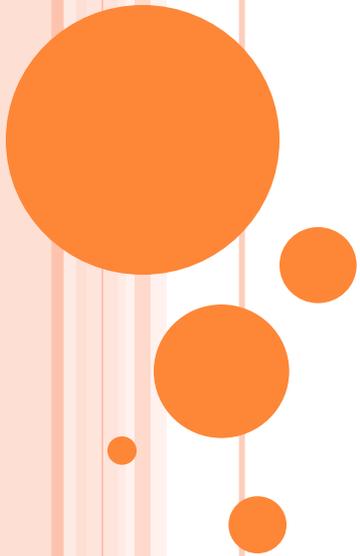


СТРУКТУРНАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЕТЕЙ СВЯЗИ



СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА

- Основные понятия и свойства объекта
- Классификация причин отказа
- Показатели структурной надежности
- Математические модели сетей связи
- Алгоритмы определения вероятности связности и математического ожидания
- Способы повышения структурной надежности сети связи

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ

Надежностью, какого либо объекта (системы, сооружения, устройства или отдельной детали) называется его свойство, заключающееся в способности выполнять поставленные задачи в определенных условиях эксплуатации.

Состояние, в котором объект способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией, называют ***работоспособностью*** объекта.

Состояние, в котором объект сохраняет значения основных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией, называют – ***исправностью*** объекта.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта, называют ***отказом*** объекта.



СВОЙСТВА ОБЪЕКТА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕГО НАДЕЖНОСТЬ

В зависимости от назначения объекта, выполняемых им функций и условий эксплуатации различают несколько свойств, связанных с надежностью:

- Безотказность (свойство непрерывно сохранять работоспособность).**
- Долговечность (свойство сохранять работоспособность до определенного состояния).**
- Ремонтопригодность (возможность выполнения ремонта и технического обслуживания).**
- Восстанавливаемость (возможность восстановления работоспособности после отказа).**
- Сохраняемость (свойство, определяющее возможность длительного хранения перед эксплуатацией).**



ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТА

Выделяют два основных аспекта надежности, которые условимся называть аппаратурным и структурным.

Под *аппаратурным* аспектом понимают проблему надежности аппаратуры, отдельных устройств и их элементов, включая каналы и линейные тракты, т.е. отдельных элементов, входящих в состав узлов и линий связи сети.

***Структурный* аспект отражает функционирование сети как единого объекта, в зависимости от работоспособности или отказов узлов или линий, магистралей, пучков каналов сети, т.е. он связан с возможностью существования в сети путей доставки информации.**

Надежность сети, определяемая структурными свойствами сети и надежностью ее элементов (узлов и линий связи), будем называть *структурной надежностью сети связи*.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЧИН ОТКАЗА



ПОКАЗАТЕЛИ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ СВЯЗИ

Используемые в настоящее время показатели можно разбить на две группы: структурные показатели; вероятностные показатели.

К структурным показателям относятся:

Избыточность, которая характеризует избыток линий и узлов по сравнению с минимально необходимым числом для обеспечения связи между различными конечными пунктами. Количественно избыточность может быть оценена числом независимых по линиям связи или узлам путей, которые могут быть использованы для связи между фиксированной парой узлов.

Коэффициент влияния, который оценивает влияние утраты или выход из строя узла или линии связи на возможности сети с точки зрения обеспечения связи между пунктами сети.

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СН

К вероятностным показателям относятся:

- *Надежность пути;*
- *Надежность связи;*
- *Математическое ожидание числа связей в сети* и т.д.

Под *надежностью пути*, связывающего узел i с узлом j , будем понимать вероятность исправного состояния всех линий и узлов, образующих этот путь.

