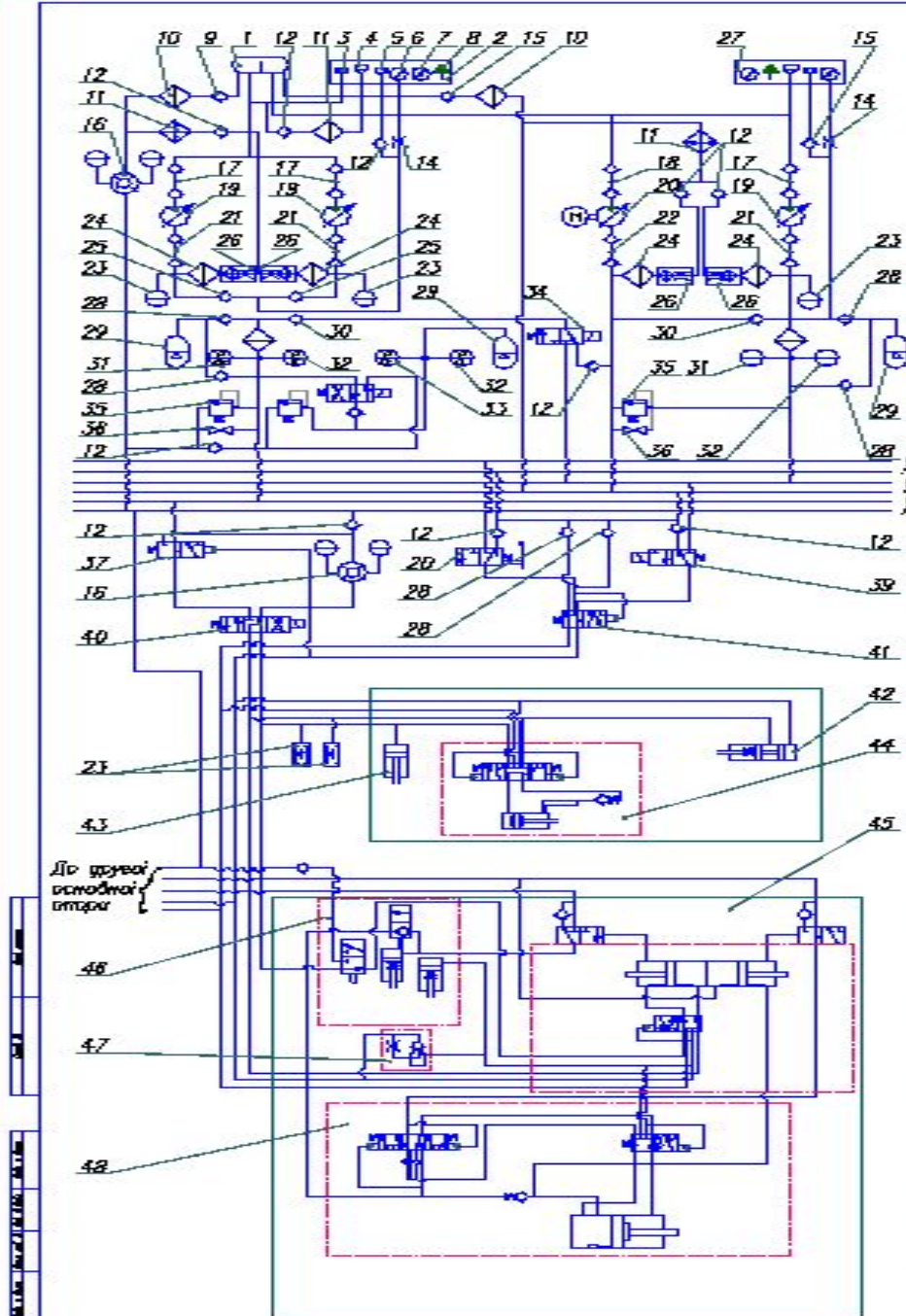


# Надежность сложных систем

Для расчета надежности сложных систем используют модель, которую составляют на основе функциональной схемы системы. В качестве моделей при расчета надежности сложных систем АТ применяют структурные схемы.



