Аппаратная надежность ИС

Отказ - событие, заключающееся в том, что система полностью или частично теряет свойство работоспособности

Аппаратный отказ - событие, при котором изделие утрачивает работоспособность и для его восстановления требуется проведение ремонта аппаратуры или замена отказавшего изделия на работоспособное

Основные типы отказов

Внезапный отказ. Причина - скрытые дефекты производства РЭС

Постепенный отказ. Возникает в результате износа и старения материалов

Основные характеристики надежности РЭС

- **Вероятность безотказной работы РЭС, P(t)** - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникает (наработка - это продолжительность или объем работы):

$$P(t) = P(T > t)\,, \qquad (1)$$

где **T** - случайное время работы объекта до отказа; **t** - заданная наработка.

- **Вероятность отказа, Q(t)** - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта возникает:

$$Q(t) = 1 - P(t)\,, \qquad (2)$$

- ***Интенсивность отказов,*** **λ(t)** - условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта; показывает, <u>какая часть элементов выходит из строя в единицу времени по отношению к среднему числу исправно работающих элементов</u>

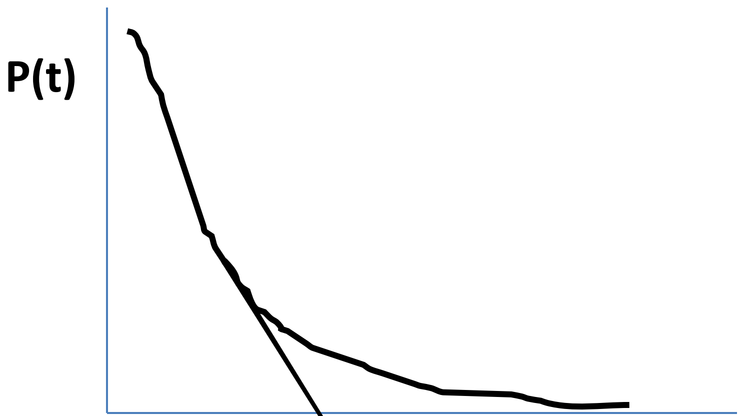
$$\lambda(t) = - [\, d\,P(t)/dt\,] \,/\, P(t) \qquad (3)$$

Справедливо также

$$P(t) = \exp\left[- \int \lambda(\bar{\imath})\, d\,\bar{\imath} \right] \qquad (4)$$

В частном случае, когда **$\lambda(t) = const$**, *(4) представляет собой* экспоненциальный закон надежности.

По этому закону вероятность безотказной работы элементов (РЭС), обладающих интенсивностью отказов **λ**, убывает со временем по экспоненциальной кривой.



Такую кривую называют **функцией надежности**.

Позволяет определять, <u>с какой вероятностью РЭС или ИС способна выполнить задание, требующее определенной продолжительности безотказной работы</u>.

- **Средняя наработка до отказа, t_0**

(см соотнош (1) предыд лекции)

Если **λ *(t)*** *равна постоянной величине, то* **$t_0 = 1/\lambda$**

или **$\lambda = 1/t_0$** - <u>среднее число отказов в единицу времени</u>.

Тогда

$$P(t) = \exp(-\lambda(t)) \qquad (5)$$

Таким образом, для <u>нормального периода эксплуатации системы интенсивность отказов остается постоянной и справедлива показательная модель надежности</u>, <u>время безотказной работы имеет экспоненциальный закон распределения</u>.

Если ИС состоит из *n элементов, находящихся в нормальной эксплуатации и работающих в одинаковых условиях, и в ней за время t наблюдалось m отказов, то* **параметр потока отказов** *будет составлять:*

- **Достоверность функционирования ИС** - *это свойство производить безошибочно преобразование, хранение и передачу информации.*

Показатели достоверности - либо <u>вероятность искажения</u>, либо <u>потери информации в одном знаке</u>.

