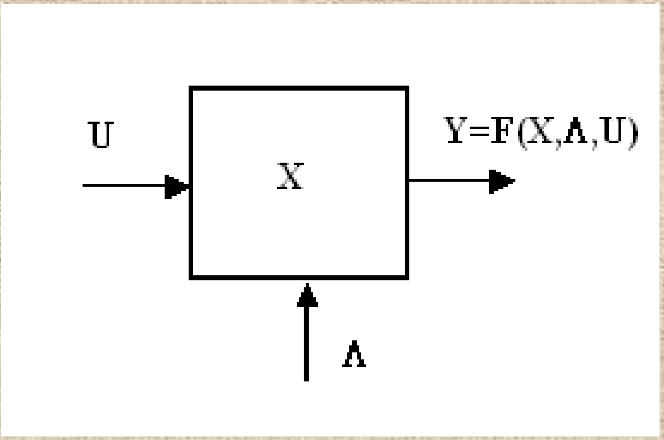
ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ИНТЕРАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

В.П. Хранилов, д.т.н., профессор

Нижегородский государственный технический университет
Институт радиоэлектроники и информационных технологий
Кафедра Компьютерные технологии в проектировании и производстве

E-mail: hranilov@nntu.nnov.ru

Возможности управления ресурсами технических систем при проектировании



Модель объекта управления

Единица продукции – система **Y = F (X,Λ,U),** состоящая из элементов $m_i \in$ **M;**

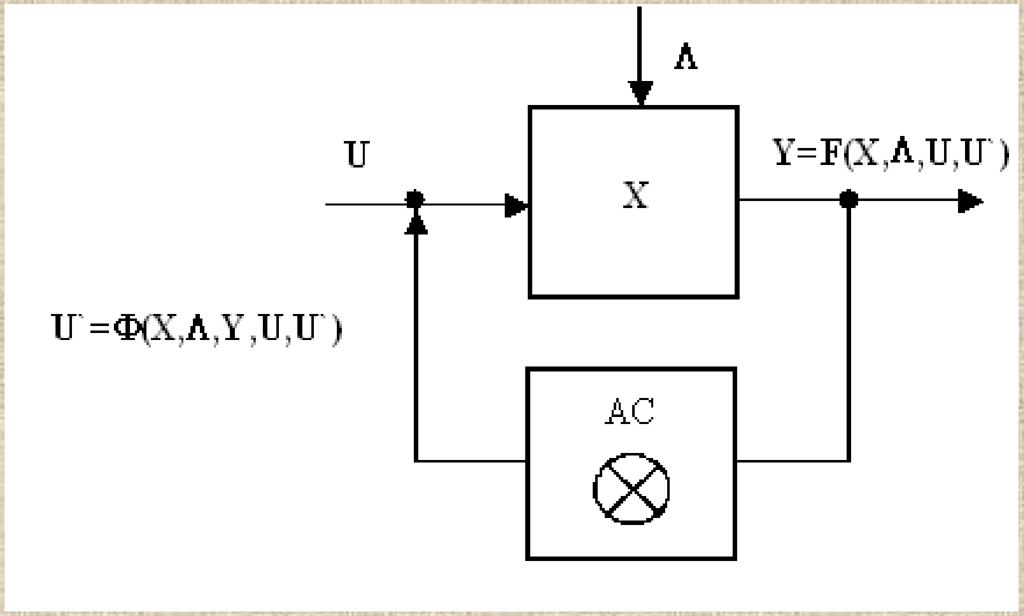
Технологический процесс – интерактивный виртуальный «прогон» системы в процессе опытной или имитационной эксплуатации;

Ресурсы – множество состояний системы (**X⊂P,M**), формализованные оценки качества элементов (параметры **P**) и системы(интегральные показатели **Y**);

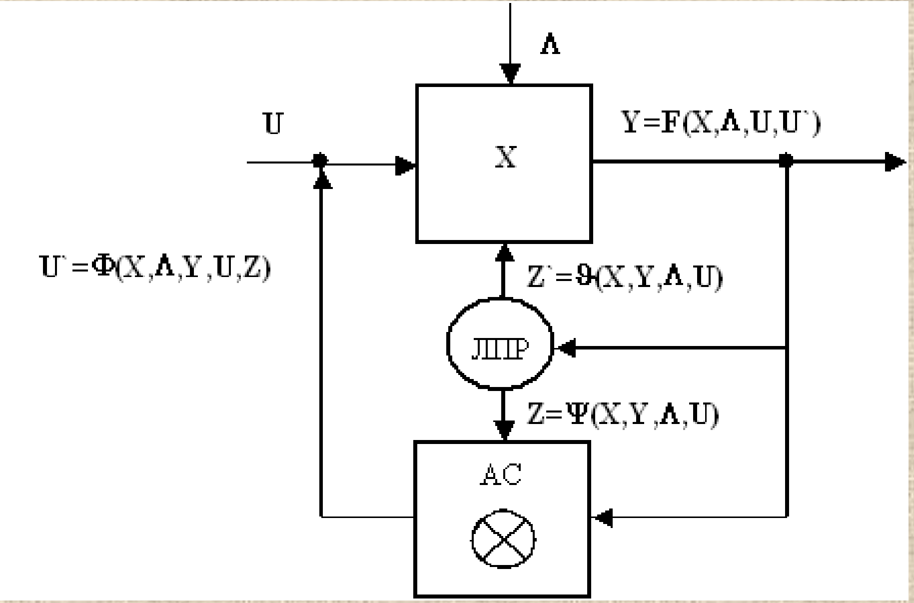
Ограничения на запасы ресурсов – определяются неравенствами, задающими условия разрешения или запрета на использование элементов в составе системы:

оценки требуемых достаточных ресурсов элементов $\mathbf{D_x \in P}$, системы $\mathbf{\Gamma \in Y}$, входных воздействий $\mathbf{\Omega \in U}$, внешних воздействий $\mathbf{D_\Lambda \in \Lambda}$.

