Структурные модели надёжности бортовых систем АЭС

4.3. На рис. 7 представлена структурная модель надёжности вычислительной системы управления полётом ВСУП-85-4 самолёта Ил-96-300. На рис. 7 обозначены: ТКЕ22П1ГБ – реле; БВУП-1-2 – блок вычислительный управления полётом; ПУ-56М – пульт управления; 2КР – кнопка; ДОЗ-1-1 – датчик отклонения закрылков. Интенсивности отказов данных агрегатов соответственно равны: $\lambda_{ТКЕ} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$, $\lambda_{БВУП} = 6,67 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}$, $\lambda_{ПУ} = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}$, $\lambda_{2КР} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}$, $\lambda_{ДОЗ} = 1,82 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$. Определить вероятность безотказной работы системы ВСУП-85-4 за 500 часов налёта.

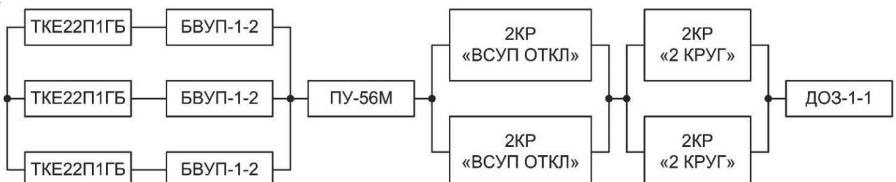


Рис. 7. Структурная модель надёжности системы ВСУП-85-4

4.4. На рис. 8 представлена структурная модель надёжности автомата продольной устойчивости самолёта Ил-96-300. На рис. 8 обозначены: БТ-4 – блок трансформаторов; РГМ-18 – рама групповая монтажная; БУК-6 – блок управления и контроля; ДУСУ-М-12АС – датчик угловых скоростей; ДЛУК-3 – датчик линейных ускорений; РА-98 – рулевой агрегат. Средние наработки на отказ данных агрегатов соответственно равны: $T_{cБТ} = 137741$ ч, $T_{cРГМ} = 1557632$ ч, $T_{cБУК} = 45662$ ч, $T_{cДУСУ} = 10000$ ч, $T_{cДЛУК} = 10000$ ч, $T_{cРА} = 6135$ ч. Определить вероятность безотказной работы автомата продольной устойчивости за 1500 часов налёта.

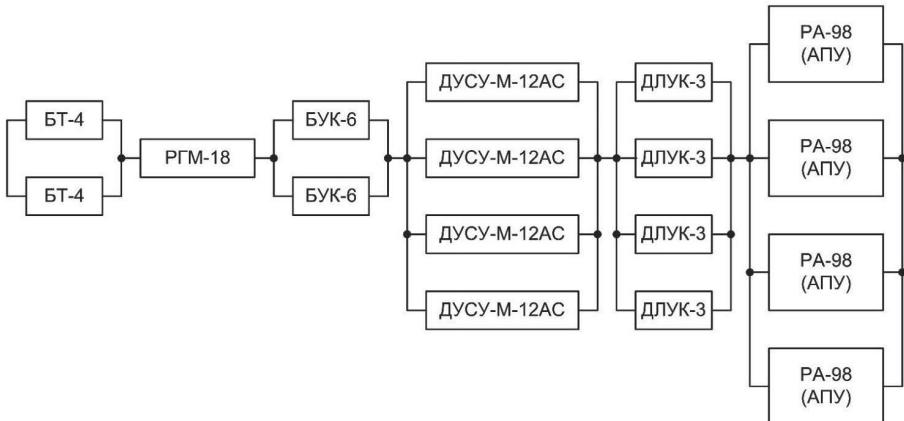


Рис. 8. Структурная модель надёжности автомата продольной устойчивости

4.5. Построить структурную модель надёжности и определить среднее время безотказной работы канала системы воздушных сигналов (СВС), состоящего из приёмника полного давления, преобразователя воздушных сигналов ADM, вычислителя ADC и дисплея PFD. Интенсивности отказов данных агрегатов соответственно равны: $\lambda_1 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$, $\lambda_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$, $\lambda_3 = 7 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$, $\lambda_4 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$.

Примечание. При решении данной задачи критерием отказа канала системы СВС считать отказ любого элемента канала системы СВС.

