

*Теоретические основы  
построения  
системы технической  
эксплуатации  
линейных  
сооружений связи.*

Успешно завершив первые два этапа – проектирование ВОЛС как новое, так создание различных вариантов проектов реконструкции существующих металлических или волоконно-оптических линий связи, последующее строительство ВОЛС или выполнение работ по реконструкции, неизбежно происходит переход к следующему этапу – построению новой системы технической эксплуатации линейных сооружений связи (СТЭЛСС).

Этот этап является наиболее ответственным, с точки зрения, создания условий нормального функционирования объекта эксплуатации, обеспечении всех качественных и количественных характеристик последнего, при этом, необходимо помнить о затратах, необходимых для поддержания объекта в постоянной работоспособности

# Принципы системного подхода к анализу СТЭЛСС.

Для систем технической эксплуатации ЛСС возможно следующее деление.

## Аппарат для анализа и конструирования СТЭЛСС.

В качестве этого аппарата используются разделы математического анализа, необходимые при исследовании параметров передачи, помех и возмущений действующих на ЛСС, математические методы исследования операций и, в частности, методы оптимизации параметров систем, различные способы построения математических моделей систем и оценке степени адекватности этих моделей создаваемым системам.

# Фазы или периоды (во времени) и этапы (логические) конструирования СТЭЛСС.

Применение подобного разбиения позволяет расчленить задачу оптимизации на ряд «фаз» и «этапов» по времени проведения работы либо по ее логической последовательности. В действительности это разбиение часто не соблюдается, а иногда, например, при ограниченном времени создания системы ряд «этапов» и «фаз» выполняются одновременно или в другом порядке. Очень часто, например, при анализе надежности кабельных магистралей или путей повышения эффективности и качества их работы рассматриваются различные фазы и периоды эксплуатации КМ, а также возможности ее оптимизации по мере создания новых, более совершенных методов эксплуатации.

# Подсистемы.

Каждый линейный тракт или ЛСС могут рассматриваться как подсистема более крупной системы, например первичной сети.

Расчленение сложных систем на подсистемы производится до тех пор, пока не будут получены элементы системы, т.е. такие объекты, которые в условиях данной задачи не подлежат расчленению.

Однако при использовании и оптимизации таких объектов необходимо учитывать, что в исходной системе они функционируют во взаимодействии друг с другом и свойства БС определяются не только свойствами данных объектов, но и характером их взаимодействия в структуре БС.

# СТЭЛСС

Система управления КМ

Система обслуживания аппаратной части

Система обслуживания кабельной линии

Система обслуживания элементов управления

Система обслуживания НРП, НУП, на металл. лин. и ВОЛС

Система обслуживания ОРП, ОП, ОУП, СУС.

Система обслуживания электропитания

Система измерения и контроля

Система ремонтно-профилактических работ

Система аварийно-восстановительных работ

Система статистики и паспортизации

# КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТЭЛСС И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ

Можно выделить следующие основные этапы работ при определении критерия эффективности СТЭЛСС:

- анализ основных свойств заданного или выбираемого критерия эффективности;
- оценка сложности исходной функции, связывающей данный критерий с варьируемыми параметрами;
- определение возможности контроля за достижением и сохранением оптимального состояния ЛСС на оптимизируемой фазе;
- разработка методов, устройств и подсистем, обеспечивающих целесообразную или достижимую степень улучшения критерия эффективности работы СТЭЛСС;
- оценка эффективности по качеству и внедрение полученных рекомендаций в СТЭЛСС.

Действительно, пусть необходимо оценить в будущем качество работы некоторой СТЭЛСС, находившейся длительное время в эксплуатации и характеризующейся определенной степенью изношенности. Очевидно, что вероятность любого состояния системы зависит только от ее состояния в настоящем времени при  $t = t_0$  и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние.



Процессы, происходящие в ЛСС, обычно относят к Марковским процессам с дискретным состоянием и непрерывным временем.

Допустим, что СТЭЛСС имеет ряд дискретных, случайных состояний  $S_1, S_2 \dots S_n$ . Например,  $S_1$  – ВОЛС исправна,  $S_2$  – один из трактов имеет пониженное качество увеличение параметров ошибок,  $S_i$  – полный отказ одного из трактов в результате существенного роста потерь в ОВ,  $S_n$  – полный отказ всех трактов, повреждение ВОК.