Примеры количественной оценки достоверности :

- <u>вероятность ошибки при передаче данных</u> по линиям связи составляет 10^{-3} - 10^{-5} на один знак;
- <u>вероятность ошибки при хранении информации</u> на машинном носителе составляет ок. 10^{-6}; в ОЗУ – ок. 10^{-8} - 10^{-12}
- <u>вероятность ошибки в выходных данных</u> ИС специального назначения не должна превышать 10^{-10} - 10^{-12} на один знак.
- **Функциональная надежность ИС** - *вероятность того, что ИС будет выполнять свои функции в течение заданного времени при наличии в системе <u>дополнительных схем контроля (нп., корректир. кодов)</u>.*

Надежность сложных ИС

- Сложные ИС состоят из более простых элементов.
- В зависимости от характера влияния надежности элементов на надежность ИС различают два типа соединений элементов - *последовательное* и *параллельное*.
- ***Последовательное*** - *отказ любого элемента приводит к отказу системы в целом.*
- ***Параллельное*** - *отказ системы наступает только при отказе всех ее элементов (отказ не наступает, если работоспособен хотя бы один элемент).*

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

- Пусть ИС состоит из n *элементов, каждый из которых имеет определенные характеристики надежности:* $P_i(t)$, $Q_i(t)$, $\lambda_i(t)$, $t_{0\,i}$
- *Аналогичные показатели надежности всей ИС обозначим* через $P(t)$, $Q(t)$, $\lambda(t)$, t_0,
- *Можно получить следующие расчетные зависимости:*

вероятность безотказной работы ИС:

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots P_n(t) = \prod (P_i(t)) \qquad (7)$$

вероятность отказа системы :

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \prod (P_i(t)) = 1 - \prod [1-(Q_i(t)] \qquad (8)$$

интенсивность отказов системы:

$$\lambda(t) = \sum \lambda_i(t) \qquad (9)$$

При $\lambda(t) = const = \lambda$ имеем $\lambda = \sum \lambda_i$

(10)

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Из определения параллельного соединения элементов вероятность отказа системы равна:

$$Q(t) = Q_1(t) * Q_2(t) * \ldots * Q_n(t) = \Pi\, Q_i(t)$$

(11)

вероятность безотказной работы системы:

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \Pi\, Q_i(t) = 1 - [1 - P_i(t)]^n \approx 1 - (\lambda * t)^n$$

(12)

При $\lambda(t) = const = \lambda$ имеем

среднюю наработку до отказа:

$$t_0 = (1/\lambda) \sum (1/i) \qquad (13)$$

Эти выражения позволяют сделать вывод о том, что **при параллельном соединении элементов надежность системы выше, чем надежность составляющих ее элементов, а при последовательном – наоборот**

Пример 1. Система состоит из *n параллельно соединенных равнонадежных подсистем, вероятность безотказной работы каждой из которых* $P_i(t) = exp(- \lambda * t) = 0.9$.

Определить нужную кратность резервирования, чтобы вероятность безотказной работы системы была не ниже *P=0,99.*

Решение. На основе (12): $P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \Pi Q_i(t) = 1 - \Pi [1-P_i(t)] =$