В/С ИИ  
 В/С ИИ  
 В/С И

По указу  
 основной  
 указу

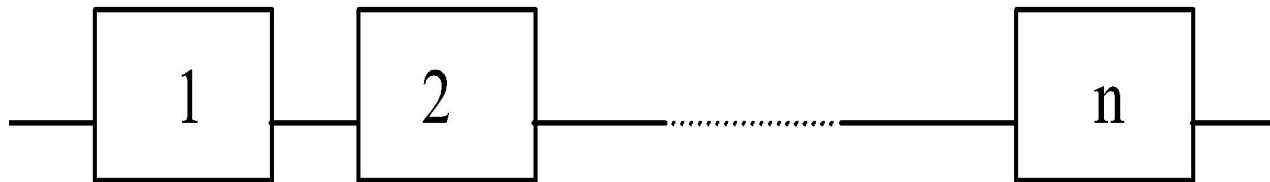
Код	Наименование	Изм.	Кол-во
1	Вент. обратный 1181С	1	1
2	Вент. обратный обратный 11С	1	1
3	Вент. обратный 100А - 3 - 1	2	2
4	Вент. обратный обратный без ДСН	1	1
5	Вент. обратный 100А - 2 - 1	2	2
6	Вент. обратный 1181С - 10	1	1
7	Вент. обратный 10-10	1	1
8	Вент. обратный 10-10	1	1
9	Вент. обратный 10-10	1	1
10	Вент. обратный 10-10	1	1
11	Вент. обратный 10-10	1	1
12	Вент. обратный 10-10	1	1
13	Вент. обратный 10-10	1	1
14	Вент. обратный 10-10	1	1
15	Вент. обратный 10-10	1	1
16	Вент. обратный 10-10	1	1
17	Вент. обратный 10-10	1	1
18	Вент. обратный 10-10	1	1
19	Вент. обратный 10-10	1	1
20	Вент. обратный 10-10	1	1
21	Вент. обратный 10-10	1	1
22	Вент. обратный 10-10	1	1
23	Вент. обратный 10-10	1	1
24	Вент. обратный 10-10	1	1
25	Вент. обратный 10-10	1	1
26	Вент. обратный 10-10	1	1
27	Вент. обратный 10-10	1	1
28	Вент. обратный 10-10	1	1
29	Вент. обратный 10-10	1	1
30	Вент. обратный 10-10	1	1
31	Вент. обратный 10-10	1	1
32	Вент. обратный 10-10	1	1
33	Вент. обратный 10-10	1	1
34	Вент. обратный 10-10	1	1
35	Вент. обратный 10-10	1	1
36	Вент. обратный 10-10	1	1
37	Вент. обратный 10-10	1	1
38	Вент. обратный 10-10	1	1
39	Вент. обратный 10-10	1	1
40	Вент. обратный 10-10	1	1
41	Вент. обратный 10-10	1	1
42	Вент. обратный 10-10	1	1
43	Вент. обратный 10-10	1	1
44	Вент. обратный 10-10	1	1
45	Вент. обратный 10-10	1	1
46	Вент. обратный 10-10	1	1
47	Вент. обратный 10-10	1	1
48	Вент. обратный 10-10	1	1

Для создания структурной схемы выполняют анализ функционирования системы и ее элементов, перечисляют и описывают возможные отказы элементов, оценивают влияние каждого из них на работоспособность системы.

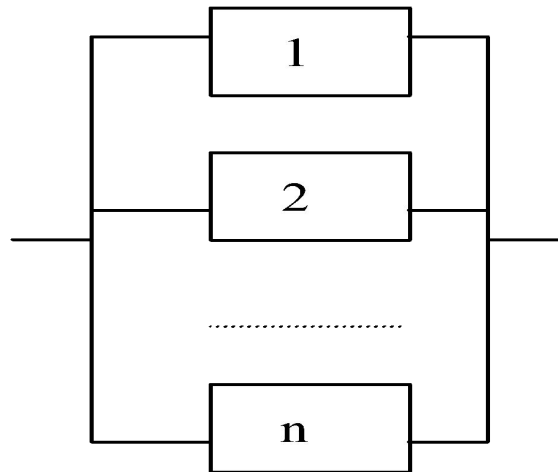
При этом считают, что отказы элементов независимые, а система и ее элементы могут находиться лишь в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном.