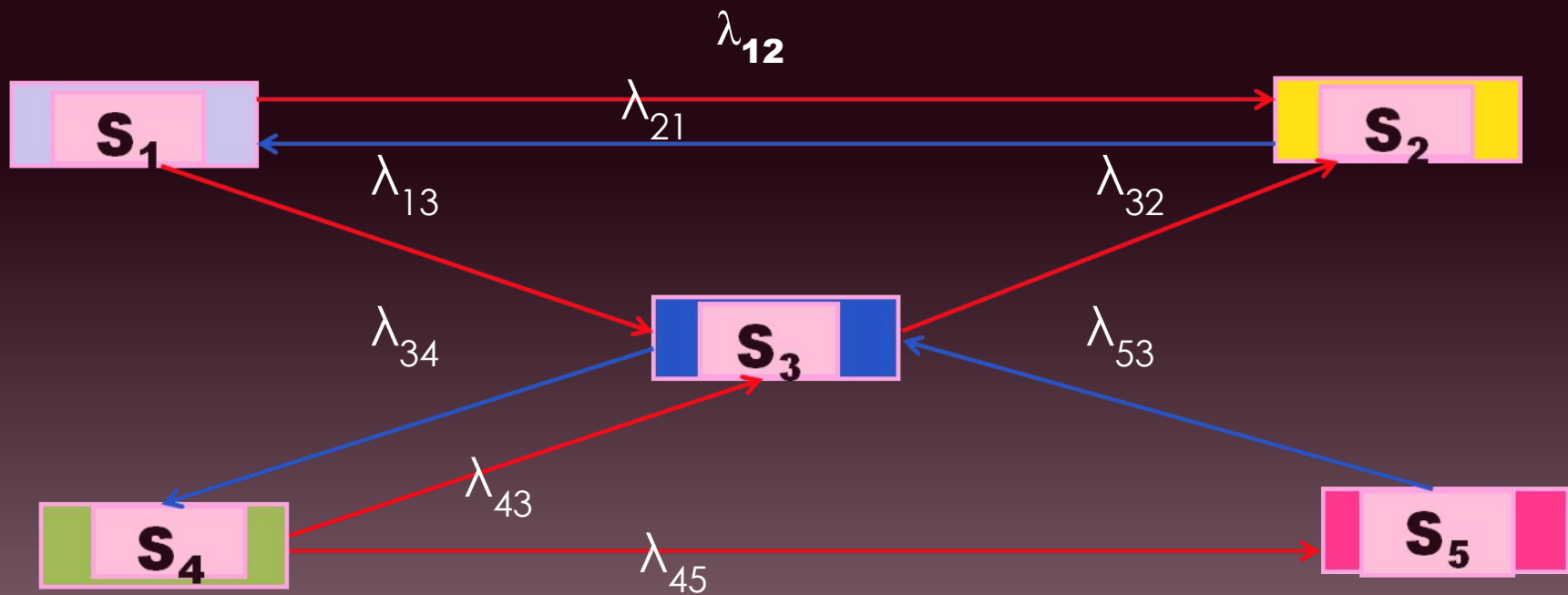
Переход системы  $S$  в различные состояния может осуществляться в любой момент времени. События  $S_1, S_2 \dots S_n$  несовместимы и образуют полную группу состояний, так что сумма вероятностей  $p_i(t)$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  система будет находиться в состоянии  $S_i$  и для любого момента времени равна единице:

$$\sum_{i=1}^n p_i(t) = 1$$

Пусть вероятность перехода системы из состояния  $i$  в состояние  $j$  известна и равна  $p_{ij}$ . Тогда можно ввести понятие о плотности вероятности перехода:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} [p_{ij}(t) / (\Delta t)]$$

Зная плотности вероятностей перехода для системы, можно составить так называемый граф состояния системы, например для  $n=5$ .



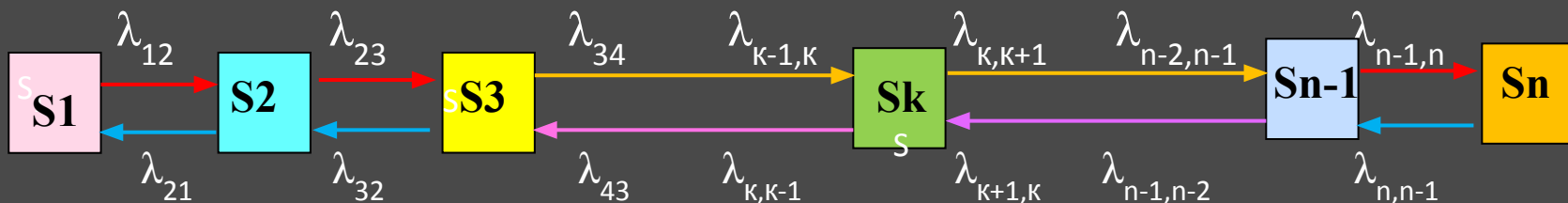
Если все плотности вероятностей перехода  $\lambda_{ij}$  не зависят от  $t$ , то Марковский процесс называется однородным; если эти плотности представляют собой какие-то функции времени  $\lambda_{ij}(t)$ , процесс называют неоднородным. В последнем случае часто заменяют  $\lambda_{ij}(t)$  его математическим ожиданием

$$M[\lambda_{ij}(t)] = 1/T \int_0^T \lambda_{ij}(t) dt,$$

где,  $T$  - рассматриваемый интервал времени.

Зная размеченный граф, можно определить вероятности  $p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)$  из дифференциальных уравнений, называемых уравнениями Колмогорова, составляемых по следующему правилу: левая часть каждого уравнения состоит из производной вероятности состояния, а правая часть содержит столько членов, сколько стрелок размеченного графа связано с данным состоянием. Если стрелка направлена из состояния, соответствующий член имеет знак минус, если в состояние – знак плюс.

Рассмотрим типичную, для многих процессов, протекающих в СТЭЛСС, а именно, непрерывную Марковскую цепь, называемую схемой «гибели и размножения».



Граф процесса «гибели и размножения».

Граф этой цепи и имеет вид вытянутой цепочки, в которой каждое из соседних состояний ( $S_2, S_3 \dots S_{n-1}$ ) связано прямой и обратной связями с каждым из соседних состояний, а крайние состояния ( $S_1, S_2$ ) – только с одним соседним состоянием.