4.6. На рис. 9 представлена структурная модель надёжности системы электроснабжения (СЭС) переменного тока самолёта Ил-96-300. На рис. 9 обозначены: ГП25 – привод-генератор; БРЗУ115ВО-2с – блок регулирования, защиты и управления; БДТ-60К – блок датчиков тока; ЦРУ371, ЦРУ372, ЦРУ381, ЦРУ382 – центральные распределительные устройства переменного тока; РУ211, РУ391, РУ221, РУ392 – распределительные устройства переменного тока. Интенсивности отказов данных агрегатов соответственно равны:

$$\lambda_{ГП} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}, \quad \lambda_{БРЗУ} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}, \quad \lambda_{БДТ} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч},$$

$$\lambda_{ЦРУ} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}, \quad \lambda_{РУ} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}.$$

Определить вероятность безотказной работы за 3000 часов налёта: а) для подсистемы левого/правого борта основной системы переменного тока; б) для СЭС переменного тока.

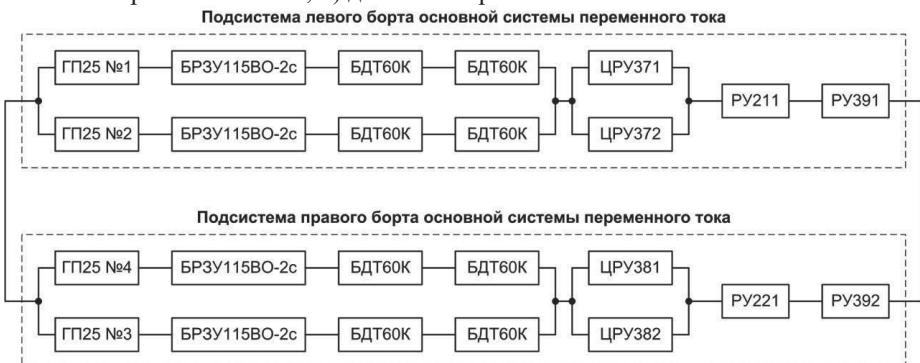


Рис. 9. Структурная модель надёжности СЭС переменного тока

4.7. На рис. 10 представлена структурная модель надёжности системы сигнализации о перегреве и пожаре в отсеке вспомогательной силовой установки (ВСУ) самолёта Ил-96-300. На рис. 10 обозначены: РМ – рама монтажная; БУОС – блок усиления и обработки сигналов; СПП-1 – сигнализатор перегрева; СПП-2 – сигнализатор пожара. Средние наработки на отказ данных агрегатов соответственно равны: $T_cPM = 33333 \text{ ч}$, $T_cBUOS = 5000 \text{ ч}$, $T_cSPP-1 = 250000 \text{ ч}$, $T_cSPP-2 = 250000 \text{ ч}$. Определить вероятность безотказной работы системы сигнализации о перегреве и пожаре в отсеке ВСУ за 1500 часов налёта.

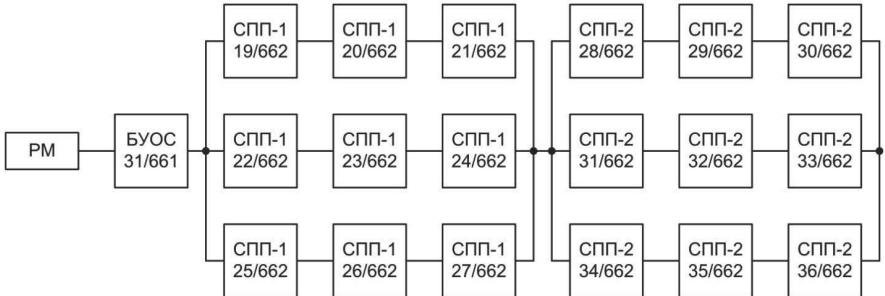


Рис. 10. Структурная модель надёжности системы сигнализации о перегреве и пожаре в отсеке ВСУ

4.8. На рис. 11 представлена структурная схема системы приборного оборудования самолёта Airbus A320 (A320). На рис. 11 обозначены: дисплеи

