



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Отраслевой центр компетенций
«ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ»

Резервирование оборудования

Занятие 9

ШКОЛА ПРОЕКТИРОВЩИКОВ

Филиппов А.А.
Ведущий инженер-проектировщик
АО «Атомэнергопроект» — СПбАЭП

Составил: **Селезнев Н.А.**
Ведущий специалист
АО АСЭ Венгерский филиал

Введение



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

В данной презентации рассматривается **резервирование оборудования** (включая резервирование измерений). Требования по резервированию чаще применимы к системам важным для безопасности, однако могут предъявляться и к системам нормальной эксплуатации, где требуется повышенная надежность. Обычно это системы, непосредственно связанные с процессом выработки электроэнергии



НП-001-15:

3.1.9 «При проектировании АС должны быть рассмотрены и обоснованы меры по защите систем и элементов безопасности, а также систем и элементов специальных технических средств для управления авариями от отказов по общей причине посредством реализации принципов разнообразия, резервирования (избыточности) и независимости.»

П. 61 (Термины): «Принцип резервирования (избыточности) – принцип повышения надежности путем применения нескольких одинаковых или неодинаковых элементов (каналов, систем) таким образом, чтобы каждый из них мог выполнить требуемую функцию независимо от состояния, в том числе отказа, других элементов (каналов, систем), предназначенных для выполнения этой функции.»



НП-001-15:

П. 28 (Термины) «КАНАЛ СИСТЕМЫ – часть системы, выполняющая в заданном проекте АС объеме функцию системы.»

РБ-152-18: Канальное построение систем (в частности, систем безопасности) обычно используется для обеспечения необходимой надежности систем посредством реализации принципов резервирования и независимости.

Канальное построение систем может использоваться как в СБ, так и в системах нормальной эксплуатации (например, несколько каналов системы подпитки первого контура), а также в специальных технических средствах для управления ЗПА (например, наличие нескольких мобильных дизельных генераторов и мотопомп для сценариев с полным обесточиванием АЭС и потерей отвода тепла к конечному поглотителю).

Нормативная основа



Критерий резервирования – показатель, определяющий кол-во учитываемых при резервировании отказов относительно 100% выполнения функции оборудованием или системой

Критерий «N+1» - означает учет одного отказа единицы оборудования (канала), необходимого для выполнения функции. Например, если для выполнения функции подачи среды с расходом 300 т/ч мы используем один насос с расходом 300 т/ч, то при критерии резервирования N+1 мы должны добавить еще один насос с таким же расходом и получаем $(100+100)\%$ или $2 \times 100\%$, то есть 600 т/ч

Рассмотрим пример, когда при таком же требуемом расходе один насос подает всего 150 т/ч. Начальная конфигурация системы без резервирования содержит два таких насоса ($2 \times 50\%$). При резервировании с критерием N+1 мы добавляем еще один насос и получаем конфигурацию $3 \times 50\%$, то есть 450 т/ч

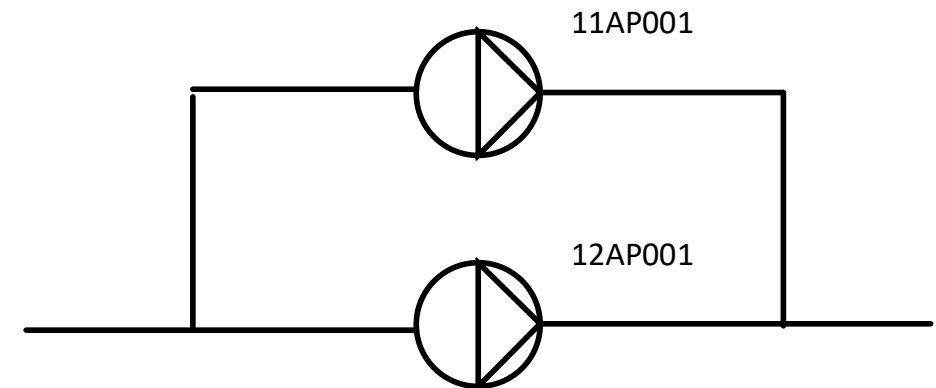
Резервирование оборудование



Данный критерий резервирования обычно используется, когда существует вероятность (или постулируется) отказа одной единицы оборудования (одного канала)

На рисунке показаны примеры резервирования насосного агрегата (12AP001 является резервным для 11AP001)