Алгебраические уравнения предельных вероятностей состояния для такого графа имеют следующий вид:

для состояния  $S_1$

$$\lambda_{12} p_1 = \lambda_{21} p_2,$$

для состояния  $S_2$

$$\lambda_{12} p_1 + \lambda_{32} p_3 = (\lambda_{23} + \lambda_{21}) p_2.$$

Аналогично можно найти

$$\lambda_{k-1,k} p_k = \lambda_{k,r-1} p_k$$

Пользуясь уравнениями приведенными выше можно составить выражение для вычисления предельной вероятности состояния  $p_1$  и уравнение связи для расчета остальных вероятностей:

$$p_1 = [ 1 + \lambda_{12}/\lambda_{21} + (\lambda_{23} \lambda_{12}) / (\lambda_{32} \lambda_{21}) + \dots + (\lambda_{k-1,k} \lambda_{k-2,k-1} \lambda_{12}) / (\lambda_{k,k-1} \lambda_{k-1,k-2} \dots \lambda_{21}) + (\lambda_{n-1,n} \lambda_{12}) / (\lambda_{n,n-1} \lambda_{21}) ]^{-1}$$

$$p_2 = (\lambda_{12} / \lambda_{21}) p_1;$$

$$p_3 = (\lambda_{23} \lambda_{12}) / (\lambda_{32} \lambda_{21}) p_1; \dots$$

$$p_n = (\lambda_{n-1,n} \lambda_{12}) / (\lambda_{n,n-1} \lambda_{21}) p_1$$

В качестве примера рассмотрим линейный тракт ВОЛС который состоит из четырех трактов цифровой системы передачи (ЦСП) уровня STM – 1 (155 мб/с)

Поток отказов простейший, распределен по показательному закону и обладает тремя свойствами:

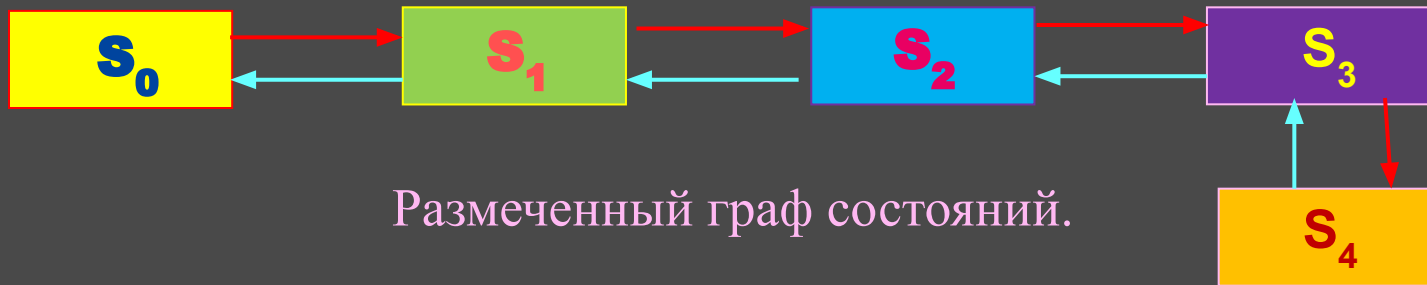
- стационарностью;
- ординарностью (события в потоке происходят по одиночке);
- отсутствием последствия (т.е. число событий, приходящихся на один отрезок времени, не зависят от того, сколько событий попало на другой отрезок времени).

Среднее время безотказной работы каждого тракта равно  $T_{б,ср.}$

Ремонт отказавшего тракта начинается немедленно (это самый дорогой вариант) при этом:

- среднее время ремонта (восстановления) равно  $T_{в,ср.}$ ;
- закон распределения этого времени – показательный;
- поток восстановления – простейший.

Найти среднюю производительность кабельной магистрали, если при четырех работающих трактах она равна 100%, при трех – 80%, при двух - 60%, при одном - 40%, а при выходе из строя всех трактов – магистраль не работает.



Размеченный граф состояний.

Влево систему переводят ремонты (работа СТЭЛСС) трактов. Из состояний  $S_2$ ,  $S_3$  система переводится с интенсивностью  $\lambda_{32} = 3 / T_{в,ср.}$  ( $T_{в,ср.}$  – среднее время восстановления трактов, ремонтируются все три тракта).

Аналогично получаем:  $\lambda_{21} = 2 / T_{в,ср.}$  и  $\lambda_{10} = 2 / T_{в,ср.}$ .

вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях можно определить по выражениям:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= 1 / [1 + 3(T_{в,ср.} / T_{б,ср.}) + 3(T_{в,ср.} / T_{б,ср.})^2 + (T_{в,ср.} / T_{б,ср.})^3]; \\
 P_1 &= 2(T_{в,ср.} / T_{б,ср.}) P_0; \\
 P_2 &= 3(T_{в,ср.} / T_{б,ср.})^2 P_0; \\
 P_3 &= 4(T_{в,ср.} / T_{б,ср.})^3 P_0; \\
 P_4 &= 5(T_{в,ср.} / T_{б,ср.})^4 P_0
 \end{aligned}$$



**Средняя производительность кабельной магистрали в установившемся режиме:**

$$A_{\text{ср.}} = P_0 + 0,8 P_1 + 0,6 P_2 + 0,4 P_3$$

Вычислим значения  $P_i$  и  $A_{\text{ср.}}$  задавшись конкретными цифрами. Положим  $(T_{\text{в,ср.}} / T_{\text{б,ср.}}) = 4 * 10^{-2}$ ,  $T_{\text{в,ср.}} = 10$  ч.