(PFD – primary flight display и ND – navigation display) командира воздушного судна и второго пилота; 3 вычислителя DMC – display management computer. В исправном состоянии вычислитель DMC1 отвечает за работу дисплеев командаира воздушного судна, вычислитель DMC2 отвечает за работу дисплеев второго пилота, а вычислитель DMC3 является резервным и принудительно может быть выбран, в случае отказов вычислителя DMC1 или DMC2. Построить структурную модель надёжности канала командаира воздушного судна, в случае отказа вычислителя DMC1 и определить вероятность отказа всей системы, имеющей налёт 1000 часов, зная, что интенсивности отказов элементов соответственно равны: $\lambda_{DMC1} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ } 1/\text{ч}$, $\lambda_{DMC2} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ } 1/\text{ч}$, $\lambda_{DMC3} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/\text{ч}$, $\lambda_{PFD} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{ч}$, $\lambda_{ND} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/\text{ч}$.

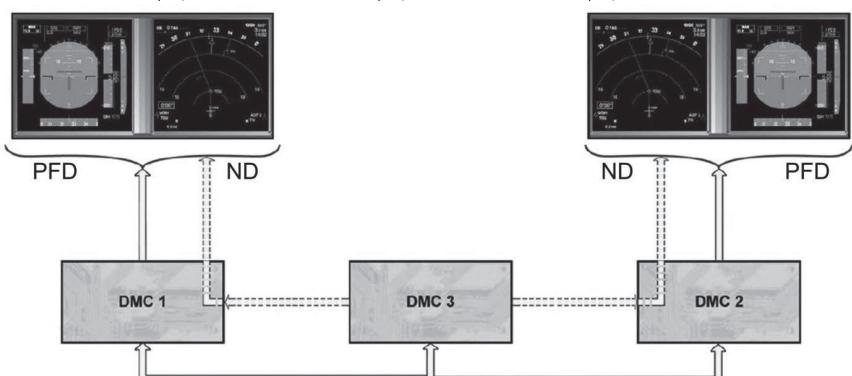


Рис. 11. Структурная схема системы приборного оборудования самолёта A320

4.9. На рис. 12 представлена принципиальная схема подключения наземного источника электропитания на бортсеть самолёта A320. На рис. 12 обозначены: EXTERNAL POWER RECEPTACLE – разъём наземного источника электропитания; блок GAPCU – ground auxiliary power control unit; кнопочный переключатель EXT PWR; контактор подключения наземного источника к шинам электропитания самолёта EPC – external power contactor; контакторы объединения шин переменного тока левого и правого бортов BTC – bus tie contactor (BTC1 и BTC2); шины переменного тока AC BUS1 и AC BUS2. В исправном состоянии, при подключении наземного источника электропитания к BC, блок GAPCU выполняет проверку качества электроэнергии наземного источника и если качество электроэнергии соответствует необходимым требованиям, блок GAPCU выдаёт сигнал на кнопочный переключатель EXT PWR, при последующем нажатии на который происходит выдача управляющего сигнала на блок GAPCU, который в ответ запитает обмотку контактора EPC, в результате чего контактор EPC сработает и подключит наземный источник питания к шинам AC BUS1 и AC BUS2 через замкнутые контакты контакторов BTC1 и

ВТС2. Построить структурную модель надёжности рассматриваемой системы, в случае отказа контактора ЕРС и определить вероятность безотказной работы системы, налетавшей 600 часов, зная, что средние наработки на отказ элементов соответственно равны: $T_cGAPCU = 1500 \text{ ч}$, $T_cEXT PWR = 750 \text{ ч}$, $T_cEPC = 980 \text{ ч}$, $T_cBTC = 3500 \text{ ч}$.

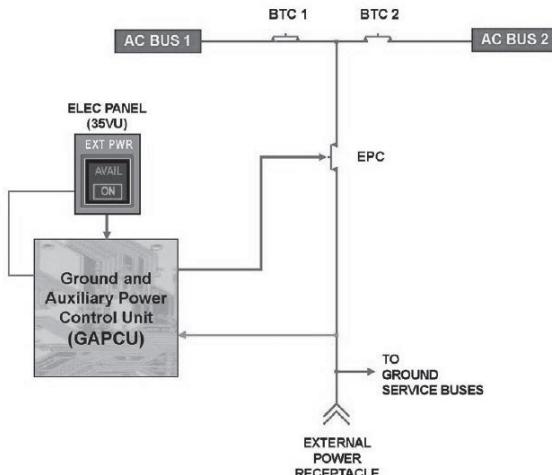


Рис. 12. Принципиальная схема подключения наземного источника электропитания на бортсеть самолёта А320