При формировании структурной схемы, функциональные связи между элементами заменяются логическими, которые характеризуют безотказную работу системы в зависимости от состояния его элементов.

Элемент, при отказе которого отказывает вся система, считают последовательно соединенным в логической схеме



Элемент, отказ которого не ведет к отказу системы, включают в параллельное соединение в логической схеме





Если мы имеем  $n$  элементов, вероятность безотказной работы каждого из которых равняется соответственно  $R_i$ , то для последовательного соединения элементов формула расчета вероятности безотказной работы системы будет иметь вид:

$$R_{noc} = \prod_{i=1}^n R_i = R_1 R_2 \dots R_n$$

Подставляя вместо вероятности безотказной работы элементов

$$R_i(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right),$$

получим формулу показателей безотказности системы из последовательно соединенных элементов

$$R_{noc}(t) = \prod_{i=1}^N e^{-\int_0^t \lambda_i(t) dt} = e^{-\sum_{i=1}^N \left(\int_0^t \lambda_i(t) dt\right)}.$$

При экспоненциальном распределении наработки до отказа:

$$R_{noc}(t) = e^{-\int_{i=1}^N \lambda_i t}.$$

при

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i t \ll 1$$

**МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ**

$$R_{noc}(t) \approx 1 - \sum_{i=1}^N \lambda_i t.$$

Для параллельного соединения элементов вероятность безотказной работы равняется:

$$R_{\text{пар}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = 1 - [(1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n)]$$

Подставляя вместо вероятности безотказной работы

$$R_i(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right),$$

получим для системы из параллельного соединения элементов

$$R_{нар}(t) = 1 - \prod_{j=1}^K \left(1 - e^{-\int_0^t \lambda_j(t) dt}\right).$$

При экспоненциальном распределении наработки до отказа:

$$R_{нар}(t) = 1 - \prod_{j=1}^K (1 - e^{-\lambda_j t}).$$

При параллельном соединении элементов повышается безотказность системы и сохраняется работоспособность системы при отказе отдельных элементов. Эта возможность реализуется при резервировании.

# Резервирование



Для обеспечения безопасности полетов на ВС предусмотрено резервирование как системы в целом, так и отдельных агрегатов.

При резервировании используют такие понятия: основной, резервный и резервируемый элементы.

**Основной элемент** – элемент объекта, необходимый для выполнения функций без использования резерва.

**Резервный элемент** – элемент, предназначенный для выполнения функций основного элемента в случае его отказа.

**Резервируемый элемент** – основной элемент, на случай отказа которого в объекте предусмотрены один или несколько резервных элементов.

Совокупность дополнительных средств и (или) возможностей, которые используются для резервирования, составляют **резерв**.

**Структурное резервирование** - это резервирование с применением резервных элементов структуры объекта.

**Почасовое резервирование** –  
резервирование с применением резервов  
времени.

**Информационное резервирование** - резервирование с применением резервов информации.



**Функциональное резервирование** – резервирование, при котором используется способность элементов объекта выполнять дополнительные функции.

**Нагрузочное резервирование** – резервирование, при котором используется способность элементов объекта воспринимать дополнительные нагрузки сверх номинальных.

**Нагруженный резерв** – резерв, который содержит одних или несколько резервных элементов, которые находятся в режиме основного элемента.

**Облегченный резерв** – резерв, который состоит из одного или нескольких резервных элементов, которые находятся в режиме меньшей нагрузки сравнительно с основным элементом.

**Ненагруженный резерв** – резерв, который состоит из одного или нескольких резервных элементов, которые находятся в ненагруженном состоянии к началу выполнения ними функций основного элемента.

**Резервирования с обновлением** – резервирование, при котором восстановление основных и (или) резервных элементов, в случае их отказа, технически возможно без нарушения трудоспособности объекта в целом и предусмотрено эксплуатационной документацией.

**Резервирования без восстановления** – резервирование, при котором восстановление основных и (или) резервных элементов в случае их отказа технически невозможно без нарушения трудоспособности объекта в целом и (или) не предусмотрено эксплуатационной документацией.