Тогда,

$$P_0 = 1 / (1 + 0,12 + 0,0048 + 0,64 * 10^{-4}) = 0,889;$$

$$P_1 = 0,107;$$

$$P_2 = 4,27 * 10^{-3};$$

$$P_3 = 8,9 * 10^{-7};$$

$$A_{\text{ср.}} = 97,67\%.$$

Эти цифры говорят о том, что в данном примере СТЭЛСС на 98% справляется со своей задачей. Однако встает вопрос – от чего зависят вероятности, приведенные в данном примере, и как это будет выглядеть в других вариантах при значительно более высоких загрузках трактов, особенно ВОЛС и при организации систем WDM.

# ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛСС.

Основной задачей СТЭЛСС является обеспечение бесперебойной работы трактов и каналов связи при заданном количестве и качестве передаваемой информации и минимальных эксплуатационных расходах. Эта задача решается в условиях воздействия на ЛСС различных дестабилизирующих факторов, приводящих к появлению неисправностей, ухудшению качества передаваемой информации, отказом действия связи в части каналов, отдельных трактов или полному прекращению связи на данном участке сети.

Назовем потоки отказов, возникающих в ЛСС, потоками заявок, поступающими в СТЭЛСС. Действительно, поток заявок в СТЭЛСС образуется случайным потоком отказов и неисправностей и характеризуется его интенсивностью  $\lambda$ . Поток является случайным Марковским процессом с непрерывным временем и может быть отнесен к простейшим. Это означает, что данный поток заявок не обладает последствием, является стационарным и ординарным, т.е. вероятность попадания на элементарный участок двух и более событий пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления одного события.

Время восстановления в СТЭЛСС является аналогом времени обслуживания СМО, а производительность СТЭЛСС, равная

$$\mu = 1/T_{в,ср.}$$

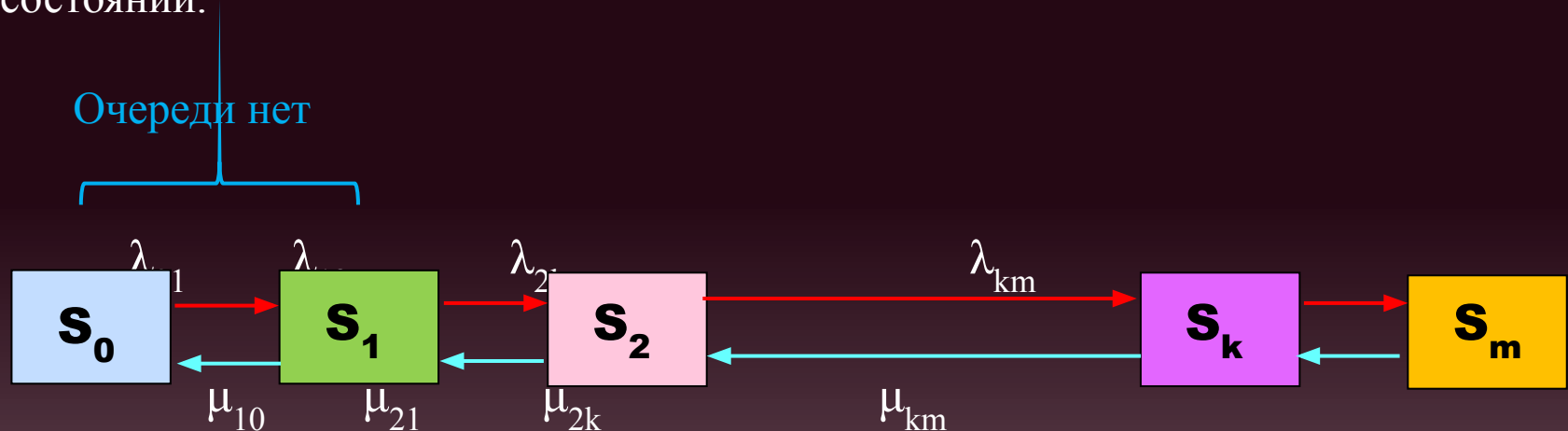
эквивалентна параметру пропускной способности СМО.

Параметрами эффективности таких систем являются:

- среднее время пребывания заявки на обслуживание в очереди – время устранения отказа (неисправности);
- среднее число заявок в очереди;
- среднее число заявок в системе (в очереди и на обслуживании).

Число каналов обслуживания в системе СТЭЛСС зависит от протяженности анализируемой магистрали. В простейшем случае это число равно 1, а в общем случае СТЭЛСС может быть многоканальной.

Одноканальную ( $n=1$ ) СТЭЛСС с интенсивностью потока заявок (отказов)  $\lambda$  и интенсивностью обслуживания  $\mu$  можно представить в виде размеченного графа состояний.



Размеченный граф состояний для одноканальной СТЭЛСС.

Пронумеруем состояние СЭЛСС по числу заявок, находящихся в системе:

- $S_0$  – канал обслуживания свободен;
- $S_1$  – канал обслуживания занят, очереди нет;
- $S_2$  – канал занят, одна заявка стоит в очереди;
- $S_k$  – канал занят,  $k-1$  заявок стоят в очереди;
- $S_{m+1}$  – канал занят,  $m$  заявок стоят в очереди.