4.10. На рис. 13 представлена структурная схема топливной системы самолета Airbus A321 (A321). На рис. 13 обозначены: ENG1, ENG2, APU – соответственно левая и правая силовые установки и ВСУ; клапаны низкого давления (low pressure valve) ENGINE 1 LP VALVE, ENGINE 2 LP VALVE, APU LP VALVE – соответственно левой и правой силовых установок и ВСУ; LEFT WING TANK, CENTER TANK, RIGHT WING TANK – топливные баки, соответственно левый крыльевой, центральный, правый крыльевой; топливные насосы FUEL PUMPS; CROSSFEED VALVE – кран кольцевания; JET PUMPS – струйные насосы подачи топлива из центрального бака в крыльевые; TRANSFER VALVES – передающие клапаны. В исправном состоянии, насосы крыльевых баков обеспечивают подачу топлива через соответствующие клапаны низкого давления к силовым установкам. Когда уровень топлива в крыльевом баке уменьшается на 200 литров, струйный насос из центрального бака начнёт перекачку топлива в крыльевой бак, таким образом, осуществляя непрерывную работу. В случае отказа двух крыльевых насосов левого/правого крыльевого бака, подача топлива к левой/правой силовой установке продолжится через кран кольцевания из правого/левого крыльевого бака. Построить структурную модель надёжности рассматриваемой системы и определить вероятность безотказной работы системы подачи топлива к левой силовой установке, имеющей

налёт 1400 часов, учитывая элементы левого контура и кран кольцевания. Интенсивности отказов элементов соответственно равны: $\lambda_{fuel\ pump\ 1} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ 1/q}$; $\lambda_{fuel\ pump\ 2} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/q}$; $\lambda_{LP\ valve} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ 1/q}$; $\lambda_{crossfeed\ valve} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/q}$.

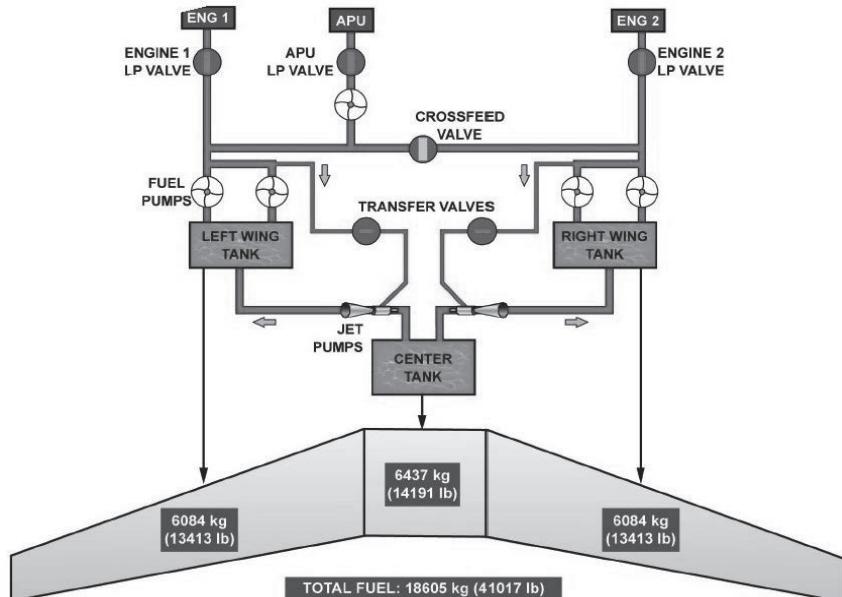


Рис. 13. Структурная схема топливной системы самолёта A321

Литература

1. В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. Надёжность и техническая эксплуатация авиационного оборудования. – М.: МГТУ ГА, 2010. – 448 с.
2. Руководство по технической эксплуатации воздушных судов Аирбас A320. Aircraft Maintenance Manual for Airbus A320

Содержание

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	3
2. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ.....	3
3. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «ПОКАЗАТЕЛИ НАДЁЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ».....	5
4. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «СТРУКТУРНЫЕ МОДЕЛИ НАДЁЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ».....	10
Литература.....	16