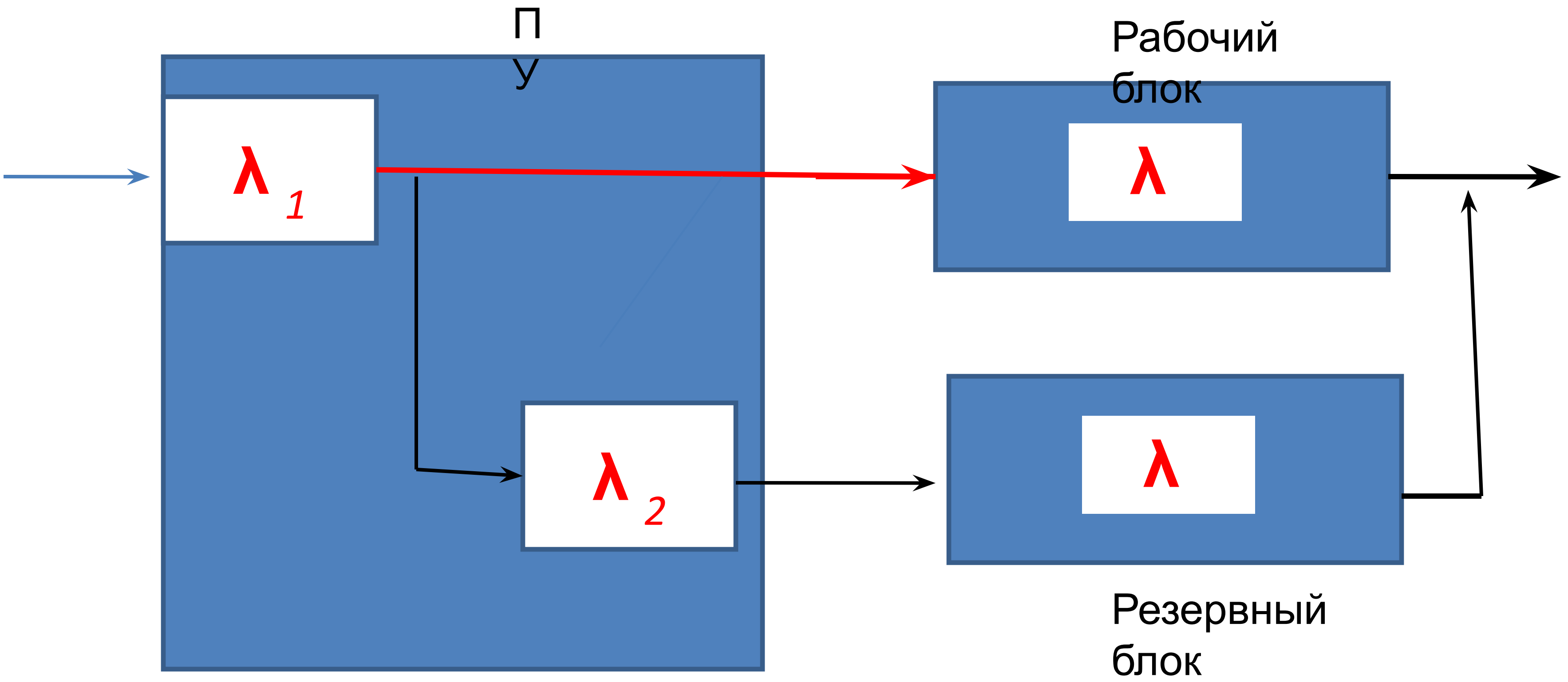
$= 1 - [1-P_i(t)]^n$

С учетом условия $1 - [1-P_i(t)]^n \geq 0.99$ откуда $1 - 0.1^n \geq 0.99$ или $0.01 \geq 0.1^n$ откуда $n \geq log_{0.1} 0.01$ и $n \geq 2$.

Пример 2. ИС состоит из рабочего блока, блока, находящегося в нагруженном резерве и автоматического переключающего устройства (ПУ). Интенсивность отказов каждого блока $\lambda = 10^{-2}$ *1/ч. Отказы ПУ могут быть двух видов: а) приводящие к нарушению работы всей ИС, с интенсивностью* $\lambda_1 = 10^{-4}$ *1/ч; б) приводящие к невозможности подключения резервного блока, с интенсивностью* $\lambda_2 = 10^{-2}$ *1/ч.*

Требуется определить вероятность безотказной работы устройства в течение наработки t=2 ч.

Решение. Составим логическую схему работоспособности устройства



Смешанное соед. элементов: последовательно-параллельное.

Система работает в ситуациях: 1. работает все

2. а) работает цепь $\lambda_1 - \lambda$ либо

б) работает цепь $\lambda_1 - \lambda_2 - \lambda$

1. $P(t) = e^{-\lambda 1\ t}\{1 - [1 - e^{-\lambda t}] * [1 - e^{-(\lambda 2+ \lambda)t}]\} =$ (с учетом (12))

$= (1- \lambda_1 t) * \{1-[1 – 1 + \lambda t] *[1-1 + (\lambda_2 +\lambda) t] =$

$= (1 - \lambda_1 t) * [1 - \lambda t (\lambda_2 +\lambda) t] = (1 - \lambda_1 t) * [1 - \lambda (\lambda_2 +\lambda)\ t^2]$

Подставляем числовые значения в последнее соотношение:

$P(t) = (1- 2*10^{-4}) * (1 – 10^{-2}(2*10^{-2}) * 4) = 0.999$

2.