В случае отказа (не запуска либо отказа при работе) основного насоса 11AP001, запускается автоматически либо по команде оператора установленный в параллель насос 12AP001, позволяющий перекачивать среду из того же источника в тот же напорный трубопровод



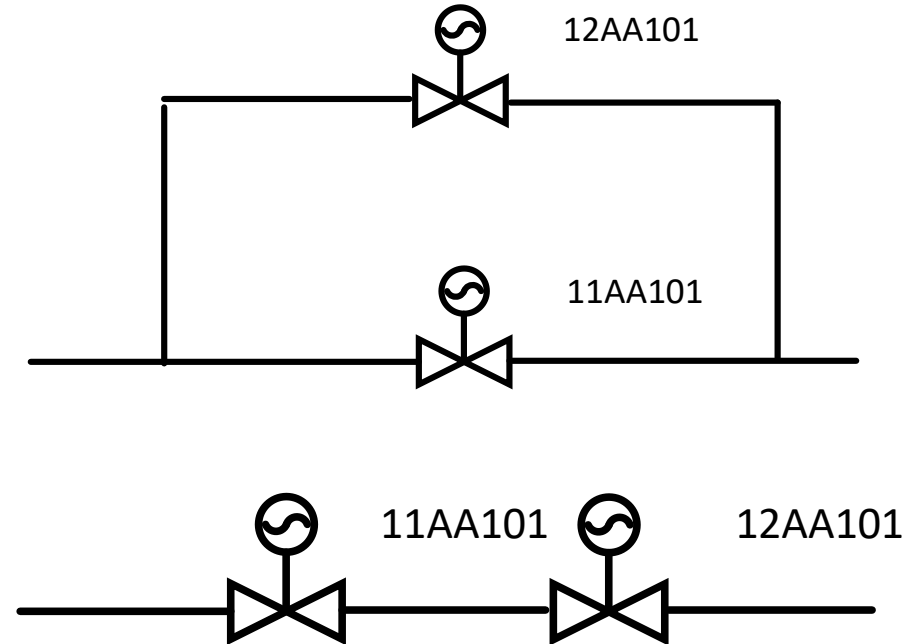
Резервирование оборудование



На рисунке показаны два случая резервирования запорной арматуры.

Первый случай применяется при резервировании функции открытия. Установленные в параллель арматуры позволяют обеспечить надежное открытие и проход среды через данный участок трубопровода даже в случае отказа на открытие одной из них.

Второй случай напротив обеспечивает надежное закрытие: в случае отказа (не закрытия) одной из арматур, вторая, закрываясь, перекрывает поток и выполняет необходимую функцию.