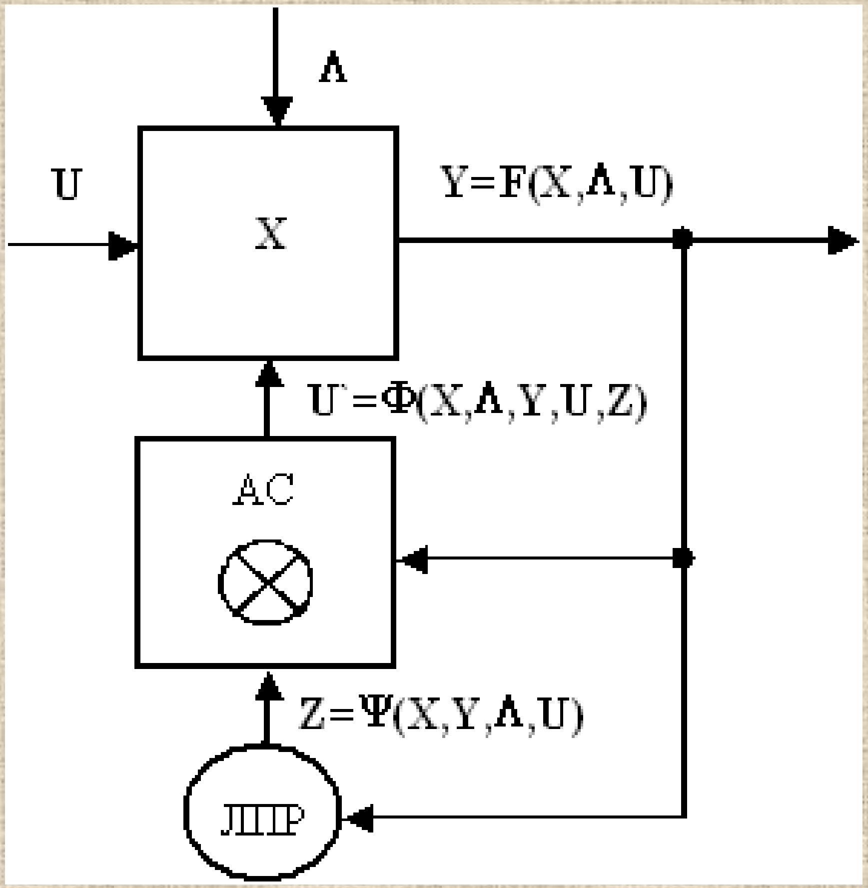
проектирование → распределение ресурсов



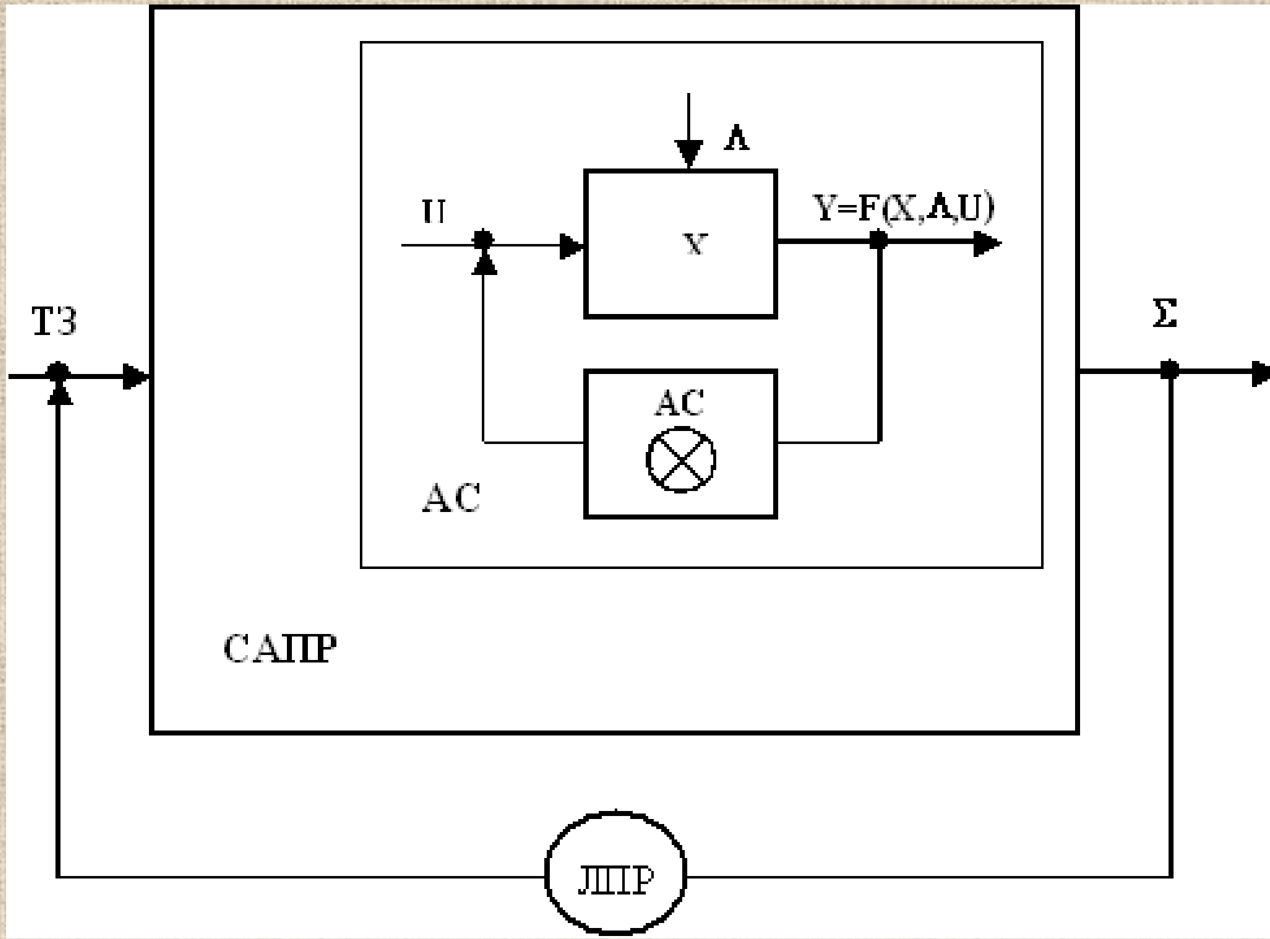
Модель прямого автоматического управления ресурсами



Модель прямого интерактивного (автоматизированного) управления ресурсами



Модель разомкнутого (программного) интерактивного управления ресурсами



Модель виртуального интерактивного управления ресурсами системы при автоматизированном проектировании

$\mathbf{\Sigma} = \{\boldsymbol{T}, \mathbf{X}, \boldsymbol{U}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{Y}, \mathbf{\Gamma}, \boldsymbol{\Phi}, \boldsymbol{H}\}$ – динамическая система по Р. Калману,

где составляющие множества: ***T*** – отсчеты времени; **X** – состояния системы**;** ***U*** – мгновенные значения входных воздействий; **Ω** – допустимые входные воздействия; **Y** – мгновенные значений выходных воздействий; **Г**–допустимых выходных воздействий; ***Ф***– оператор связи между переменными внутри **X;** ***H***– оператор переходов **X**→**Y**.

Идентификация ДМ в пространстве состояний (ПС)

Если ядро ДМ – диф. уравнение

$$\mathbf{Y} = \mathbf{F}(\boldsymbol{T}, \mathbf{X}, \boldsymbol{U}, \boldsymbol{\Omega}, \mathbf{Y}, \boldsymbol{\Gamma}, \boldsymbol{\Phi}, \boldsymbol{H})$$

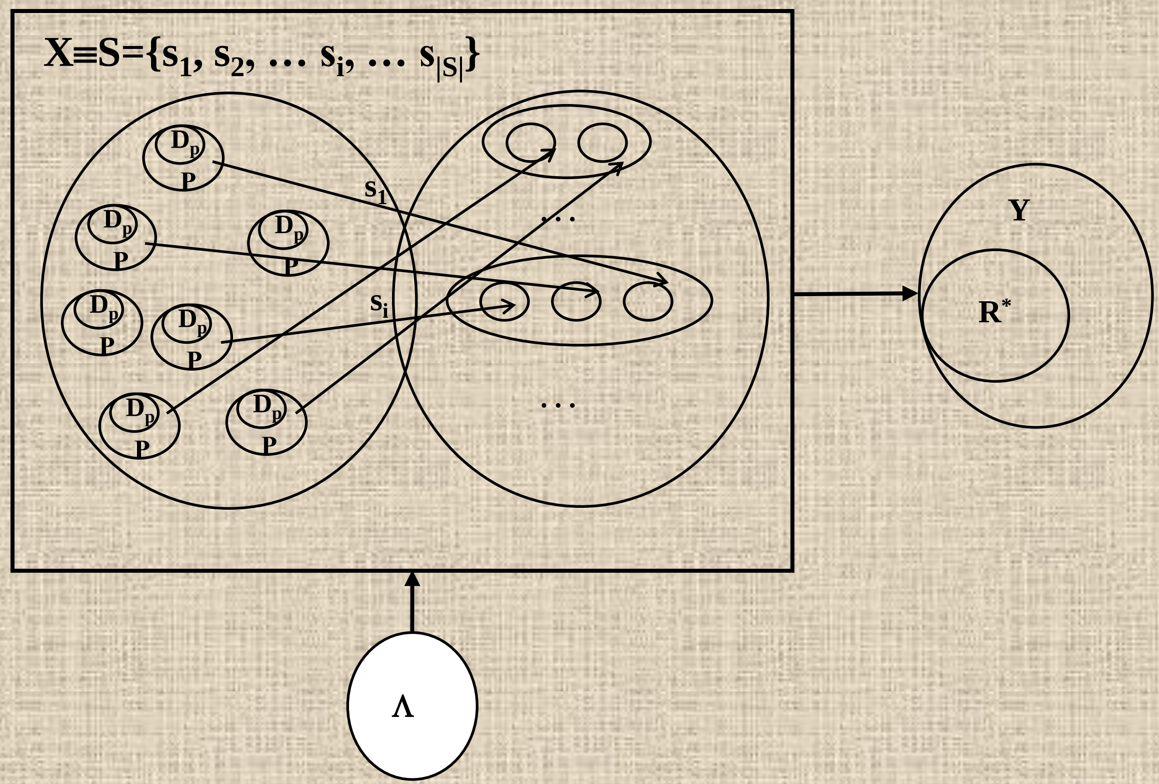
ПС $\Rightarrow$ множество фазовых состояний (**X**), задаваемых с учётом:

- заданной дискретности отсчётов времени $t_0, t_1, t_2, \ldots, t_{n\text{-}1}+\Delta t=t_n$;
- закона эволюции – ***H***, ***Ф***, отображающего любую точку фазового пространства при любом отсчёте времени в однозначно определённое состояние системы.

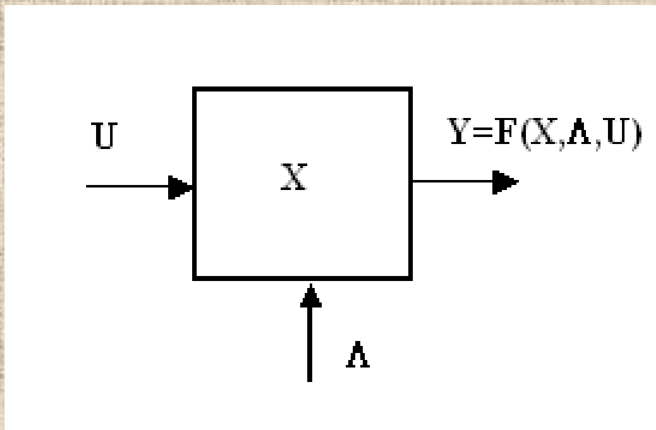
Представление ПС в графической интерпретации имеет ***решающее значение*** при реализации в инженерных приложениях, связанных с задачами анализа, синтеза и оптимизации ИС, позволило получить хорошие результаты в самых разнообразных предметных областях.

