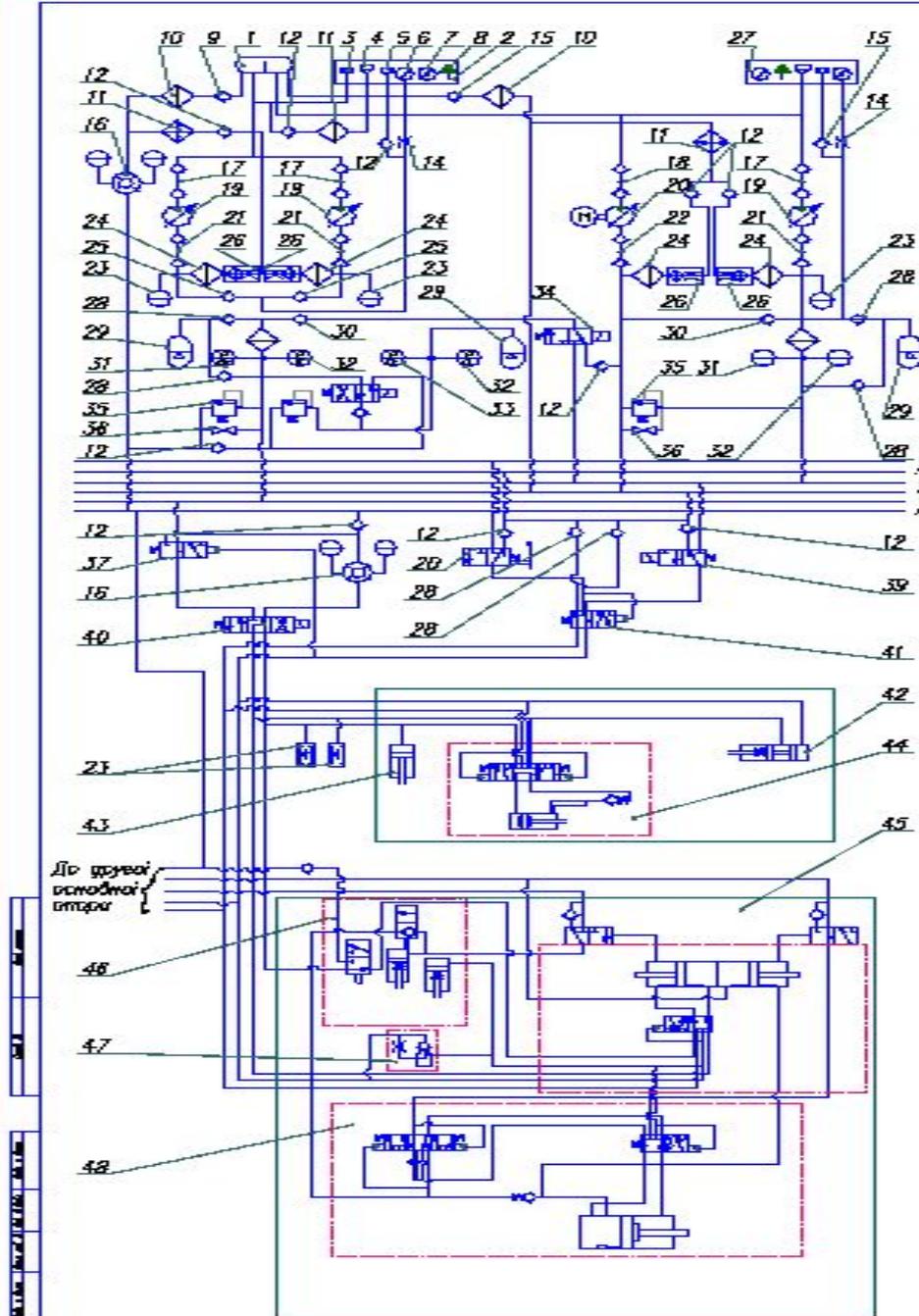


Надежность сложных систем

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 III
 В/С II
 В/С I

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

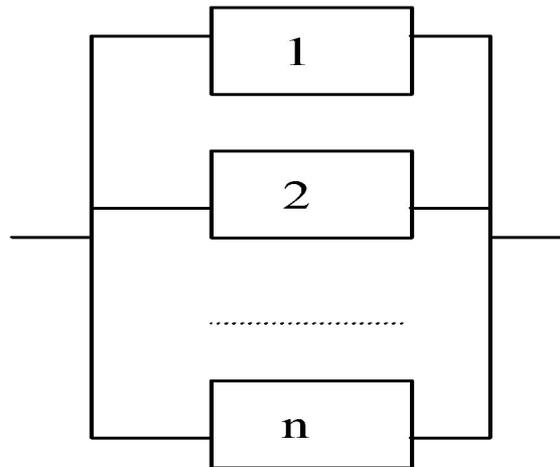
При этом считают, что отказы элементов независимые, а система и ее элементы могут находиться лишь в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном.

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

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

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 ими 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

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

λ_c и T_{cp} - соответственно интенсивность отказов и среднее время безотказной работы главной системы.