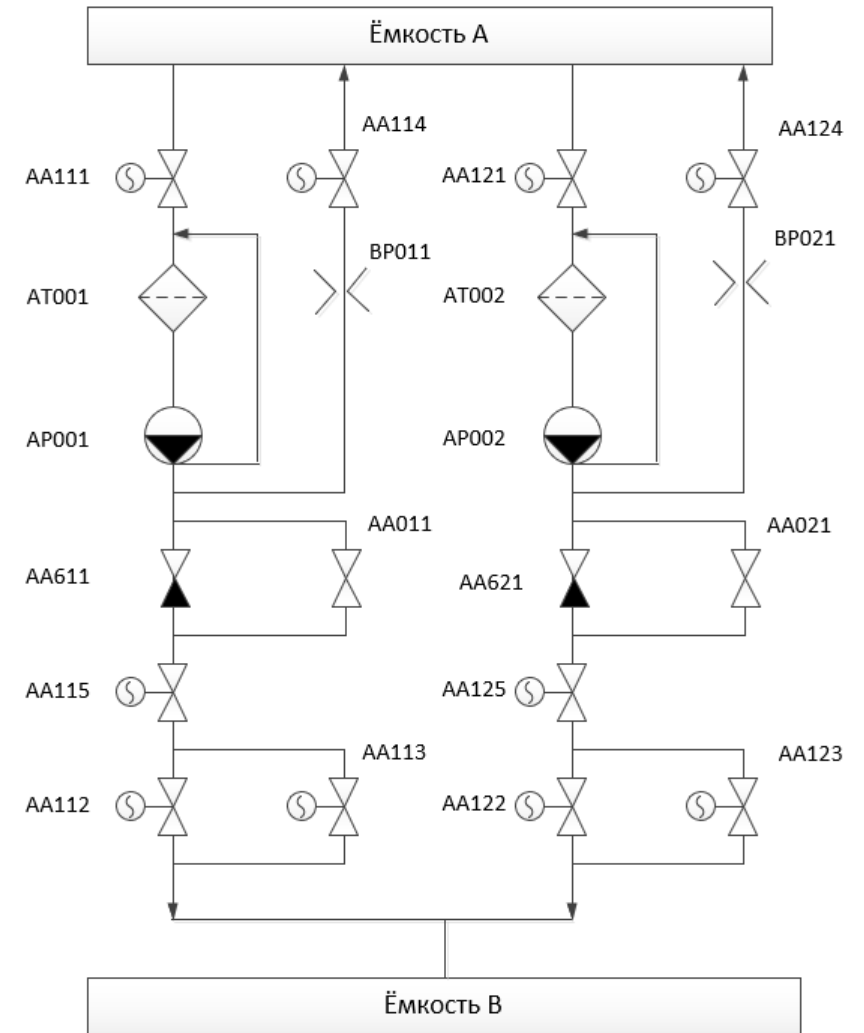
Резервирование каналов



На рисунке приведен пример резервирования канала системы на примере системы питательных насосов, которую мы уже ранее рассматривали

Резервирование выполнено для целого канала системы, то есть любой отказ, который приводит к потере канала или уменьшению производительности канала, не ведет к отказу выполнения функции

Для проектов АЭС с ВВЭР-1000 характерна трехканальная структура систем безопасности, обеспечивающая учет требований по резервированию с критерием N+1