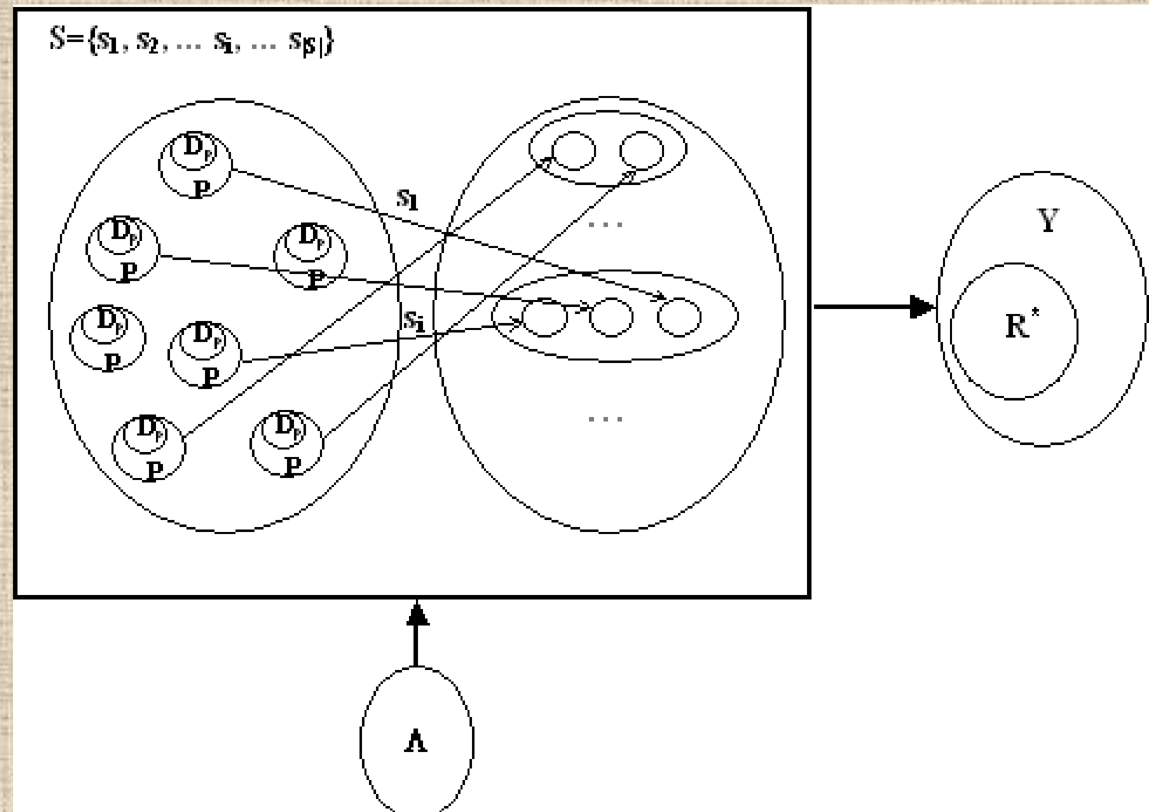
Интерес представляют работы К.А.Пупкова, Е.М.Воронова, К.Г.Кирьянова, В.В.Крылова, Е.В.Никульчева, А.И.Дивеева.

Определение ПС ДМ для задач АУ в трактовке Р. Калмана, развитого для дискретной постановки, позволяет обобщить его применение при построении ДМ интерактивного управления ресурсами ТС при их проектировании.



Множество дискретных состояний **X** (множество вариантов схемы устройства с фиксированными наборами элементов) ≡ **S**={s_0, s_1, s_2 … s_n}. Объясняется наличием множества решений, вызванного: вариациями структуры и параметров элементов АС в процессе структурного и параметрического синтеза, изменением вектора внешних воздействий **Λ**, а также определяемое наличием интерактивного управления со стороны человека-оператора.





Динамическая модель технической системы

<u>Соответствие множеств:</u>

$\mathbf{X \rightarrow S}$; $\mathbf{S=\{s_1,s_2,\dots s_{\mathit{n}}\}}$;

При вводе вектора **P :**

$\boldsymbol{U}$,**P** $\rightarrow$ S; $\mathbf{\Omega} \rightarrow \mathbf{\Omega}$, $\mathbf{D_P}$;

$\Gamma \rightarrow \mathbf{R^*}$

***H*: S→Y** выражается соответствием

q= (**S**,**Y**, ***H***) при воздействии Λ.

$\mathbf{S(\mathit{t}_{\mathit{i}+1}) = \boldsymbol{\Phi}(\, S(\mathit{t}_{\mathit{i}}), \boldsymbol{U}, \Omega, P, D_P, R^*, \Lambda)}$

$$\Sigma = \{\boldsymbol{T}, \mathbf{P}, \mathbf{D_p}, \boldsymbol{U}, \mathbf{\Omega}, \mathbf{Y}, \mathbf{R^*}, \boldsymbol{\Phi}, \boldsymbol{H}\}$$

$$\mathbf{Y} = \boldsymbol{H}(\boldsymbol{T}, \mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{D_p}, \mathbf{R^*}, \Lambda, \boldsymbol{\Phi})$$

Определение состояния динамической модели

Таким образом, для формализованного описания состояний проектируемой ТС в ПС, определенного в обозначениях рассматриваемой ДМ, имеем

$$\mathbf{S}(t_2)=\boldsymbol{\Phi}(\mathbf{S}(t_1), \mathbf{U}, \boldsymbol{\Omega}),$$

для единичных мгновенных состояний проектируемой ТС в ПС:

$$\mathrm{s}(t_2)=\varphi\,(\mathrm{s}(t_1),\mathrm{u}(t_1)),\ \mathrm{u}(t_1)\in\boldsymbol{\Omega}.$$

Введем в рассмотрение множества параметров элементов системы – **P**, и множество их допустимых значений – $\mathbf{D_P}$, определяющих состояния системы и предназначенных в данном случае для организации взаимосвязи и отображения изменений в ПП при изменениях в ПС и наоборот.

Введение в рассмотрение множества **P** приводит к необходимости проведения дополнительного анализа применяемого внутреннего оператора **Ф** и выделения в нем компоненты **F**, отображающей преобразование параметров, вызванное структурными изменениями и функциональными связями между параметрами:

$$\boldsymbol{\Phi}=\boldsymbol{\Phi}`\cup \boldsymbol{F}.\ (!)$$

Это требуется для обеспечения согласованного описания подмножеств состояний (вариантов структурных решений) в ПС модели проектируемой ТС и их параметрических описаний в ПП.

Анализ динамической модели интерактивного проектирования (распределения ресурсов)

Утверждение 1. Теоретико-множественная модель $\mathbf{Y} = \boldsymbol{H}(\boldsymbol{T}, \mathbf{S}, \mathbf{P}, \mathbf{D}_{\mathbf{p}}, \mathbf{R}^*, \boldsymbol{\Lambda}, \boldsymbol{\Phi})$, определяющая связь между выходными параметрами $\mathbf{Y}, \mathbf{R}^*$, состояниями системы $\mathbf{S}$, параметрами элементов $\mathbf{P}, \mathbf{D}_{\mathbf{p}}$, при воздействии внешних факторов $\boldsymbol{\Lambda}$, описывает поведение **динамической системы**.

Утверждение 2. Множество $\mathbf{S}$ описывает состояние динамической системы $\boldsymbol{\Sigma}$ в момент времени t , если оно удовлетворяет условиям согласованности.

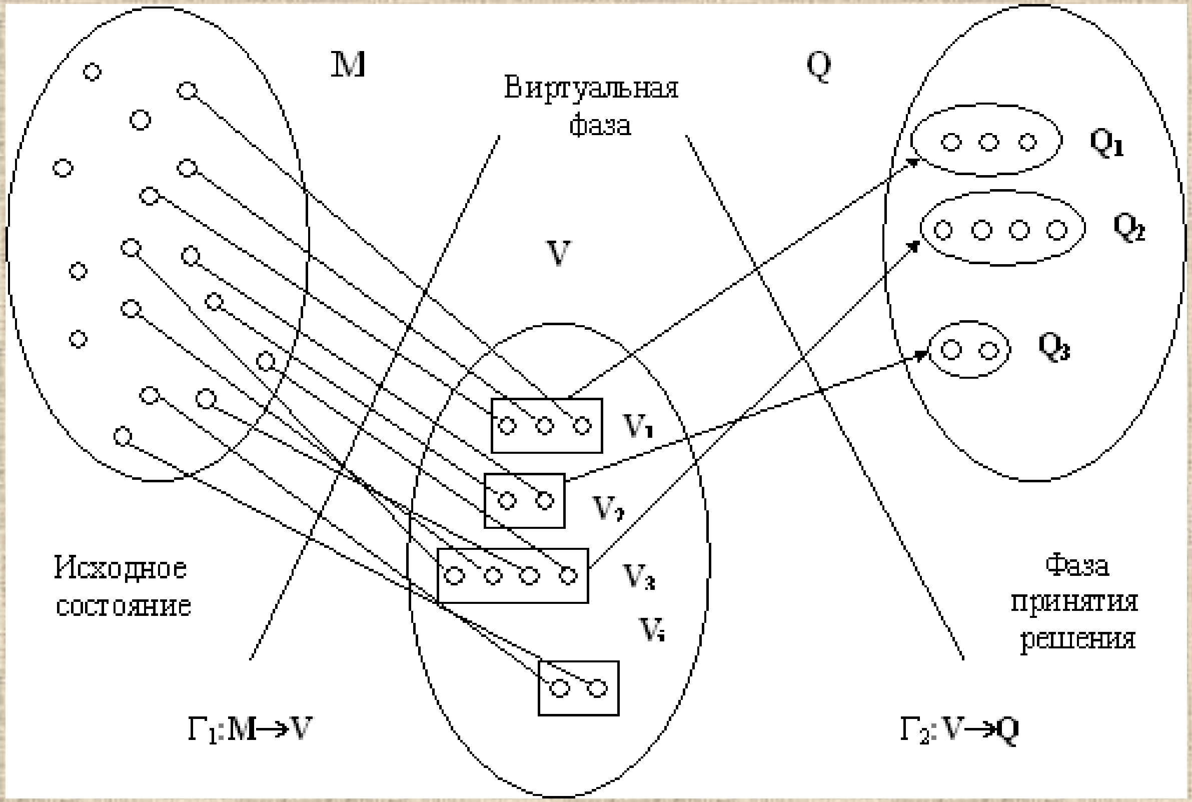
Следствие 2.1. Из (2) следует, что $\boldsymbol{\Sigma}$ является детерминированной системой, не имеющей случайных элементов, и не является упреждающей, так как настоящее значение выхода не зависит от будущих значений входа.

Следствие 2.2. Условие (2.1) гарантирует, что каждой паре $p(t_0, t]$ и $y(t_1, t]$ соответствует начальное состояние $s(t_1)$ из $\mathbf{S}$.