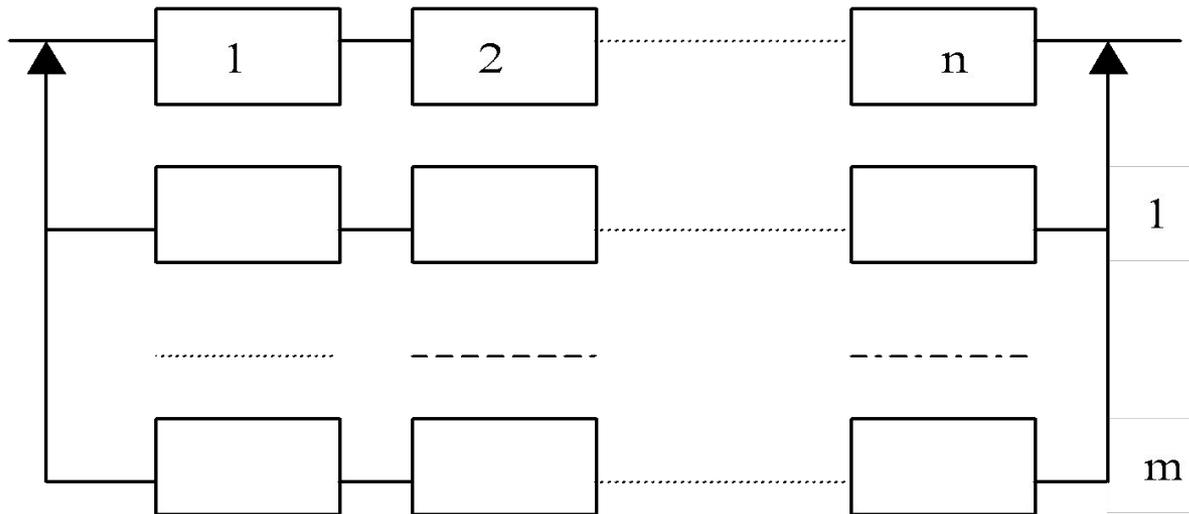
Раздельное резервирование — резервирование, в котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы.

При раздельном резервировании с нагруженным резервом вероятность безотказной работы

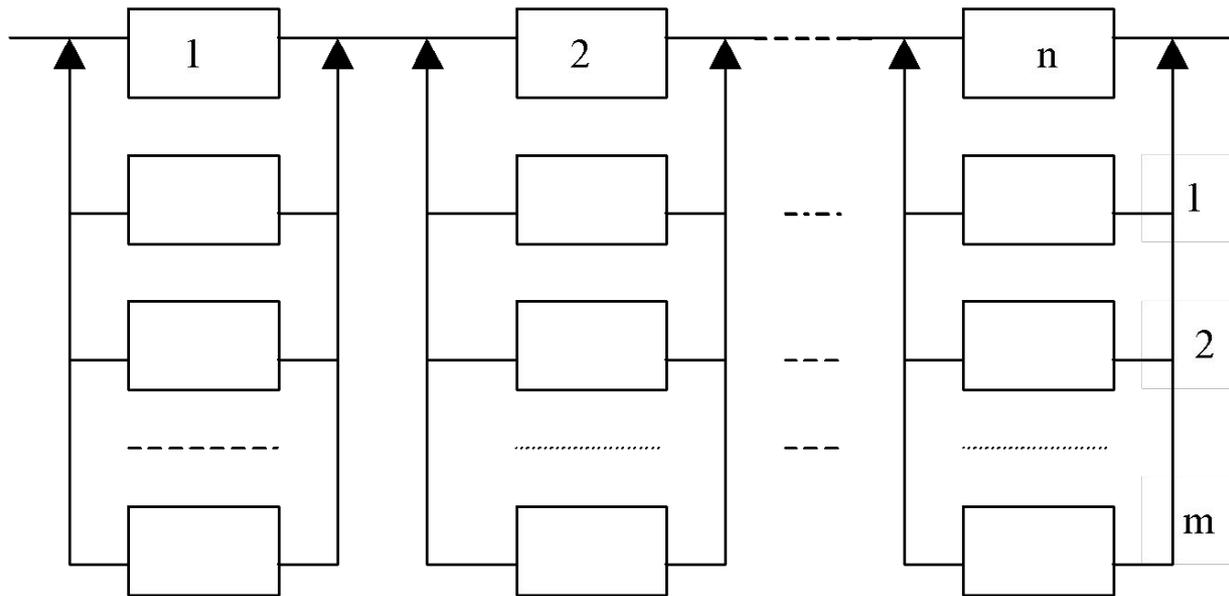
$$R_p(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - [1 - R_i(t)]^{m_i+1} \right\}$$

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**.

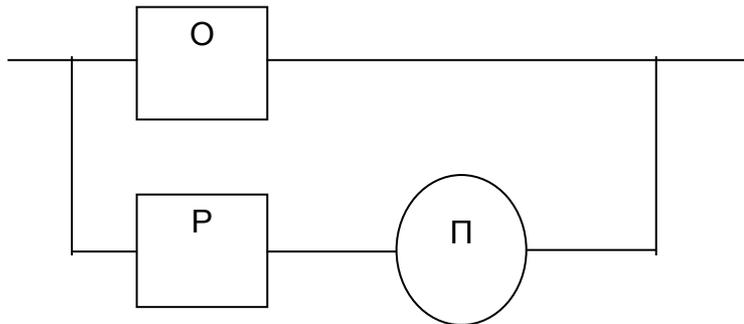
Постоянное резервирование (параллельное) – резервирование, при котором используют нагруженный резерв и при отказе любого элемента в резервированной группе, выполнение объектом требуемых функций обеспечивается без переключений оставшихся элементов.

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

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

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.