По уровню резервируемых элементов (объектов) разделяют на: **общее, отдельное и смешанное резервирование.**



При формировании модели надежности системы необходимо учитывать все виды резервирования как средство повышения надежности АТ.

**Общее резервирование** – резервирование, при котором резервируется объект в целом.

При общем резервировании систем ВС с нагруженным резервом вероятность безотказной работы

$$R_0(t) = 1 - \left[ 1 - \prod_{i=1}^n R_i(t) \right]^{m+1}$$

$n$  количество последовательных элементов главной системы;

$m$  - кратность резервирования

Среднее время безотказной работы резервированной системы

$$T_{0\text{cp}} = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} = T_{\text{cp}} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1}$$

$\lambda_c$  и  $T_{\text{cp}}$  - соответственно интенсивность отказов и среднее время безотказной работы главной системы.

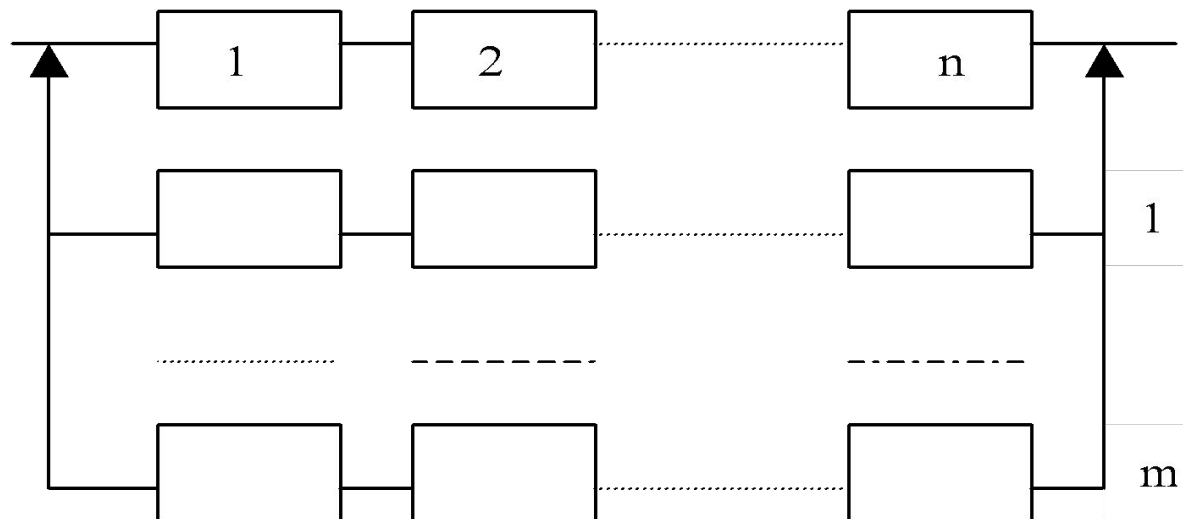
**Раздельное резервирование** – резервирование, в котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы.

При раздельном резервировании с нагруженным резервом вероятность безотказной работы