Следствие 2.3. Условие (2.2) гарантирует существование по крайней мере одного состояния в пространстве $\mathbf{S}$, которое относится ко всем возможным парам входов и выходов $p(t_1, t]$ и $y(t_1, t]$ соответственно.

Следствие 2.4. Полученные условия и следствия 2.1 – 2.3 индифферентны к непрерывному или дискретному характеру независимых переменных времени t, что позволяет обобщать подходы и методы исследования динамических систем, традиционно применяемые для непрерывных систем преобразования и обработки информации, описываемых дифференциальными уравнениями и в обязательном порядке имеющими пространства входных воздействий.

Идентификация модели проектирования (распределения ресурсов) в пространстве состояний



X= S, (M,V,Q) $\subset$ **S** и $s_i=\{m_i, v_i, q_i\}$

Г: **M→Q ⇒** Γ_1**: M→V** и Γ_2**: V→Q ,**

где Γ_1 соответствует виртуальной фазе проектирования, а Γ_2 – фазе принятия решения.

Актуально определение согласованного описания подмножеств состояний системы **S=(M,V,Q)** во временной области ***T***.

Выбор математического аппарата для описания модели проектирования (распределения ресурсов) в пространстве состояний

Внутрений оператор $\boldsymbol{\Phi}$`

Для формализованного описания единичных мгновенных состояний элементов проектируемой ТС в ПС, имеем

$s(t_2)=\varphi`(s(t_1),u(t_1))$, $\varphi` \in \boldsymbol{\Phi}`$, $\boldsymbol{\Phi}` \in \mathbf{\Phi}$, $u(t_1) \in \mathbf{\Omega}$.

В соответствии с принятой моделью переходов в виде теоретико-множественных отображений получается:

$s(t)=s_1(t) \cup s_2(t)$, где $s_1(t) \mid v_j = \Gamma_1 m_i$; $s_2(t) \mid q_k = \Gamma_2 v_j$ при $m_i, v_i, q_i \in \mathbf{M}$.

Внутрений оператор *F*

Для выражения внутреннего оператора ***F***, применяются математические модели физических процессов, определяющих функционирование проектируемого объекта. Применение математического аппарата дифференциальных уравнений способно продвинуть решение задачи и получить удовлетворительные результаты лишь при условии строго фиксированной структуры модели, то есть только в ПП без отображения **связей и взаимодействий**, неизбежно возникающих при структурных изменениях. В некоторых случаях эти взаимосвязи формализованы в результате специальных исследований и последующего анализа. Как правило, это аналитические зависимости, построенные при помощи методов планирования эксперимента, а также полученные с применением искусственных нейронных сетей..

Таким образом, для формализованного описания единичного мгновенного состояния проектируемой ТС в ПП, определенного в обозначениях рассматриваемой ДМ, имеем

$p(t_2)=f\ (p(t_1),\mathrm{u}(t_1))$, где $f \in \boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{F} \in \boldsymbol{\Phi}$ может быть выражена непосредственными аналитическими зависимостями, полученными заранее в результате применения к масивам взаимосвязанных параметров регрессионного или корреляционного анализа.

Внутрений оператор *H*

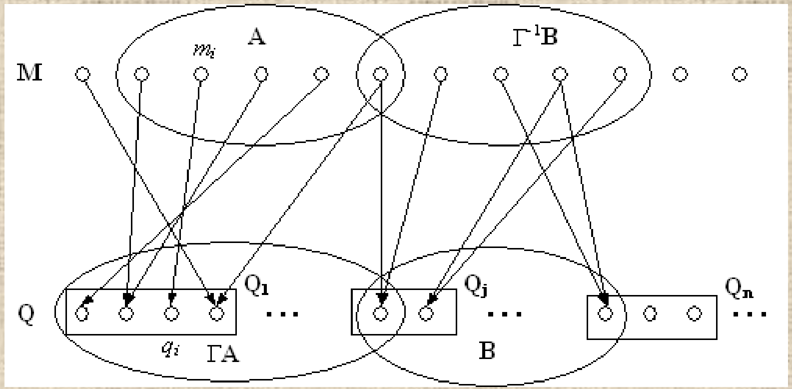
Внутренний оператор ***H*** устанавливает связь между состояниями системы и её выходными характеристиками в ПП. Подмножества управляемых параметров **P**=(p_1,p_2,...p_n), выходных параметров **Y =** (y_1,y_2,...y_m) и управляющих параметров **U**=(u_1,u_2,...u_p) формируют ПП ДМ. При помощи скалярной свертки векторов управляемых и управляющих параметров, соответственно **P** и **U** формируется образ вектора выходных параметров. Вместе с описанием ПС, определенным множествами **M,V,Q** и отображениями Γ_1 и Γ_2, использование согласованного параметрического описания характеристик отдельных элементов – **P** и всей проектируемой ТС в целом – **Y**, в виде скалярной свертки, позволяют установить необходимую для процесса проектирования связь между ними во временной области $\boldsymbol{T} = (t_0, t_1, t_2,\ldots t_n)$.

Таким образом, для формализованного описания состояний проектируемой ТС в ПП, определенного в обозначениях рассматриваемой ДМ, имеем $\mathbf{Y}(t)=\boldsymbol{H}(\mathbf{S}(t), \mathbf{U}, \mathbf{\Gamma}, \mathbf{\Omega})$, следовательно для единичных мгновенных состояний проектируемой ТС в ПП: $\mathrm{y}(t)=\eta(\mathrm{s}(t),\mathrm{u}(t))$, $\mathrm{u}(t)\in\mathbf{\Omega}$, $\mathrm{y}(t)\in\mathbf{\Gamma}$.

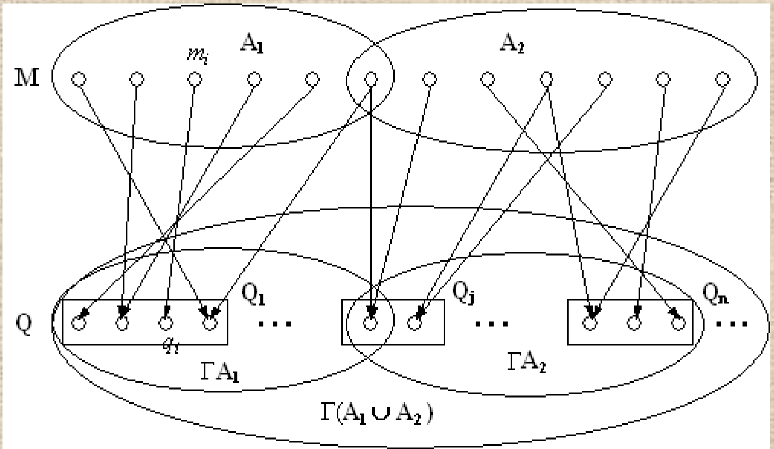
Анализ неопределенности модели распределения ресурсов в пространстве состояний

Теорема 3. (Необходимость). При внесении в моделируемую систему элементов неопределенности или в общем случае при ее наличии: $\Gamma(\mathbf{A_1} \cap \mathbf{A_2}) \subset \Gamma\mathbf{A_1} \cap \Gamma\mathbf{A_2}$,
где $\mathbf{A_1} \subseteq \mathbf{M}$, $\mathbf{A_2} \subseteq \mathbf{M}$.

Лемма 3.1. Для любого произвольного подмножества $\mathbf{A} \subseteq \mathbf{M}$ справедливо: $\Gamma\mathbf{A} = \cup_{\forall m_i \in \mathbf{A}} \Gamma m_i$



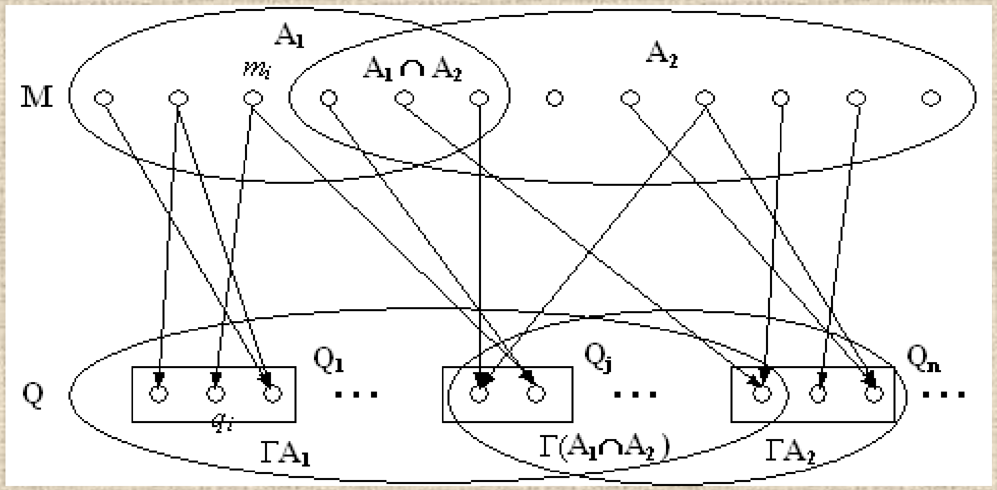
Лемма 3.2. При объединении произвольных подмножеств внутри **M** выполняется:
$\Gamma(\mathbf{A_1} \cup \mathbf{A_2}) = \Gamma\mathbf{A_1} \cup \Gamma\mathbf{A_2}$.