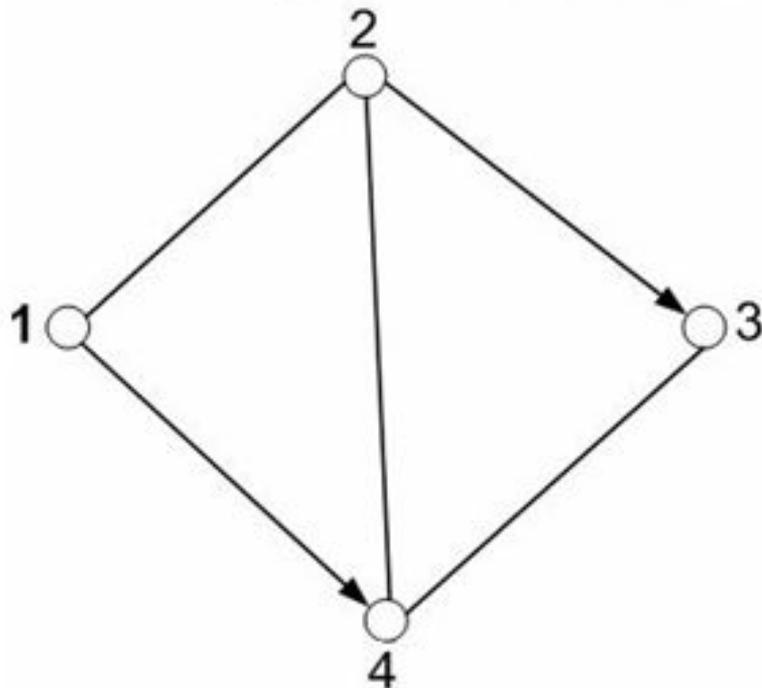
Надежность связи (вероятность связности двух узлов) – это вероятность существования хотя бы одного пути в работоспособном состоянии из заданного множества путей, связывающих указанные узлы.

Вероятность связности нескольких или всех узлов сети представляет собой вероятность того, что одновременно между несколькими или узлами сети существует связь.

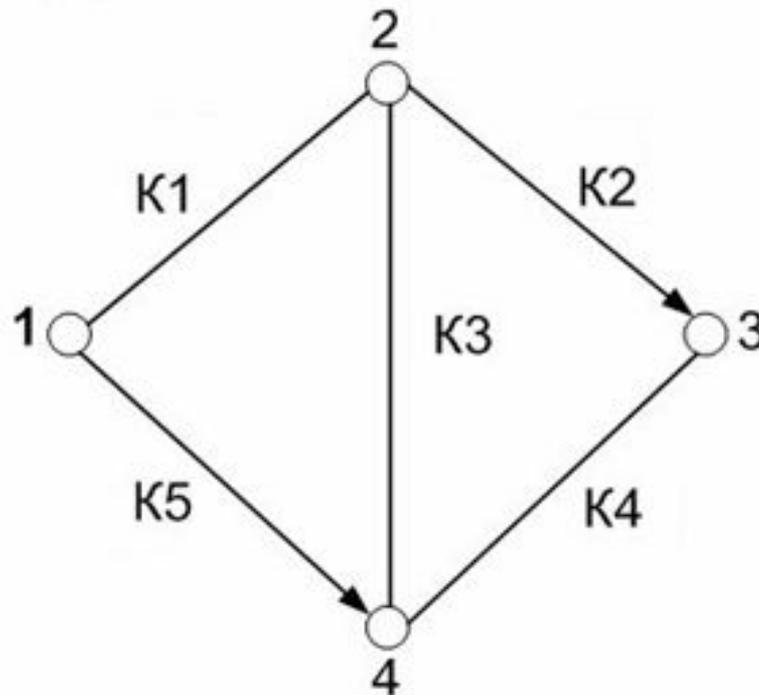
Математическое ожидание числа связей в сети определяет среднее число связей в сети при фиксированной надежности элементов сети.

МОДЕЛИ СЕТИ СВЯЗИ

1. Простой неориентированный, ориентированный или смешанный граф $G=(A,B)$.
2. Простой неориентированный, ориентированный или смешанный вероятностный граф $G=(A,B,K)$.
3. Гиперсеть $S=(X,Y,R;P,F,W;K)$.