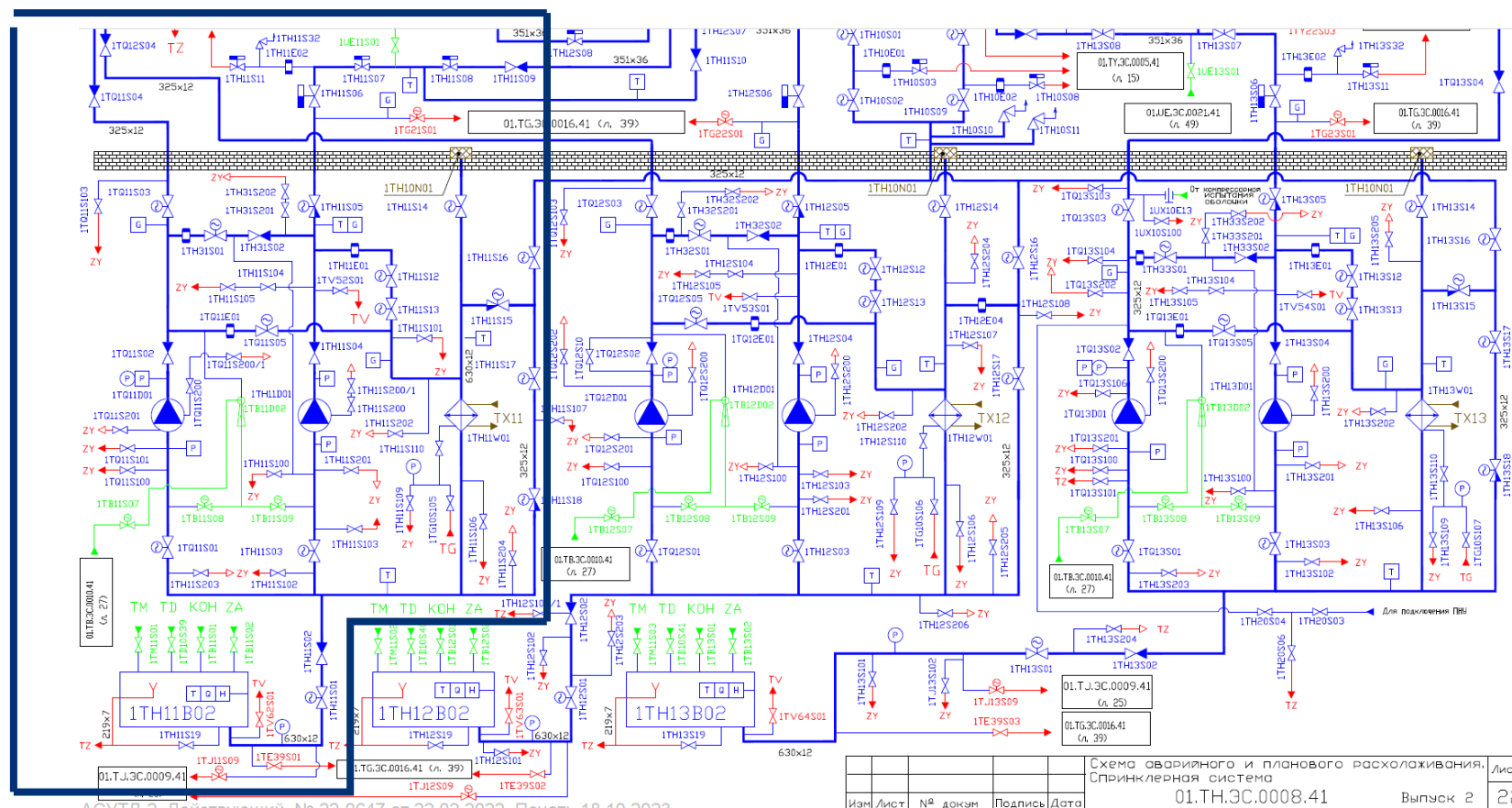


Резервирование каналов



Пример схемы систем безопасности АЭС с ВВЭР-1000 (Калининская АЭС)

Рамкой выделен один из трех каналов



АСУ ТД 2. Действующий. № 22 0647 от 22.02.2022. Почта: 19.10.2022.

Резервирование оборудования



Критерий «N+2» — означает учет одного отказа единицы оборудования (канала), необходимого для выполнения функции, и дополнительного отказа либо временной неработоспособности еще одной единицы оборудования

Например, если для выполнения функции подачи среды с расходом 300 т/ч мы используем один насос с расходом 300 т/ч, то при критерии резервирования N+2 мы должны добавить еще два насоса с таким же расходом и получаем $(100+100+100)\%$ или $3 \times 100\%$, то есть 900 т/ч.

В такой конфигурации системы один насос может быть выведен в ремонт (даже если работа такой системы может понадобиться или система находится в работе), второй насос может отказать, но функция будет выполнена за счет третьего насоса

Рассмотрим пример, когда при таком же требуемом расходе один насос подает всего 150 т/ч. Начальная конфигурация системы без резервирования содержит два таких насоса ($2 \times 50\%$). При резервировании с критерием N+2 мы добавляем еще два насоса и получаем конфигурацию $4 \times 50\%$, то есть 600 т/ч



В редких случаях, помимо постулируемого критерия резервирования система может иметь так называемые зависимые отказы

РБ-152-18: ЗАВИСИМЫЙ ОТКАЗ — отказ системы (элемента), являющийся следствием другого отказа или события.

К зависимым отказам относится, например, отказ выполнения функции канала САОЗ (Системы аварийного охлаждения активной зоны) вследствие разрыва трубопровода первого контура, к которому он присоединен. При этом сам упомянутый канал системы функционирует нормально, однако, подаваемая каналом вода теряется бесполезно, истекая через разрыв, то есть имеет место отказ канала (канал не выполняет предусмотренную проектом АЭС функцию)

Другими примерами зависимых отказов являются:

- отказ электроприводного оборудования при отказе питающей его электрической секции (сборки);
- отказ оборудования управляющих систем из-за отказа системы вентиляции, охлаждающей помещения, в которых расположены технические средства управляющих систем

Резервирование оборудования



Если система подвержена зависимым отказам, то процесс применения критериев резервирования включает так же этот фактор

Например, в ранее представленном примере системы охлаждения активной зоны, зависимый отказ должен учитываться. При этом, к данной системе предъявляется требование N+2

В проекте АЭС с ВВЭР-1200 один насосный агрегат выполняет 100% функционала, резервирование выполняется канально. Три канала обеспечивают резервирование N+2 (3x100%). Учет зависимого отказа приводит к необходимости проектирования четвертого канала с итоговым решением: 4x100%

Для сравнения, спринклерная система в этом же проекте выполнена четырехканальной, но по схеме 4x50%. К данной системе предъявляется аналогичное требование N+2 (что обуславливает при производительности 2x50% и учете отказа 2 каналов – 4x50%), дополнительных требований по зависимому отказу не предъявляется