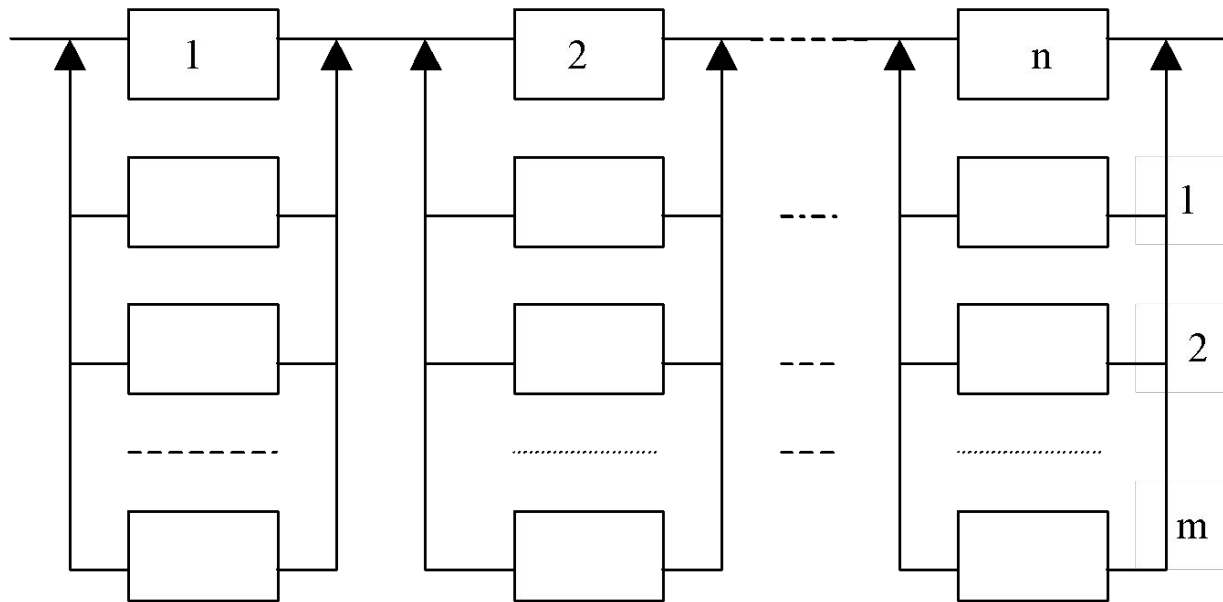
$$R_p(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - [1 - R_i(t)]^{m_i+1} \right\}$$

$m_i$  - кратность резервирования  $i$ -го элемента.

# Общее резервирование



# Раздельное резервирование





**Раздельное резервирование** при одинаковом количестве элементов более выгодное с точки зрения безотказности. Однако при раздельном резервировании усложняется проверка работоспособности системы во время ее технического обслуживания.

**Смешанное резервирование** – объединение разных видов резервирования в одном объекте. Используется в системах, отказ которых оказывают непосредственное влияние на безопасность полетов.

По способу включения резервного элемента системы при возникновении отказа основного элемента отличают **постоянное, скользящее резервирование и резервирование замещением.**

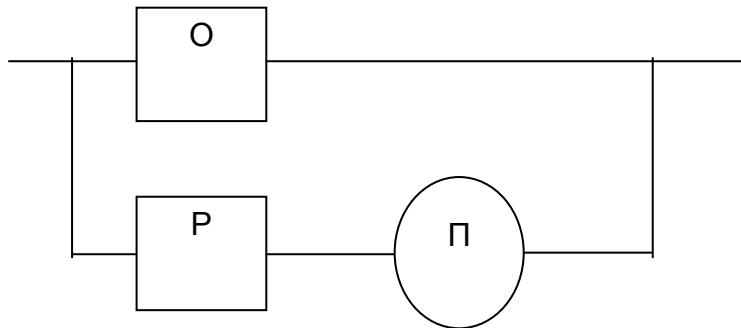
**Постоянное резервирование (параллельное)** – резервирование, при котором используют нагруженный резерв и при отказе любого элемента в резервированной группе, выполнение объектом требуемых функций обеспечивается без переключений оставшихся элементов.

Преимуществом постоянного резервирования является постоянная готовность резервного элемента к использованию, поэтому оно используется в ответственных системах, отказ которых влияют на безопасность полетов, например, в системах управления. К недостаткам можно отнести то, что при таком резервировании происходит изнашивание и старение резервных элементов такое, как и при основном резервировании.

**Резервирование замещением** – резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента.

Структурная схема надежности системы при резервировании замещением :

О – основной элемент; Р – резервный элемент; П – переключатель



Вероятность безотказной работы системы при резервировании замещением определяется по формуле

$$R_{pз}(t) = 1 - (1 - R_0) (1 - R_p R_n),$$

где  $R_0$ ,  $R_p$ ,  $R_n$  – вероятности безотказной работы основного, резервного элементов и переключателя.



**Скользящее резервирование** – резервирование, при котором группа основных элементов резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой из элементов этой группы в случае его отказа.

**Кратность резерва** – отношение числа резервных элементов к числу резервируемых ими элементов, выраженное несокращенной дробью. При этом кратность резерва при дублировании составит один к одному, при двукратном резерве – два к одному, при трехкратном – три к одному.