$P(t) = P_a(t) + P_б(t)$

…….

Статистические методы исследований надежности

- Отказы изделий принадлежат к категории случайных событий

Случайное событие - это событие, которое может появиться или не появиться в результате данного опыта.

Вероятность случайного события - это количественная характеристика случайного события.

Случайные события, следующие одно за другим в некоторой последовательности, образуют **поток случайных событий**.

Простейший поток – ***пуассоновский****: его* параметры не меняются во времени.

Закон распределения случайной величины - соотношение между значениями случайной величины и их вероятностями.

<u>Закон Пуассона</u>. *Вероятность того, что на интервале времени* ***0..t*** *произойдет* ***n*** *случайных событий (отказов)*

Закон Пуассона. *Вероятность того, что на интервале времени* ***0..t*** *произойдет* ***n*** *случайных событий (отказов) определяется формулой*

$$P_n(t) = (\lambda t)^n * \exp(-\lambda t)/n! \qquad (14)$$

λt – среднее число отказов в период 0… t

- Время между двумя соседними событиями (отказами) подчиняется экспоненциальному распределению с параметром **λ**, т.е. вероятность того, что на участке времени **τ** , следующего за одним из отказов, не появится ни одного отказа, равна:

$$P(t) = exp\,(-\lambda\tau)\ . \qquad (15)$$

Пример 3. *Определить вероятность того, что за время t = 100 ч произой*дет 0-2 отказа, если λ = 0,025 1/ч.

Решение 1) Среднее число отказов за время $t : a = \lambda t = 2{,}5$.

2) Вероятность отсутствия отказов $P_0(100) = exp(-2{,}5) = 0{,}082$.

3) Вероятность одного отказа: $P_1(100) = ((2.5)^1/1)\ exp(-2{,}5) = 0{,}205$

4) Вероятность двух отказов: $P_2(100) = ((2.5)^2/2)\ exp(-2{,}5) = 0{,}256$.

Распределение Вейбулла. Модель распределения случайной величины, предложенная шведским ученым Вейбуллом.

Вероятность безотказной работы ИС за время **t**:

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t^{\alpha}) \quad , \tag{16}$$

где λ_0 ,α - параметры закона распределения

Функция плотности распределения времени до отказа:

$$f(t) = dP(t)/dt = \lambda_0 \alpha t^{(\alpha-1)} \exp(-\lambda_0 t^{\alpha}) \tag{17}$$

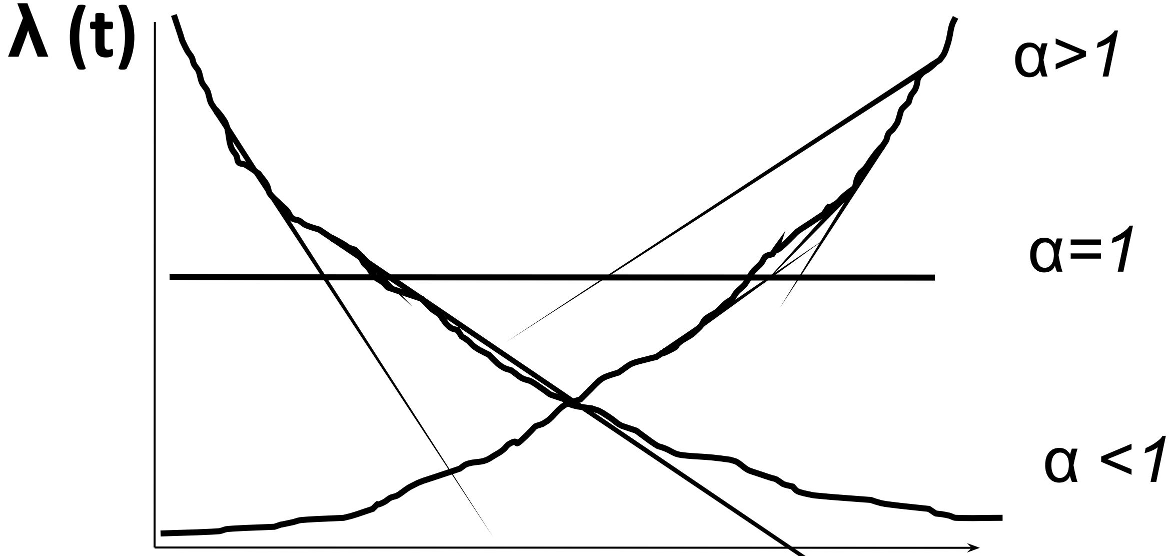
Интенсивность отказов:

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \lambda_0 \alpha t^{(\alpha-1)} \tag{18}$$

Если $\alpha = 1$, то распределение Вейбулла совпадает с экспоненциальным распределением, для которого $\lambda = \lambda_0$.

Если $\alpha < 1$, интенсивность отказов – монотонно убывающая функция;

при $\alpha > 1$ интенсивность отказов - монотонно возрастающая функция



Обычно применяют значение **α = 0,2 ÷ 0,4** для электронных устройств с убывающей функцией интенсивности отказов и

α = 1,2 ÷1,4 - для механических устройств с возрастающей функцией интенсивности отказов

Пример 4. *Пусть вероятность безотказной работы ВС за время* ***t* =1000** ч составляет ***P(1000) = 0,99*** . *Составить прогноз вероятности безотказной работы этой* же системы через **100000 ч** работы без обслуживания по экспоненциальной модели и модели Вейбулла

Решение. 1. В случае выбора экспоненциальной модели на основе (15) запишем: $P(1000) = \exp(-\lambda \cdot 10^3)$, *откуда определим* интенсивность отказов ВС: $0{,}99 = \exp(-\lambda \cdot 10^3)$;

Пролагарифмируем обе части: $\ln 0{,}99 = \ln(\exp(-\lambda \cdot 10^3))$;

Откуда находим:

$$\lambda = \ln 0{,}99 / 10^3 \approx 10^{-5}\ 1/ч$$

Прогнозируемая вероятность безотказной работы через 10^5 часов (на основе (15)):

$$P(10^5) = \exp(-10^{-5} \cdot 10^5) = \exp(-1) = 0.37$$

2. <u>В случае выбора модели Вейбулла</u> примем **$\alpha = 0.5$** на основе (16) :

$$P\,(1000) = \exp\,(-\lambda_0\,(1000)^{1/2}) = \exp\,(-\lambda_0 * 31.62)$$

Прологарифмировав обе части, получим

$$\lambda_0 = \ln 0{,}99 / 31.62 = 0.000318$$

Прогнозируемая вероятность безотказной работы через 10^5 ч:

$$P\,(10^5) = \exp\,(-\,0.000318 * (10^5)^{1/2}) = 0{,}904$$

Следовательно, прогнозируемые показатели надежности работы объекта зависят от <u>правильно</u> выбранной модели.

Выбор модели надежности – сложная научно-техническая задача. Она <u>решается</u> <u>методами математической статистики</u>, если имеется большой статистический материал об отказах исследуемой системы.

В случае приближенных оценок <u>выбирается</u> экспоненциальная модель

Марковский процесс

Марковский процесс - для каждого момента времени вероятность любого состояния объекта в будущем зависит только от состояния объекта в данный момент

Необходимое условие - экспоненциальное распределение времени работы до отказа и времени восстановления работоспособности.