Следствие 3.1. Для обратного отображения справедливо:
$\forall q_i \in \mathbf{Q}\ \exists\ m_i \in \mathbf{M} \mid \Gamma^{-1} q_i = m_i$. Пусть $\mathbf{B}\subseteq\mathbf{Q}; \forall\ q_i\in\mathbf{B}\exists\Gamma^{-1}q_i\in\mathbf{M}; \Gamma^{-1}q_i = m_i\in\mathbf{A}\subseteq\mathbf{M}$, тогда $\cup_{\forall qi\in\mathbf{B}}\, q_i = \mathbf{B}$ и $\cup_{\forall mi\in\mathbf{A}}\, m_i = \mathbf{A}$. Следовательно: $\Gamma^{-1}\mathbf{B} = \cup_{\forall qi\in\mathbf{B}}\,\Gamma^{-1}q_i$.

Следствие 3.2. Для обратного отображения справедливо: $\mathbf{B_1}\subseteq\mathbf{Q}$, $\mathbf{B_2}\subseteq\mathbf{Q}$;
$\forall\ q_i\in\mathbf{B_1}, \mathbf{B_2}\ \exists\Gamma^{-1}q_i\in\mathbf{M}$; $\Gamma^{-1} q_i = m_i\in\mathbf{A_1},\mathbf{A_2}\subseteq\mathbf{M}$, тогда $\cup_{\forall qi\in\mathbf{B1}}\, q_i = \mathbf{B_1}$ и $\cup_{\forall qi\in\mathbf{B2}}\, q_i = \mathbf{B_2}$, в свою очередь $\cup_{\forall mi\in\mathbf{A1}}\, m_i = \mathbf{A_1}$ и $\cup_{\forall mi\in\mathbf{A2}}\, m_i = \mathbf{A_2}$.
Следовательно: $\Gamma^{-1}(\mathbf{B_1} \cap \mathbf{B_2}) \subset \Gamma^{-1}\mathbf{B_1} \cap \Gamma^{-1}\mathbf{B_2}$ и $\Gamma^{-1}(\mathbf{B_1} \cup \mathbf{B_2}) = \Gamma^{-1}\mathbf{B_1} \cup \Gamma^{-1}\mathbf{B_2}$.

Теорема 4. (Достаточность). При внесении в моделируемую систему элементов неопределенности или в общем случае при ее наличии:
$\forall m_i\in\mathbf{M}\exists\mathbf{A_1}\subset\mathbf{M}$ и $\mathbf{A_2}\subset\mathbf{M} \mid |\Gamma\mathbf{A_1}| > 1$ или $|\Gamma\mathbf{A_1}| = 0$, $|\Gamma\mathbf{A_2}| > 1$ или $|\Gamma\mathbf{A_2}| = 0$



Следствие 4.1. Для обратного отображения справедливо:
$\mathbf{B_1}\subseteq\mathbf{Q},\mathbf{B_2}\subseteq\mathbf{Q}; \forall\ q_i\in\mathbf{B_1},\mathbf{B_2}\ \exists\Gamma^{-1}q_i\in\mathbf{M}$; $\Gamma^{-1} q_i = m_i\in\mathbf{A_1},\mathbf{A_2}\subseteq\mathbf{M}$, тогда $\cup_{\forall qi\in\mathbf{B1}}\, q_i = \mathbf{B_1}$ и $\cup_{\forall qi\in\mathbf{B2}}\, q_i = \mathbf{B_2}$, в свою очередь $\cup_{\forall mi\in\mathbf{A1}}\, m_i = \mathbf{A_1}$ и $\cup_{\forall mi\in\mathbf{A2}}\, m_i = \mathbf{A_2}$. Следовательно:
$\forall q_i\in\mathbf{Q}\exists\mathbf{B_1}\subset\mathbf{Q}$ и $\mathbf{B_2}\subset\mathbf{Q} \mid |\Gamma^{-1}\mathbf{B_1}| > 1$ или $|\Gamma^{-1}\mathbf{B_1}| = 0$, $|\Gamma^{-1}\mathbf{B_2}| > 1$ или $|\Gamma^{-1}\mathbf{B_2}| = 0$

Выбор математического аппарата для описания модели распределения ресурсов в пространстве состояний

Необходимо выразить состояния системы $s_i \in \mathbf{S}$:

- *мгновенные* в момент времени $t_i \in \boldsymbol{T}$ при $t_i \neq t_n$ соответственно s_i^{mi}, $s_i^{\mathbf{Q}j}$, $s_i^{\mathbf{Q}}$;

- *текущие* с учетом включений этого элемента в формируемые наборы в предстоящие дискретные отсчеты времени $t_0 \ldots t_{i-1}$, соответственно s_{ti}^{mi}, $s_{ti}^{\mathbf{Q}j}$, $s_{ti}^{\mathbf{Q}}$;

- *интегральные* при завершении виртуальной фазы формирования ООН в момент времени t_n после проведения N передач элементов между базовым ПОН, соответственно s_{tn}^{mi},$s_{tn}^{\mathbf{Q}j}$,$s_{tn}^{\mathbf{Q}}$.

Утверждение 4. При наличии в модели распределения ресурсов неопределенности в виде дублирования или многократного повторения элементов $m_i \in \mathbf{M}$ в наборах $\mathbf{V}_j$ их мгновенные состояния s_i^{mi} описываются обычными безусловными вероятностями.

Следствие 4.1. Для произвольных (не обязательно попарно несовместных событий $(m_i \to v_j)$, $(m_i \to v_k)$ … $(m_i \to v_n)$ имеет место неравенство $p((m_i \to v_j) \cup (m_i \to v_k) \cup \ldots \cup (m_i \to v_n)) \leq \sum_{j=j}^{n} p(m_i \to v_j)$

Следствие 4.2. Использование математического аппарата обычных безусловных вероятностей позволяет определить мгновенные, текущие и интегральные описания состояний элементов, наборов и ООН.

Состояния	Элемент m_i	Набор $\mathbf{V}_j$	ООН $\mathbf{Q}$
Мгновенные	s_i^{mi} $1/\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_i^{\mathbf{Qj}}$ $\frac{n_{\mathbf{Qj}}}{N}$	$s_i^{\mathbf{Q}}$ $\sum_{j=1}^{\lvert\mathbf{Qj}\rvert} \frac{n_{\mathbf{Qj}}}{N}$
Текущие	s_{ti}^{mi} $n_{mi}/\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_{ti}^{\mathbf{Qj}}$ $\sum_{t0}^{ti} \frac{n_{\mathbf{Qj}}}{N}$	$s_{ti}^{\mathbf{Q}}$ $\sum_{t0}^{ti} \sum_{j=1}^{\lvert\mathbf{Qj}\rvert} \frac{n_{\mathbf{Qj}}}{N}$
Интегральные	s_{tn}^{mi} $\sum_{t0}^{tn} \frac{n_{mi}}{\lvert\mathbf{M}\rvert}$	$s_{tn}^{\mathbf{Qj}}$ $\sum_{t0}^{tn} \frac{n_{\mathbf{Qj}}}{N}$	$s_{tn}^{\mathbf{Q}}$ $\sum_{t0}^{tn} \sum_{j=1}^{\lvert\mathbf{Qj}\rvert} \frac{n_{\mathbf{Qj}}}{N}$

Утверждение 5. При наличии в комбинированной модели распределения ресурсов неопределенности в виде возможности включения каждого элемента $m_i \in \mathbf{M}$ в разные наборы $\mathbf{V}_j$ их мгновенные состояния описываются условными вероятностями.

Следствие 5.1. В общем случае события включения элементов $m_i \in \mathbf{M}$ в наборы $\mathbf{V}_j$ и $\mathbf{Q}_j$ составляют независимую совокупность, для которой следует

$$p((m_i \to v_j) \cap (m_i \to v_k) \cap \ldots \cap (m_i \to v_n)) = p(m_i \to v_j)\, p(m_i \to v_k) \ldots p(m_i \to v_n).$$

Следствие 5.2. Использование математического аппарата условных вероятностей позволяет определить мгновенные, текущие и интегральные описания состояний элементов, наборов и всей системы ООН.

Состояния	Элемент m_i	Набор $\mathbf{V}_j$	ООН $\mathbf{Q}$
Мгновенные	s_i^{mi} $1/\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_i^{\mathbf{Q}j}$ $\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}$	$s_i^{\mathbf{Q}}$ $\prod_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}$
Текущие	s_{ti}^{mi} $\sum_{t0}^{ti}\prod_{i=1}^{nm}\left(\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\right)_i$	$s_{ti}^{\mathbf{Q}j}$ $\sum_{t0}^{ti}\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}$	$s_{ti}^{\mathbf{Q}}$ $\sum_{to}^{ti}\prod_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}$
Интегральные	s_{tn}^{mi} $\sum_{t0}^{tn}\prod_{i=1}^{nm}\left(\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\right)_i$	$s_{tn}^{\mathbf{Q}j}$ $\sum_{t0}^{tn}\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}$	$s_{tn}^{\mathbf{Q}}$ $\sum_{to}^{ti}\prod_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{M}\rvert}\frac{1}{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert}$

Утверждение 6. При наличии в комбинированной модели распределения ресурсов неопределенности в виде конкуренции элементов m_i, m_j, $m_k \in \mathbf{M}$ при выполнении аналогичных операций в одном и том же наборе $\mathbf{V}_j$ их мгновенные состояния описываются нечеткими множествами.

Следствие 6.1. Использование математического аппарата НМ позволяет определить мгновенные, текущие и интегральные описания состояний элементов, наборов и всей системы ООН.