Резервирование измерений



Отдельной задачей резервирования является обеспечение надежности измерений (включая обеспечение надежности срабатывания уставок, сигнализаций и инициации функций)

Резервирование сигналов обычно происходит по следующим схемам (методам голосования):

- 2 из 3 (2vs3)
- 2 из 4 (2vs4)
- 1 из 2 (1vs2)
- 2 из 2 (1vs2)

Первая цифра показывает необходимое число сигналов, вторая – общее число измерений

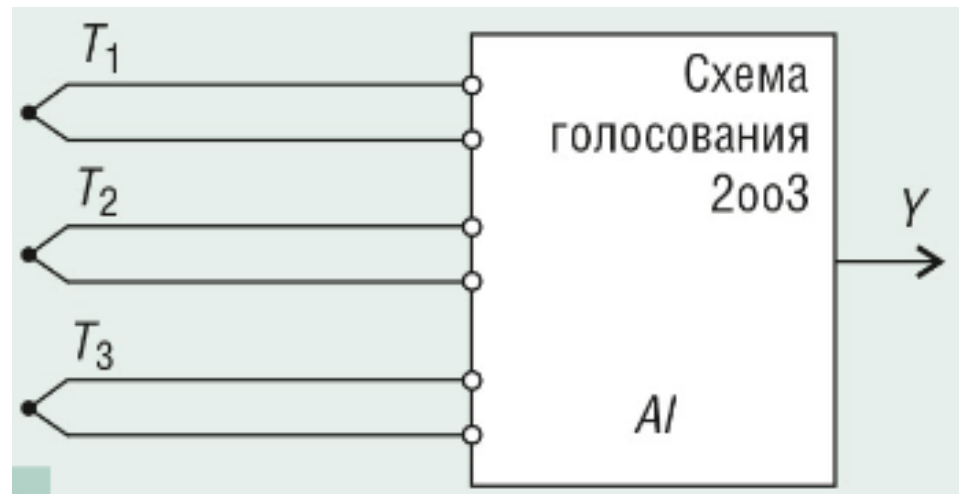
Резервирование измерений



Принцип работы схемы голосования рассмотрим на примере резервирования датчиков (рис. 1). В такой системе вместо одного датчика используются три (например три термопары), которые подсоединены к одному модулю ввода

В схему голосования поступают соответственно три значения измеряемой величины (например три значения температуры: T_1 , T_2 , T_3), из которых необходимо выбрать одно

Значения измеряемой величины располагаются в порядке возрастания, и на выход схемы голосования поступает то из них, которое расположено между двумя крайними (но не среднее арифметическое). Например, если в результате измерения температуры получены значения $0,12^{\circ}\text{C}$, $39,5^{\circ}\text{C}$ и $39,4^{\circ}\text{C}$, то используется только значение $39,4^{\circ}\text{C}$, остальные игнорируются



Резервирование измерений



Резервирование элементов с дискретными сигналами выполняется аналогично

Поскольку значениями дискретных сигналов являются логические 0 или 1, то в результате мажоритарного голосования выбирается то значение, которое принимают большинство сигналов.

Например, при логических сигналах $A = 1$, $B = 1$, $C = 0$ результатом голосования будет значение $Y = 1$.

Блок мажоритарного голосования реализует логическую функцию $Y = AB + BC + CA$

Резервирование измерений



Схемы голосования широко используются в системах безопасности, где они имеют большое разнообразие. В системах же, не связанных с безопасностью, не существует более простых схем голосования, чем 2 из 3, которые сами по себе являются достаточно дорогими

Схема 2 из 3 обычно используется в защите такого оборудования, как насосы, например, защита по превышению температуры подшипников реализуется именно по схеме 2 из 3

Если два измерения температуры из трех установленных датчиков превышают установленную уставку по температуре, то формируется сигнал на останов насосного агрегата

Реализация такого голосования на схеме выглядит как установка трех идентичных датчиков

Вопросы для повторения материала



- Что такое резервирование? Для чего оно необходимо?
- Какие бывают критерии резервирования?
- Что означает структура построения системы 3х50%? Какой критерий резервирования реализован в такой системе?
- Что такое зависимый отказ?
- Как резервируют измерения?
- Что означает «голосование 2 из 3»?

Спасибо за внимание

Филиппов А.А.

Ведущий инженер-проектировщик
АО «Атомэнергопроект» — СПБАЭП

Санкт-Петербург, Россия – Пакш, Венгрия