Выражения для предельных вероятностных состояний выглядят следующим образом.

$$P_0 = (1 - \rho)/(1 - \rho^{m+2});$$
$$P_1 = P_0\rho; P_2 = P_0\rho^2;$$
$$P_{m+1} = P_0\rho^{m+2},$$

где,  $\rho = \lambda/\mu$  - коэффициент соотношения между интенсивностью потока отказов и производительностью системы обслуживания, равный

$$\rho = \lambda/\mu = T_{в,ср.} / T_{б.,ср.}$$

Заметим, что при  $\rho \ll 1$ , когда  $T_{в,ср.} \ll T_{б.,ср.}$  вероятность образования очереди в СЭЛСС весьма мала.

Рассмотрим в начале наиболее важный для практики случай полных отказов, когда  $\rho \ll 1$ . В этом случае при  $m \gg 1$   $\rho^{m+2} \rightarrow 0$  получим:

$$P_0 = 1 - \rho;$$
$$P_1 = (1 - \rho)/\rho; P_2 = (1 - \rho)/\rho^2;$$
$$P_k = (1 - \rho)/\rho^k,$$

где,  $k$  – номер состояния СТЭЛСС, для которого при заданной погрешности производится расчет значений  $P$ .

Определим среднее число заявок в очереди ( $R_{cp}$ ), умножая число заявок на значение предельной вероятности :

$$R_{cp} = 1P_2 + 2P_3 + \dots + mP_{m4} \approx P_0 \rho^2 (1 + 2\rho + 3\rho^2 + \dots + m\rho^{m-1}).$$

Сумма, стоящая в скобках, представляет собой производную геометрической прогрессии  $\rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots + \rho^m$ , значение которой равно

$$S = (\rho - \rho^{m+1}) / (1 - \rho).$$

После дифференцирования по  $\rho$ , получаем

$$S' = [1 - \rho^m(m+1 - m\rho)] / (1 - \rho)^2 .$$

А

$$R_{cp} = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m(m+1 - m\rho)]}{(1 - \rho)(1 - \rho^{m+2})}$$

Для повреждений с отказом действия связи, когда  $\rho^m \rightarrow 0$

$$R_{cp,отк} = \rho^2 / (1 - \rho)$$

В ряде случаев кроме среднего числа заявок в очереди представляет интерес определение общего числа заявок в системе ( $K_{cp}$ ), которое складывается из заявок в очереди и среднего числа обслуживаемых заявок:

$$K_{cp} = R_{cp} + (\rho - \rho^{m+2}) / (1 - \rho^{m+2}),$$

где,

$(\rho - \rho^{m+2}) / (1 - \rho^{m+2}) = q_{\text{ср.}}$  – среднее число заявок, находящихся на обслуживании;

при  $\rho^{m+2} \rightarrow 0$  получаем  $K_{\text{ср.,отк.}} = R_{\text{ср}} + \rho = \rho / (1 - \rho)$ .

Среднее время ожидания заявки в очереди ( $T_{\text{ср.,ожид.}}$ ) определяется суммой:

$$T_{\text{ср.,ожид.}} = P_1 1/\mu + P_2 2/\mu + \dots + P_m m/\mu,$$

или после выполнения суммирования

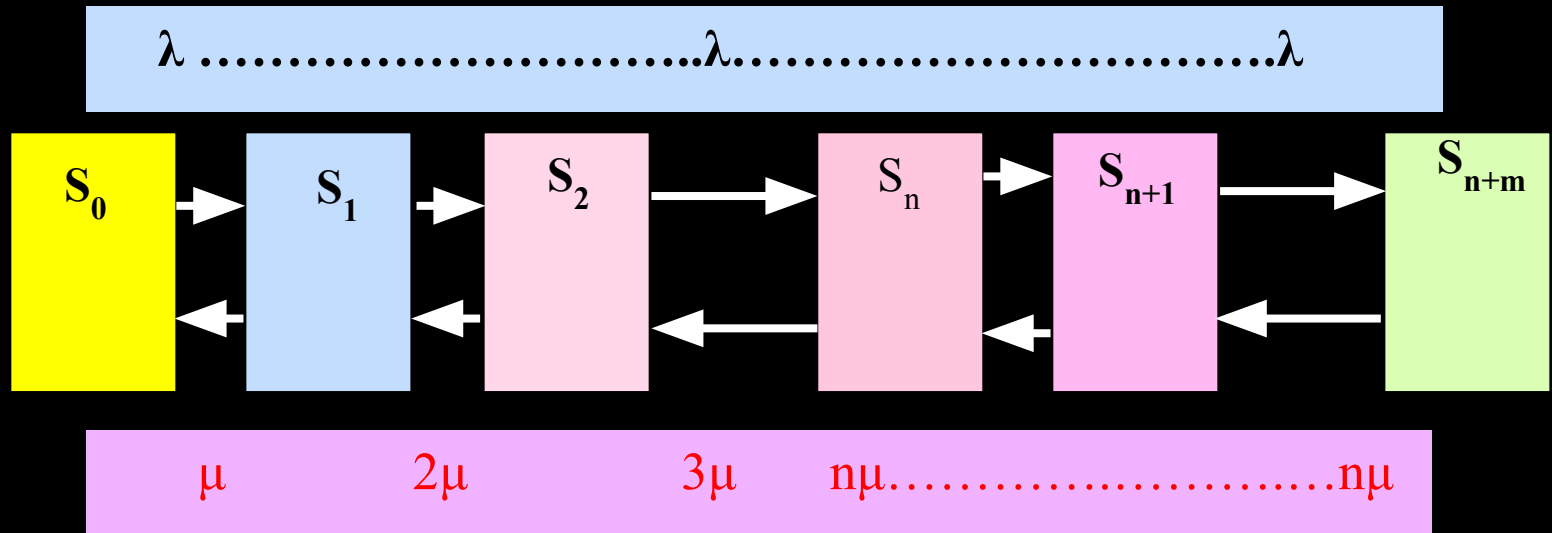
$$T_{\text{ср.,ожид.}} = R_{\text{ср}} / \rho\mu = R_{\text{ср}} / \lambda,$$