Состояния	Элемент m_i	Набор $\mathbf{V}_j$	ООН $\mathbf{Q}$
Мгновенные	s_i^{mi} $\cup \mu(m_i),\ i=1,k$	$s_i^{\mathbf{Q}j}$ $\cup\, \mu_{\mathbf{Q}j}(m_i), i=1,\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_i^{\mathbf{Q}}$ $\bigcup_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert} \cup\, \mu_{\mathbf{Q}j}(m_i)$
Текущие	s_{ti}^{mi} $\bigcup_{t_0}^{t_i} \mu(m_i), i=1,\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_{ti}^{\mathbf{Q}j}$ $\bigcup_{t_0}^{t_i} \mu_{\mathbf{Q}j}(m_i), i=1,\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_{ti}^{\mathbf{Q}}$ $\bigcup_{t_0}^{t_i} \bigcup_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert} \cup\, \mu_{\mathbf{Q}j}(m_i)$
Интегральные	s_{tn}^{mi} $\bigcup_{t_0}^{t_n} \mu(m_i), i=1,\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_{tn}^{\mathbf{Q}j}$ $\bigcup_{t_0}^{t_n} \mu_{\mathbf{Q}j}(m_i), i=1,\lvert\mathbf{M}\rvert$	$s_{tn}^{\mathbf{Q}}$ $\bigcup_{t_0}^{t_n} \bigcup_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q}_j\rvert} \cup\, \mu_{\mathbf{Q}j}(m_i)$

Лемма 6.1. При наличии в комбинированной модели распределения ресурсов неопределенности вероятностного типа и при отсутствии конкуренции элементов m_i, m_j, $m_k \in \mathbf{M}$ их текущие состояния могут описываться при помощи НМ.

Утверждение 7. При наличии в модели распределения ресурсов неопределенности в виде комбинации рассмотренных выше случаев, задающих неопределенность задачи, текущие состояния элементов $m_i \in \mathbf{M}$ и всей системы ООН $\mathbf{Q}$ в процессе ее формирования могут описываться при помощи универсального математического аппарата НМ.

Следствие 7.1. Перераспределение значений весовых коэффициентов в выражении степени принадлежности $\mu(m_i)=\lambda_1 p(m_i \rightarrow v_j) + \lambda_2 \mu^{\mathbf{Vj}}(m_i)$ определяется степенью присутствия проектировщика в процессе принятия решений о включении элементов $m_i \in \mathbf{M}$ в формируемые наборы $\mathbf{V}_\mathrm{j}$ и $\mathbf{Q}_\mathrm{j}$.

Следствие 7.2. Использование математического аппарата НМ позволяет определить мгновенные, текущие и интегральные описания состояний элементов, наборов и всей системы ООН при всех видах неопределенности.

Состояния	Элемент m_i	Набор $\mathbf{Q}_\mathrm{j}$	ООН $\mathbf{Q}$
Мгновенные	s_i^{mi} $\lambda_1 \frac{n_{Q_j}}{N} + \lambda_2 \mu^{\mathbf{V_j}}(m_i)$	$s_i^{\mathbf{Qj}}$ $\bigcup_{i=1}^{\lvert\mathbf{M}\rvert} (\lambda_1 \frac{n_{Q_j}}{N} + \lambda_2 \mu^{\mathbf{V_j}}(m_i))$	$s_i^{\mathbf{Q}}$ $\bigcup_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q_j}\rvert} \bigcup_{i=1}^{\lvert\mathbf{M}\rvert} \mu(m_i)$
Текущие	s_{ti}^{mi} $\bigcup_{t_0}^{t_i} (\lambda_1 \frac{n_{Q_j}}{N} + \lambda_2 \mu^{\mathbf{V_j}}(m_i))$	$s_{ti}^{\mathbf{Qj}}$ $\bigcup_{t_0}^{t_i} \bigcup_{i=1}^{\lvert\mathbf{M}\rvert} (\lambda_1 \frac{n_{Q_j}}{N} + \lambda_2 \mu^{\mathbf{V_j}}(m_i))$	$s_{ti}^{\mathbf{Q}}$ $\bigcup_{t_0}^{t_i} \bigcup_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q_j}\rvert} \bigcup_{i=1}^{\lvert\mathbf{M}\rvert} \mu(m_i)$
Интегральные	s_{tn}^{mi} $\bigcup_{t_0}^{t_n} (\lambda_1 \frac{n_{Q_j}}{N} + \lambda_2 \mu^{\mathbf{V_j}}(m_i))$	$s_{tn}^{\mathbf{Qj}}$ $\bigcup_{t_0}^{t_n} \bigcup_{i=1}^{\lvert\mathbf{M}\rvert} (\lambda_1 \frac{n_{Q_j}}{N} + \lambda_2 \mu^{\mathbf{V_j}}(m_i))$	$s_{tn}^{\mathbf{Q}}$ $\bigcup_{t_0}^{t_n} \bigcup_{j=1}^{\lvert\mathbf{Q_j}\rvert} \bigcup_{i=1}^{\lvert\mathbf{M}\rvert} \mu(m_i)$

Идентификация модели распределения ресурсов в пространстве параметров

Определение 1. *Внутренние параметры* (*управляемые переменные*) – **P**=(p_1, p_2,… p_n).
Определение 2. *Внешние параметры* (*факторы*) – **Λ**=(λ_1, λ_2, … λ_p).
Определение 3. Объединенную совокупность внешних и внутренних параметров будем называть множеством *входных параметров* модели.
Определение 4. *Выходные параметры* (*характеристики*) – **Y =** (y_1, y_2, …y_m).

Утверждение 8. Введенные по определению множества параметров **P**, **Λ** , **Λ∪ P**, **Y** являются *действительным векторным пространством* **Z** = (**Z**, +, ·), где **Z** = (**P**, **Λ**, **Λ∪ P**, **Y)**; (+) – операция сложения; (·) – операция умножения.
Следствие 8.1. Введенные по определению множества параметров **Λ**, **Λ∪P**, **Y** являются векторами и вместе с вектором **P** формируют векторную модель распределения ресурсов проектируемой ТС в пространстве параметров.

Лемма 8.1. Векторная модель распределения ресурсов ТС при проектировании, идентифицированная в пространстве параметров, представляет собой *евклидово векторное пространство* E^n.

Лемма 8.2. Векторная модель распределения ресурсов ТС при проектировании, идентифицированная в пространстве параметров является действительным *линейно независимым* векторным пространством.
Следствие 8.2. Вектора **Λ**, **Λ∪P**, **Y ∈ Z** так же линейно независимы.

Утверждение 9. Евклидово пространство E^n векторной модели распределения ресурсов ТС при проектировании, идентифицированное в пространстве параметров, является действительным линейно независимым *метрическим* пространством с ортонормированным базисом.

Следствие 9.1. Вектора **P**, **Λ**, **Λ∪P**, **Y∈Z** формируют действительное линейно независимое метрическое евклидово пространство E^n с ортонормированным базисом.

Следствие 9.2. Если координаты двух векторов $\mathbf{P_i}$, **Λ∈Z** заданы относительно ортонормированного базиса **B** : $\mathbf{P}=(p_1, p_2, \ldots p_n)_\mathbf{B}$, $\mathbf{\Lambda}=(\lambda_1, \lambda_2, \ldots \lambda_p)_\mathbf{B}$, то их скалярное произведение равно $(\mathbf{P}, \mathbf{\Lambda}) = \lambda_1 p_1 + \lambda_2 p_2 + \ldots \lambda_n p_n$.

Следствие 9.3. Геометрической интерпретацией варианта объекта в *пространстве параметров* является точка в *n*-мерном Евклидовом пространстве внутренних параметров, в котором для каждой из *n* управляемых переменных выделена соответствующая координатная ось.

Приложения технологии интерактивного распределения ресурсов при проектировании автоматизированных технических систем

Принцип дедуктивной иерархии (нисходящее проектирование сверху-вниз):

1. Внедрение ИПИ (CALS)-технологий на предприятиях радиоприборостроения;
2. Разработка и внедрение проблемно-ориентированных САПР;
3. Разработка и внедрение ЛВС, как базы для развертывания ИПИ-технологий;
4. Решение проблем безопасности информации в ЛВС;
5. Проблемы проектирования распределенных вычислительных систем на примере систем интеллектуальных датчиков (СИД);
6. Проблемы проектирования конструкций при воздействии дестабилизирующих факторов;
7. Проблемы автоматизированного размещения элементов на панелях управления с учетом эргономических факторов;
8. Прочие вспомогательные приложения технологии интерактивного распределения ресурсов при проектировании: при формировании условий организационного обеспечения ИТ коллективом исполнителей; при оценке эффективности интерактивного взаимодействия.