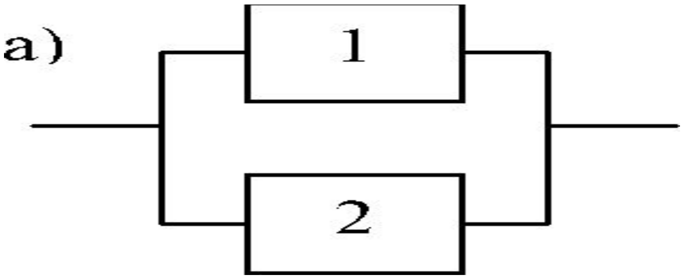
Важнейшая числовая характеристика - вероятность перехода объекта в то или иное состояние за заданный промежуток времени.

На основе этого определяется вероятность каждого состояния объекта

Уравнения для определения вероятностей каждого из состояний марковского процесса в рассматриваемом объекте записываются на основе графа состояний объекта

Пример 5. Имеем РЭС, состоящее из 2-х соединенных параллельно
блоков (элементов).

а)



- Пусть объект может находиться в состояниях 0, 1 и 2
- Состояние 0 - <u>оба элемента работоспособны</u>; состояние 1 - <u>один из элементов находится в отказовом состоянии</u>; состояние 2- <u>оба элемента находятся в отказе</u>.
- Из ***i-го*** состояния в ***j-е*** объект переходит с постоянной интенсивностью λ_{ij} , обратно - с постоянной интенсивностью μ_{ji} .

б)

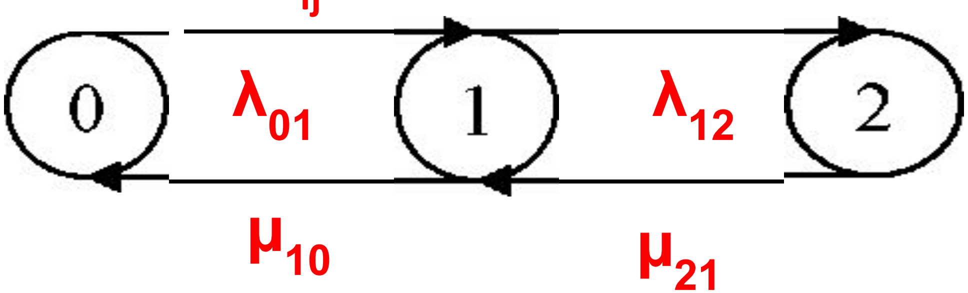


Схема резервированного объекта (а) и граф его состояний (б).

Уравнения для определения вероятностей каждого из состояний объекта (дифференциальные уравнения А.Н. Колмогорова):

$$dP_0/dt = -\lambda_{01} P_0(t) + \mu_{10} P_1(t)$$

$$(19) \quad dP_1/dt = -(\lambda_{12} + \mu_{10})P_1(t) + \lambda_{01} P_0(t) + \mu_{21} P_2(t)$$

$$dP_2/dt = -\mu_{21} P_2(t) + \lambda_{12} P_1(t)$$

В практике расчетов надежности систему уравнений Колмогорова можно получить непосредственно по виду графа состояний объекта, если пользоваться следующими правилами:

1. **для каждого из возможных состояний объекта записывается уравнение, в левой части которого dP_t / dt, а в правой - столько слагаемых, сколько стрелок графа соприкасаются с данным состоянием**;
2. **если стрелка направлена в данное состояние, то перед слагаемым ставится знак плюс, если стрелка направлена из данного состояния - знак минус**;

3. **каждое слагаемое равно произведению интенсивности перехода из данного состояния (либо в данное состояние) на <u>вероятность состояния, из которого выходит стрелка.</u>**

Решение системы (19) можно получить по известным правилам решения системы ДУ.

Если учесть, что рассматривается стационарный марковский процесс, для которого $dP_t(t) = 0$ (<u>вероятности состояний не меняются с течением времени</u>), то (19) перепишем так:

$$0 = -\lambda_{01} P_0 + \mu_{10} P_1$$

$$(20) \quad 0 = -(\lambda_{12} + \mu_{10})P_1 + \lambda_{01} P_0 + \mu_{21} P_2$$

$$0 = -\mu_{21} P_2 + \lambda_{12} P_1$$

а также

$$(21) \quad 1 = P_0 + P_1 + P_2$$

где последнее уравнение **P = 1** называется нормировочным условием