Для  $P_m \rightarrow 0$  в результате подстановки в выражения получим следующую формулу:

$$T_{\text{ср.,ожид.отк.}} = \rho^2 / \lambda(1 - \rho) = \rho / \mu(1 - \rho).$$

Среднее время нахождения заявки в системе ( $t_{\text{сист.}}$ ), определяемое временем ожидания и обслуживания,

$$t_{\text{сист.}} = T_{\text{ср.,ожид.}} + 1/\mu = 1/\mu(1 - \rho).$$



## Размеченный граф состояний для многоканальной СЭЛСС.

Рассмотрим СТЭЛСС с  $n$  каналами обслуживания.

Состояние системы, как и в предыдущем случае, нумеруем по числу заявок и занятых каналов:

$S_0$  – все каналы свободны;  $S_1$  – один канал занят;  $S_2$  – два канала заняты;

$S_n$  – заняты  $n$  каналов;  $S_{n+1}$  – заняты  $n$  каналов, одна заявка в очереди;

$S_{n+m}$  – заняты  $n$  каналов,  $m$  заявок в очереди;

$S_{n+m+1}$  – заняты  $n$  каналов,  $m+1$  заявка получила отказ.

Пользуясь схемой гибели и размножения, запишем выражения для расчета предельных вероятностей состояний :

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \rho/1! P_0; \\
 P_2 &= \rho^2/2! P_0; \\
 P_n &= \rho^n/n! P_0; \\
 P_{n+1} &= \rho^{n+1}/n!n P_0; \\
 P_0 &= \left[ 1 + \rho + \rho^2/2! + \dots + \rho^n/n! * \frac{\rho/n - (\rho/n)^{m+1}}{1 - \rho/n} \right]^{-1}
 \end{aligned}$$

где,  $\rho = \lambda/\mu$ .

Вероятность отказа заявки определится значением  $P_{m+n}$ , соответствующим вероятности, что все  $n$  каналов и  $m$  мест в очереди заняты:

$$P_{\text{отк.}} = P_{m+n} = (\rho^{n+m}/n!n^m) P_0.$$

Абсолютная пропускная способность СЭЛСС ( $Q$ )

$$Q = \lambda(1 - P_{\text{отк.}}) = \lambda[1 - (\rho^{n+m}/n!n^m) P_0]$$

Среднее число занятых каналов равно отношению абсолютной пропускной способности СЭЛСС к производительности одного канала ( $Z_{\text{ср.}}$ ):

$$Z_{\text{ср.}} = Q/\mu = \rho [1 - (\rho^{n+m}/n!n^m) P_0]$$



Среднее число заявок в очереди можно вычислить как математическое ожидание дискретной, случайной величины, умножая любое возможное число заявок на вероятность того, что именно это число заявок будет в очереди, и складывая полученные суммы:

$$R_{\text{ср}} = (\rho^{n+1}/n!n)P_0[1-(m+1)q^m + m q^{m+1}]/(1-q)^2,$$

где  $q = \rho/n$ .

Среднее число заявок, находящихся в системе,  $k_{\text{ср.}} = Z_{\text{ср.}} + R_{\text{ср.}}$ .

Значение среднего времени ожидания определяется умножением среднего времени нахождения заявок в  $i$ -том состоянии, где  $i \geq n$  – число каналов, равное  $1/n\mu$ , на соответствующую вероятность: можно выразить через параметр  $q = \rho/n$ :

$$T_{\text{ср.,ожид.}} = (\rho^n/n!n\mu) P_0[1-(m+1)q^m + m q^{m+1}]/(1-q)^2.$$

Математическая модель позволяет оценить эксплуатационные параметры линейного тракта ВОЛС, например, до и после реконструкции выполненной тем или иным способом с точки зрения вероятности безотказной работы и производительности магистрали, используя оценочные значения интенсивности потока отказов оборудования и аппаратуры линейного тракта. При этом можно рассматривать вопрос стоимости проведения реконструкции, обеспечивающей требуемые значения вероятности безотказной работы.

Рассмотрим эффективность одноканальной и многоканальной СЭЛСС.

Пусть имеется условная магистраль протяженностью 1500 км, которая состоит из 15 участков ОРП-ОРП. Каждый из участков, протяженностью 100 км, обслуживается одной группой ремонтных рабочих, устраняющих повреждения как кабеля, так и линейных сооружений, и работающих независимо друг от друга, т.е. участок ОРП-ОРП представляет собой одноканальную СЭЛСС.