Интерактивное распределение вычислительных ресурсов рабочих станций в проблемно-ориентированых САПР

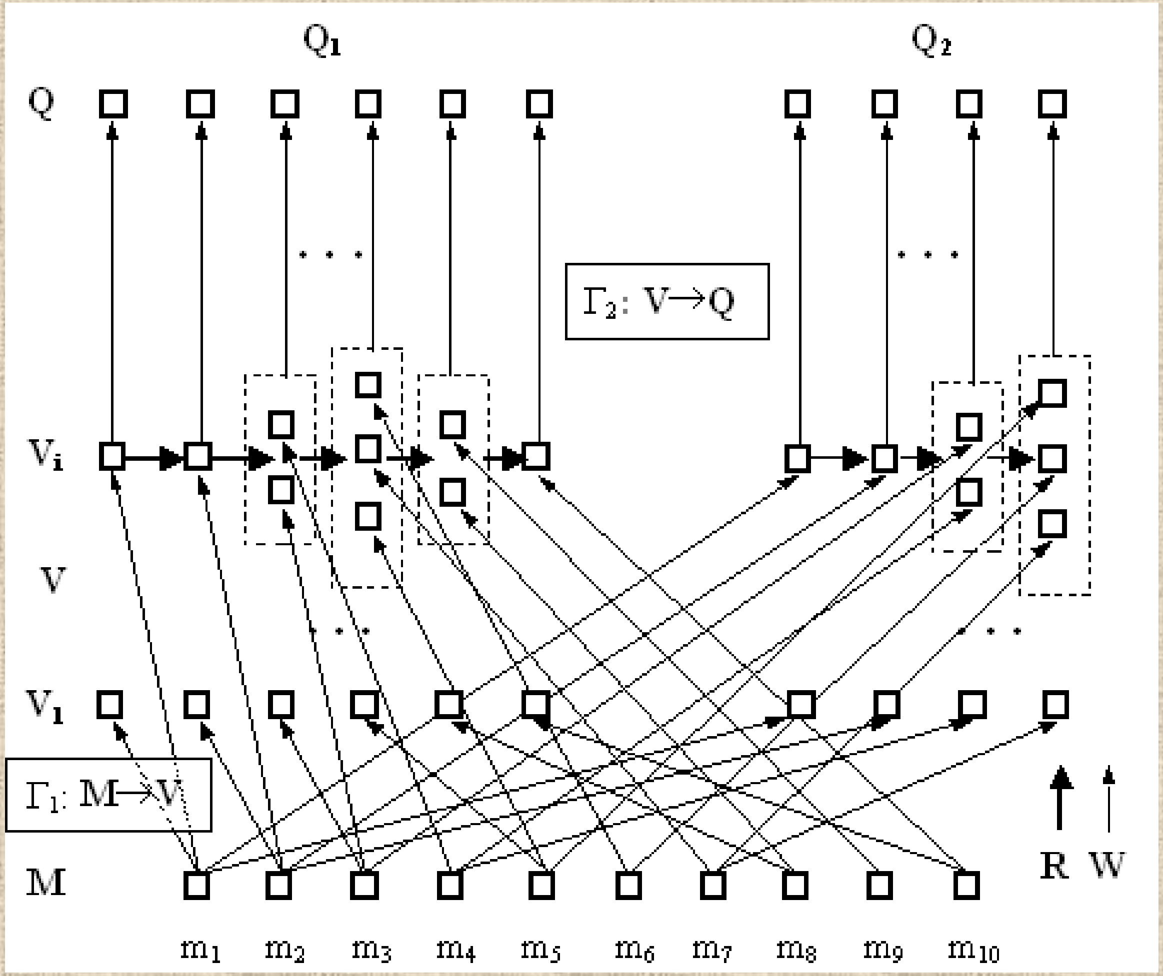


Рисунок 5. 1 – Процедура формирования ООН САПР ФУ СВЧ

Интерактивное распределение ресурсов в задаче размещения элементов

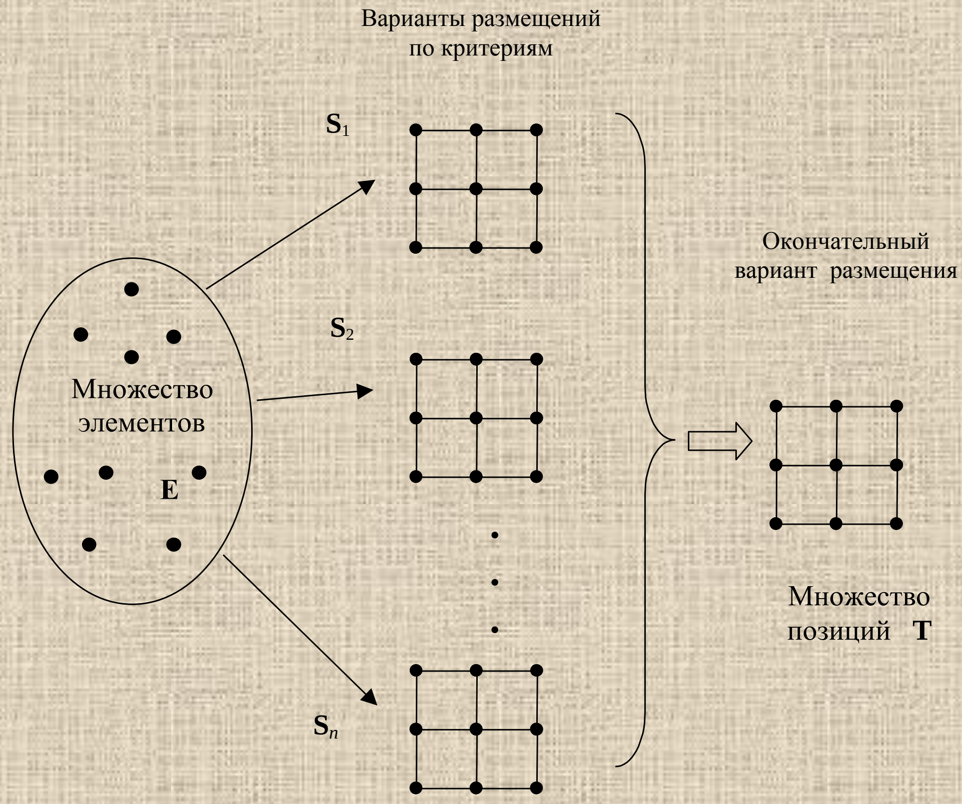


Рисунок 6.1 – Отображение Г: **E→T**

Каждому элементу $e_i \in E$ ставится в соответствие степень принадлежности $\mu_{\mathbf{T}}(e_i)$, отражающая факт установки данного элемента e_i в позицию КП $t_j \in \mathbf{T}$, определяемую в процессе реализации алгоритма последовательного размещения с учетом компенсации одного из выбранных разработчиком дестабилизирующих факторов. Следовательно, $\forall e_i \in \mathbf{E}\ \exists\ \tilde{A}^i(e_i) = \{<\mu_{\mathbf{T}}(e_i), \mathbf{T}>\} = \{\mu(e_i)/t_1;\ \mu(e_i)/t_2; \ldots \mu(e_i)/t_i; \ldots \mu(e_i)/t_m\}$,описывающее определенное ранее отображение Г: **E→T** .

Распределение ресурсов ТО

$\tilde{\mathbf{A}}\,(m_i) = \{<\mu_{\mathbf{Q}i}(m_i),\mathbf{Q}>\} = \{\mu_{\mathbf{Q}i}(m_i)/\mathbf{Q}_1;\mu_{\mathbf{Q}i}(m_i)/\mathbf{Q}_2;\ldots\mu_{\mathbf{Q}i}(m_i)/\mathbf{Q}_i;$ $\ldots\mu_{\mathbf{Q}i}(m_i)/\mathbf{Q}_m\}$, где $\mu_{\mathbf{Q}i}(m_i)$ – степень принадлежности $m_i\in\mathbf{M}$ к ООН $\mathbf{Q}_j$; $n=|\mathbf{M}|$; $m=|\mathbf{Q}|$.

Состояния элементов $m_i\in\mathbf{M}$ в $\mathbf{V}_j$ описываются НМ:

$\tilde{\mathbf{B}}\,(m_i)=\{<\mu_{\mathbf{V}j}(m_i),\mathbf{V}>\}=\{\mu_{\mathbf{V}j}(m_i)/\mathbf{V}_1;\ \mu_{\mathbf{V}j}(m_i)/\mathbf{V}_2;\ \ldots$ $\mu_{\mathbf{V}j}(m_i)/\mathbf{V}_i;\ \ldots\ \mu_{\mathbf{V}j}(m_i)/\mathbf{V}_m\}$, где $\mu_{\mathbf{V}j}(m_i)$ – степень принадлежности элемента $m_i\in\mathbf{M}$ к модулю $\mathbf{V}_j$.

Состояния модулей-наборов $\mathbf{V}_j\subset\mathbf{V}$ описываются НМ:

$\tilde{\mathbf{C}}\,(\mathbf{V}_j)=\{<\mu_{\mathbf{Q}i}(\mathbf{V}_j),\mathbf{Q}>\}=\{\mu_{\mathbf{Q}i}(\mathbf{V}_j)/\mathbf{Q}_1;\ \mu_{\mathbf{Q}i}(\mathbf{V}_j)/\mathbf{Q}_2;\ \ldots$ $\mu_{\mathbf{Q}i}(\mathbf{V}_j)/\mathbf{Q}_i;\ \ldots\ \mu_{\mathbf{Q}i}(\mathbf{V}_j)/\mathbf{Q}_m\}$, где $\mu_{\mathbf{Q}i}(\mathbf{V}_j)$ – степень принадлежности модуля $\mathbf{V}_j$ к ООН $\mathbf{Q}_i$.

$\tilde{\mathbf{A}}(m_i)=\{0{,}06/m_1;0{,}33/m_2;1{,}0/m_3;0{,}33/m_4;0{,}0/m_5;0{,}01/m_6;$ $1{,}0/m_7;\ 0{,}0/m_8;1{,}0/m_9;\ 0{,}0/m_{10};\ 1{,}0/m_{11};\ 0{,}24/m_{12};\ 0{,}19/m_{13};$ $0{,}68/m_{14}\}$.

$\tilde{\mathbf{B}}_1\,(m_i)=\{0{,}329/e_1;\ 0{,}01/e_2;\ 0{,}0/e_3\}$; $\tilde{\mathbf{B}}_2(m_i)=\{0{,}329/e_1;\ 1{,}0/e_2;$ $1{,}0/e_3\}$; $\tilde{\mathbf{B}}_3(m_i)=\{0{,}0/e_1;\ 0{,}0/e_2;\ 0{,}242/e_3\}$; $\tilde{\mathbf{B}}_4(m_i)=\{1{,}0/e_1;$ $0{,}01/e_2;\ 0{,}185/e_3\}$; $\tilde{\mathbf{B}}_5(m_i)=\{0{,}06/e_1;\ 1{,}0/e_2;\ 0{,}68/e_3\}$.