Простой смешанный граф



Простой смешанный вероятностный граф

A – множество вершин

B – множество ребер

K – показатели надежности ребер графа



ПОНЯТИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ ОБЪЕКТА

Под надежностью линии (узла) будем понимать вероятность нахождения линии (узла) в работоспособном состоянии в произвольный момент времени или математическое ожидание доли времени, в течение которого линия находится в исправном состоянии. Это определение эквивалентно понятию коэффициента готовности (availability function) – K_{ij} линии связи (K_{ii} узла связи) . Тогда

$$K_{ij} (K_{ii}) = T_0 / (T_0 + T_v),$$

или

$$K_{ij} (K_{ii}) = \mu / (\lambda + \mu) ,$$

где T_0 – среднее время наработки на отказ объекта;

T_v – среднее время восстановления объекта;

$\lambda = 1 / T_0$, отк/час - интенсивность отказов объекта;

$\mu = 1 / T_v$, вост/час - интенсивность восстановления

объекта.



РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПУТИ

Надежность P_{St}^k **пути** μ_{St}^k , **при условии** статистической независимости элементов сети, **оценим** вероятностью **одновременного работоспособного** состояния всех ребер, образующих этот путь, т. е.

$$P_{st}^k = P(\mu_{st}^k) = \prod_{b_{ij} \in \mu_{st}^k} p(b_{ij}),$$

где $p(b_{ij})$ – **показатель надежности** линии ij , принадлежащей пути между узлами s и t .

Если учитывать надежность узлов, то

$$P_{st}^k = \prod_{b_{ij} \in \mu_{st}^k} p(b_{ij}) \prod_{a \in \mu_{st}^k} p(a_i),$$

где $p(a_i)$ – **показатель надежности** i – **ого узла**, входящего путь между узлами s и t .



АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ СВЯЗНОСТИ

1. Определим список путей, используемых для связи узла s с узлом t .
2. Каждому пути поставим случайное событие A_k , характеризующее исправное состояние данного пути.
3. Определим надежность каждого из указанных путей с учетом заданных показателей надежности элементов сети.
4. Воспользуемся формулой для расчета вероятности суммы совместных событий A_i ,

$$P_{st} = \sum_{i=1}^m P(A_i) = \sum_i P(A_i) - \sum_{i,j} P(A_i A_j) + \sum_{i,j,k} P(A_i A_j A_k) + \dots + (-1)^{m-1} P(A_1 A_2 \dots A_m),$$

где m - число путей, которые могут быть использованы для связи узла s с узлом t ;

A_i - событие, поставленное в соответствие i -тому исправному пути из множества путей $i = \overline{1, m}$;

$P(A_i)$ - вероятность наступления события A_i ;

$P(A_i A_j)$ - вероятность совместного наступления 2 событий A_i и A_j ;

:

$P(A_1 A_2 \dots A_m)$ - вероятность совместного наступления m событий A_i .

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ЧИСЛА СВЯЗЕЙ В СЕТИ

1. Определим список взаимодействующих пары узлов сети.
2. Определим пути, которые могут быть использованы для доставки информации для каждой пары узлов сети из заданного списка.
3. Для каждой пары узлов определим вероятность их связности.
4. Произведем суммирование значений вероятностей связности различных пар узлов сети.

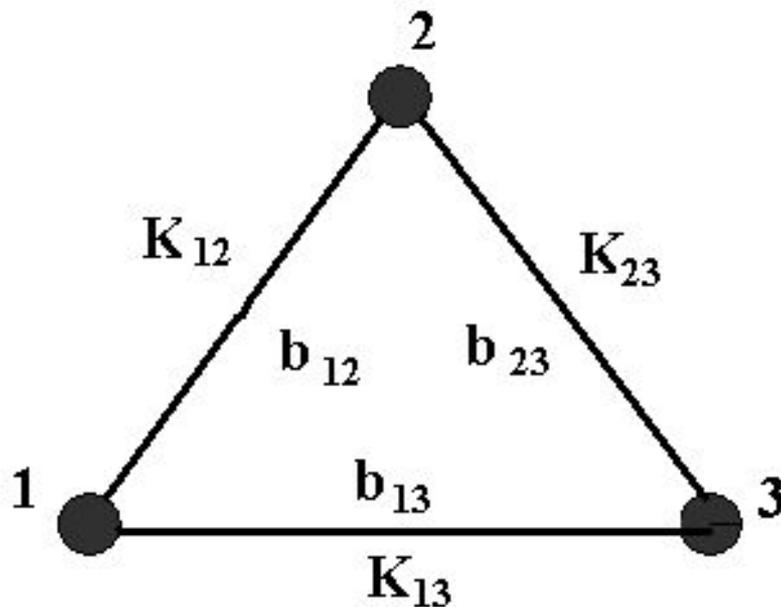
В результате получим абсолютное значение математического ожидания числа связей в сети – $M(X)$. Удобнее и нагляднее данную величину выразить в относительных единицах. Тогда величина $M(X)_{\text{отн}}$ может быть рассчитана по формуле:

$$M(X)_{\text{отн}} = (M(X)/N_{\text{max}}) * 100\%,$$

где N_{max} – максимальное(заданное) число связей сети  при условии, что все элементы сети абсолютно надежны.

ПРИМЕР РАСЧЕТА $M(X)$

Определить математическое ожидание числа связей $M(X)$ отн. для сети, представленной на рисунке, при условии, что используются все допустимые пути для связи узлов сети и коэффициент готовности каждой линии связи равен $K_T = 0,9$.



K_{ij} - коэффициенты готовности участка сети

b_{ij} - участок сети

μ_{ij}^k - k -ый путь, связывающий узел i и j

Рисунок - Структура сети.

1. Определим список путей, связывающих узлы сети.

$$\begin{aligned} \mu_{12}^1 &= \{b_{12}\}, \mu_{12}^2 = \{b_{13}, b_{23}\}; \mu_{13}^1 = \{b_{13}\}, \mu_{13}^2 = \{b_{12}, b_{23}\}; \\ \mu_{21}^1 &= \{b_{12}\}, \mu_{21}^2 = \{b_{13}, b_{23}\}; \mu_{23}^1 = \{b_{23}\}, \mu_{23}^2 = \{b_{12}, b_{13}\}; \\ \mu_{32}^1 &= \{b_{23}\}, \mu_{32}^2 = \{b_{13}, b_{12}\}; \mu_{31}^1 = \{b_{13}\}, \mu_{31}^2 = \{b_{12}, b_{23}\}. \end{aligned}$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА $M(X)$ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

2. Определим надежность каждого из указанных путей.

$$H(\mu_{12}^1) = H(\mu_{21}^1) = K_{21}; H(\mu_{13}^1) = H(\mu_{31}^1) = K_{23};$$

$$H(\mu_{23}^1) = H(\mu_{32}^1) = K_{23}; H(\mu_{12}^2) = H(\mu_{21}^2) = K_{13} * K_{23};$$

$$H(\mu_{13}^2) = H(\mu_{31}^2) = K_{21} * K_{23}, H(\mu_{23}^2) = H(\mu_{32}^2) = K_{13} * K_{21}.$$

3. Определим вероятность связности для пар узлов сети.

$$P_{12} = P_{21} = K_{21} + K_{13} K_{23} - K_{21} K_{13} K_{23};$$

$$P_{13} = P_{31} = K_{13} + K_{21} K_{23} - K_{21} K_{13} K_{23};$$

$$P_{23} = P_{32} = K_{23} + K_{13} K_{21} - K_{13} K_{21} K_{23};$$

4. Определим математическое ожидание числа связей $M(X)$.

$$M(X) = P_{12} + P_{21} + P_{13} + P_{31} + P_{23} + P_{32}$$

5. Определим максимальное число связей в сети при абсолютно надежных элементах.

$$N = n(n-1) = 3 * 2 = 6$$

6. Определим $M(X)_{отн.}$, подставив значение $K_T = 0,9$ в выражение, полученное в пункте 4.

$$M(X)_{отн.} = M(X) * 100 / N = 5.886 * 100 / 6 = 98.1\%$$

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СН

- **Выбор и развитие структур ПС и ВС.**
- **Выбор аппаратуры или линий с повышенной надежностью.**
- **Применение резерва по каналам, трактам или линиям на отдельных участках сети.**
- **Применение обходных путей.**
- **Организация служб контроля (мониторинга) и восстановления.**
- **Использования передвижных радиорелейных линий для организации обходов поврежденных участков, перекроссировок и других мер.**
- **Создание системы управления разных уровней, обеспечивающей оперативное переключение каналов и трактов, перераспределение и ограничение потоков сообщений.**

КОНЕЦ