Поток повреждений имеет среднее значение интенсивности отказов с перерывом связи на участке ОРП-ОРП:

-  $\lambda = 9,7 * 10^{-6}$  1/час;

- время восстановления  $T_{\text{ср.,в.}}$  = к примеру, для ВОЛС можно положить 16 час.

Определить:

- пропускную способность СЭЛСС;
- среднее число заявок, находящихся в очереди на обслуживание;
- среднее число заявок находящихся в СЭЛСС (включая ремонт);
- среднее время ожидания заявки в очереди; среднее время пребывания заявки в СЭЛСС.

В данном примере определяются статические параметры СЭЛСС, так как  $\lambda \ll \mu$  или  $T_{\text{ср.о}} > T_{\text{ср.,в.}}$ .

Находим производительность СЭЛСС -  $\mu=1/T_{в,ср.}=0,0625$  1/час;

Вычисляем параметр  $\rho$  -  $\rho=\lambda/\mu=1,55*10^{-3}$ ;

Так как  $\rho \ll 1$ , рассчитываем вероятности состояний с погрешностью  $\varepsilon < P_0 * 10^{-6}$  -  $P_0=0,937$ ;  $P_1=6,296*10^{-1}$ ;  $P_2=39,67*10^{-2}$ ;

Пропускную способность СТЭЛСС определяем, полагая  $n=1$ ,  $m=1$  -  $Q=\lambda(1-P_{отк.})=9,7*10^{-1}$ ;

Среднее число заявок, находящихся в очереди подсчитываем по -  $R_{отк.,ср.}=\rho^2/(1-\rho)=3,97*10^{-1}$ ;

Среднее число заявок, находящееся в СТЭЛСС, -  $K_{ср.,отк.}=R_{ср.}+\rho=6,3*10^{-1} \approx 0$ ;

Среднее время ожидания заявки в очереди -  $T_{ср.,ожид.отк.}=\rho/\mu(1-\rho)=4*10^{-2}$  час.;

Среднее время нахождения заявки в СТЭЛСС -  $t_{сис.т.}=1/\mu(1-\rho) \approx 16,5$  час.

Для магистралей ВОЛС значительной протяженности или с использованием технологий WDM, появляются необслуживаемые регенерационные пункты или оптические усилители, эффективность СТЭЛСС одноканального уровня не может, как правило, обеспечить удовлетворительные характеристики по пропускной способности, времени ожидания заявки в очереди и др.

Рассмотрим трехканальную СТЭЛСС. Это означает, что на участке ОРП-ОРП, такой же протяженностью в 100 км, обслуживание производится не одной, как в предыдущем примере, а тремя ремонтными бригадами, действующими самостоятельно и с одинаковой производительностью. Допустимая длина очереди  $m=3$ . Предположим, также, что система СТЭЛСС работает в динамическом режиме, обусловленным внешними факторами, которые приводят к росту числа отказов (сезонные перемещения грунта, активизация грозодеятельности и пр.)

Находим производительность СТЭЛСС, интенсивность потока отказов в динамическом режиме при среднем числе повреждений в этот период – 35, среднее время восстановления связи по постоянным схемам примем равным 54 часа, а также вычисляем параметр  $\rho_d$ :  $\mu_d = 1/T_{в,ср.} = 1,85 \cdot 10^{-2}$  час;  $\lambda_d = 2,35 \cdot 10^{-2}$  1/час;  $\rho_d = \lambda_d / \mu_d = 1,27$ .

Параметр  $\rho_d > 1$ , следовательно процесс не является сходящимся, т.е. в течение данного отрезка времени число заявок в очереди СТЭЛСС возрастает.

Вычисляем параметр  $q = \rho/n - q = 0,423$ .

Находим предельные вероятности –  $P_{0д} \approx 0,3$ .

Вероятность отказа –  $P_{отк} = 1,8 * 10^{-2}$ .

Абсолютная пропускная способность СЭЛСС получится равной -  
 $Q = \lambda(1 - P_{отк}) = 2,35 * 10^{-2}$  1/час.

Среднее число заявок в очереди  $R_{ср} = (\rho^{n+1}/n!n)P_0[1 - (m+1)q^{m+m}q^{m+1}]/(1-q)^2 \approx 8,3 * 10^{-2}$ .

Среднее число заявок, находящихся в СЭЛСС, -  $k_{ср} = Z_{ср} + R_{ср} = 1,351$

Среднее время ожидания  $T_{ср.,ожид.} = (\rho^n/n!n\mu) P_0[1 - (m+1)q^{m+m}q^{m+1}]/(1-q)^2 = 3,46$  час.

Среднее время пребывания заявки в системе  $t_{сист.д.} = T_{ср.,ожид.} + T_{ср.в.} \approx 58$  час.

Сравнение полученных результатов показывает, что эффективность работы СТЭЛСС с увеличением числа каналов обслуживания в системе (ремонтных и эксплуатационных) существенно возрастает.

Однако увеличение числа каналов связано напрямую с увеличением эксплуатационных расходов. Поэтому на практике число каналов обслуживания, определяемое, в конечном счете, численностью эксплуатационного персонала, должно согласовываться со степенью повышения эффективности работы СТЭЛСС.

# ОРГАНИЗАЦИЯ СТЭ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕКОНСТРУКЦИИ

Рассматриваются три основных варианта проведения реконструкции:

- организация более мощных цифровых систем передачи по существующим металлическим кабельным линиям связи;
- построение составных линейных трактов путем введения волоконно-оптических линий;
- строительство новых волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), как правило, параллельно существующим трассам металлического кабеля.

Одним из основных критериев выбора того или иного способа проведения реконструкции является с одной стороны возрастание трафика на данном направлении, а с другой – какими средствами это достигается.

**Как следует из рассмотренной выше математической модели эффективность мероприятий по реконструкции возрастает по всем показателям когда в результате реализации проекта достигается уменьшение интенсивности потока отказов -  $\lambda$  и увеличение параметра -  $\mu=1/T_{в,ср.}$ .**

Рассматривая возможные варианты проведения реконструкции можно выделить три основных момента:

- при организации трактов ЦСП по существующим металлическим кабелям длина участков регенерации существенно сокращается по сравнению с длиной усилительного участка, появляется много дополнительного активного оборудования (линейные регенераторы) и, соответственно, растут эксплуатационные расходы;
- построение составных линейных трактов, позволяет на отдельных участках магистрали сократить количество активного оборудования, что, естественно, приводит к повышению эффективности СТЭЛСС;
- строительство новых ВОЛС позволяет полностью отказаться от промежуточных необслуживаемых пунктов, что при высокой надежности самого оптического кабеля позволяет сократить затраты на эксплуатацию линейного тракта.

Однако в этом случае, затраты на оптический кабель и строительство могут быть существенно выше, чем в первом случае.

# Эксплуатационные бригады – их формирование, квалификация и оснащение.



На этапе проектирования и строительства как магистральных участков цифровой сети связи Федерального значения, так и внутризоновых или региональных ВОЛС предполагается создать два типа эксплуатационных участков (бригад):



- базовая эксплуатационная бригада, обеспечивающая взаимодействие со структурами служб оперативного управления (СОУ) сети связи магистрального уровня, должна создаваться при каждом региональном операторе;

- линейные эксплуатационные бригады регионального (зонового) оператора.

Базовая бригада от линейной отличается составом оборудования и транспортных средств.

Основными задачами данных подразделений, осуществляющих техническую эксплуатацию линейно-кабельных сооружений и промежуточных мультиплексов ввода-вывода или регенераторов в пределах установленного участка, являются:

- обеспечение надежной и высококачественной работы обслуживаемых сооружений и оборудования;

- содержание линейных сооружений и оборудования в соответствии с техническими нормами и требованиями;

- своевременное и высококачественное проведение работ по ремонту и повышению надежности линейных сооружений;

- проведение работ по обеспечению сохранности линейно-кабельных сооружений (ЛКС);

- обеспечение выполнения действующих положений, правил, руководств, инструкций, приказов и директивных указаний по вопросам технической эксплуатации линейных сооружений и сетевого оборудования;

- проведение работ по сбору статистических данных о состоянии ЛКС;

- ведение производственной деятельности и статистической отчетности в соответствии с утвержденными отраслевыми или ведомственными нормами и инструкциями.

Базовые бригады оснащаются более сложной измерительной техникой, комплектуются высококвалифицированными специалистами и, в перспективе, по завершении строительства, трансформируются в производственные лаборатории региональных операторов.

### **Штат эксплуатационных участков (бригад).**

В зависимости от масштабов зон обслуживания и от технической оснащенности участка обслуживания средствами связи состав бригад по обслуживанию ВОЛС может меняться. Оптимальной можно считать бригаду из 5 человек, при ее оснащении легковым автомобилем с прицепом или УАЗ-452 в следующем составе:

- начальник участка эксплуатации ВОЛС - 1 чел.;
- инженер-измеритель ВОК - 1 чел.;
- электромеханик линейно-кабельного оборудования - 1 чел.;
- инженер-измеритель PDH, SDH - 1 чел.;
- электромеханик сетевого оборудования - 1 чел.

Каждый из членов бригады должен уметь выполнять элементарные операции по измерениям ВОК и оборудования PDH, SDH, а также по сращиванию и монтажу ВОК.

**Обязательным условием является наличие прав на управление автомобилем не менее чем у трех человек.**

При оснащении бригады грузовым автомобилем или автомотрисой в состав бригады включается водитель и его дублер.

Штат базовых бригад определяется в зависимости от конкретных объемов строительства ВОЛС и не может составлять менее 5 человек (по аналогии с линейной бригадой).

В заключении, СТЭЛСС должна создаваться на единых принципах и, развиваясь далее, сохранять организационно-техническое единство, отвечать международным нормам, обеспечивать высокие параметры качества и надежности связи и быть адаптированной к любым структурным изменениям управления, а также требованиям потребителей услуг цифровой телекоммуникационной сети, выполнять задачи, возникающие в связи с развитием и построением мультисервисных сетей.

Прежде всего, это новое активное оборудование, – интернет, цифровое ТВ вещание, мультимедийные опции и пр., которое требует от кабельной техники все большей и большей полосы частот.

Основной целью СТЭЛСС должна быть минимизация как случаев возникновения, так и влияния отказов, с тем, чтобы, в случае отказа, подготовленный персонал мог быть направлен на выявленное место аварии с необходимым оборудованием, имея достоверную информацию для проведения конкретной работы в установленные сроки.

Конечной целью СТЭЛСС должна быть минимизация общих затрат на содержание сети в течении всего срока ее эксплуатации, складывающихся из капитальных затрат, затрат на использование по назначению, затрат на техническую эксплуатацию и потерь доходов за счет перерывов трафика.