$\tilde{\mathbf{C}}(\mathbf{V}_j)=\{0{,}04/\ \mathbf{V}_1;\ 1{,}0/\ \mathbf{V}_2;\ 0{,}0/\ \mathbf{V}_3;\ 0{,}45/\ \mathbf{V}_4;\ 0{,}72/\ \mathbf{V}_5\}$.

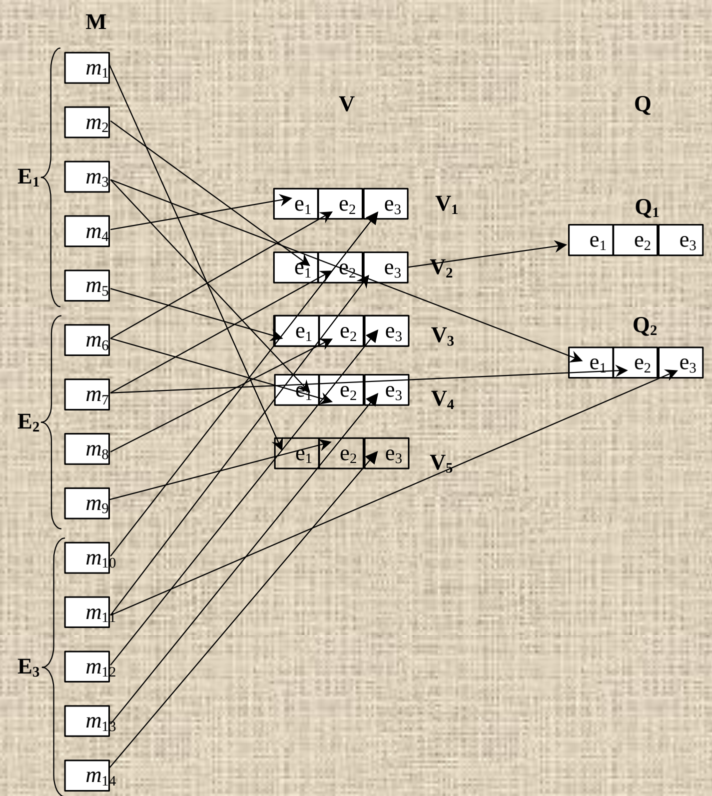


Рисунок 5.2 – Схема формирования устройств компьютера с интерактивным распределением вычислительных ресурсов

Распределение ресурсов ПО

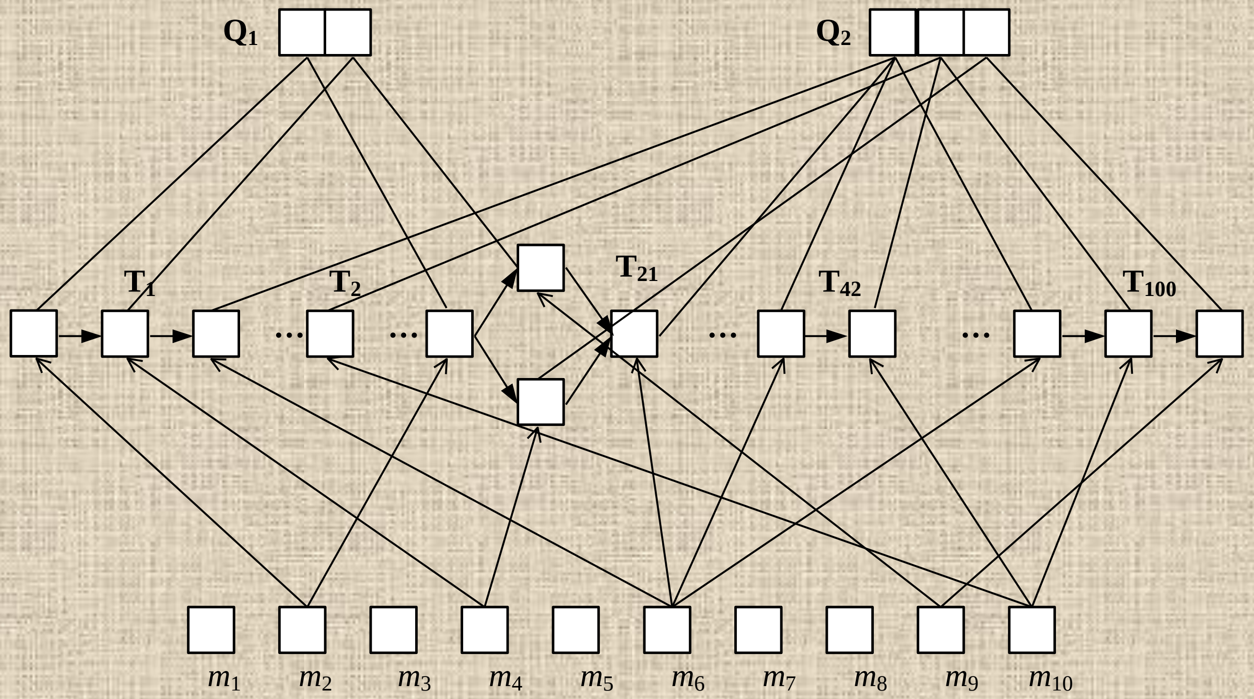


Рисунок 5.3 – Схема процесса формирования состава ПО ЛВС

$$\boldsymbol{R} = \{< \mu_{\mathbf{Q}\boldsymbol{j}}(m_i);\ m_i >\}$$

$\boldsymbol{R}_1$={0,15/m_1;0,81/m_2;0,21/m_3;0,76/m_4; 0,12/m_5;0,3/m_6;0,03/m_7;0,07/m_8;0,01/m_9;0,06/m_{10}}
$\boldsymbol{R}_2$={0,03/m_1;0,07/m_2; 0,11/m_3; 0,07/m_4;
0,08/m_5;0,92/m_6;0,38/m_7;0,27/m_8;0,79/m_9;0,75/m_{10}}.

Интерактивное распределение вычислительных ресурсов при проектировании ЛВС

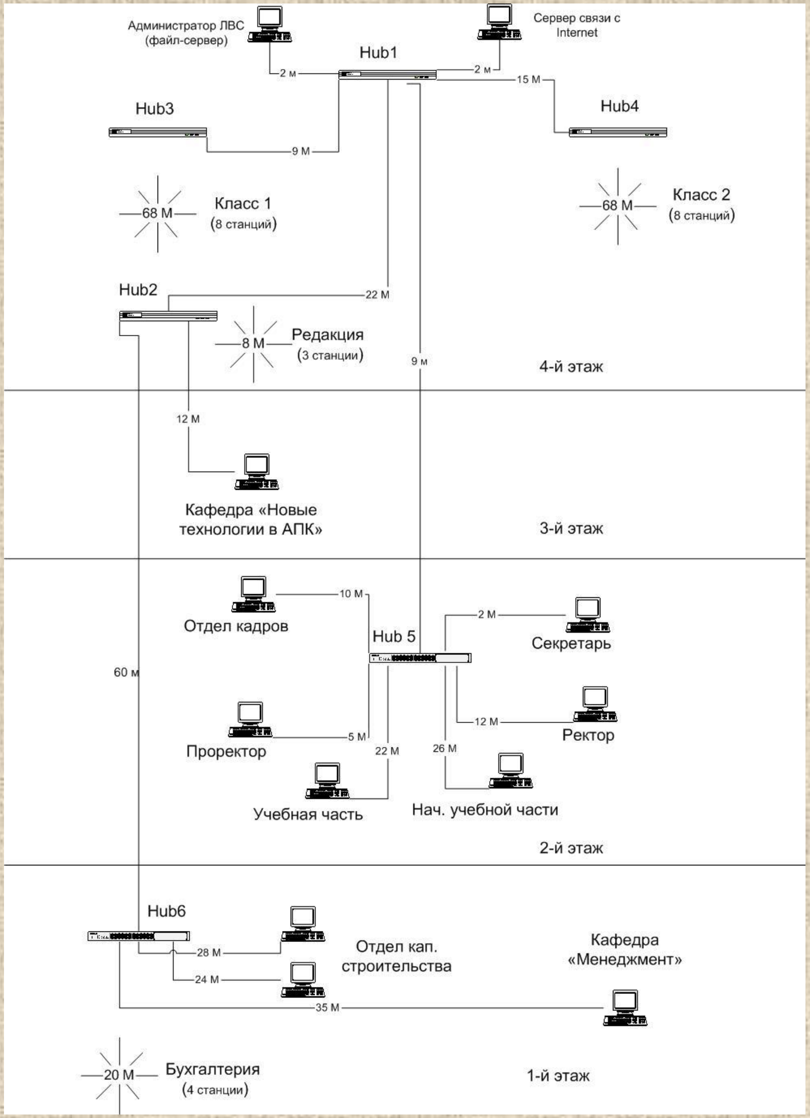


Рисунок 5.4 – Топологическая схема ЛВС НРИ АПК

Интерактивное распределение ресурсов при внедрении ИПИ-технологий на предприятиях радиоприборостроения

ИПИ(CALS)-технологии – непрерывная информационная поддержка ЖЦ изделий.
Условия: организационных изменений и ограниченные ресурсов.

Идентификация модели распределения ресурсов в пространстве параметров

Внешние параметры (*факторы*) – весовые коэффициенты $\mathbf{\Lambda}= (\lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_p)$.
Внутренние параметры (*управляемые переменные*) – $\mathbf{P}=(p_1, p_2, \dots p_n)$.
Выходные параметры (*характеристики*) – $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots y_m)$.
Математическое описание системы :

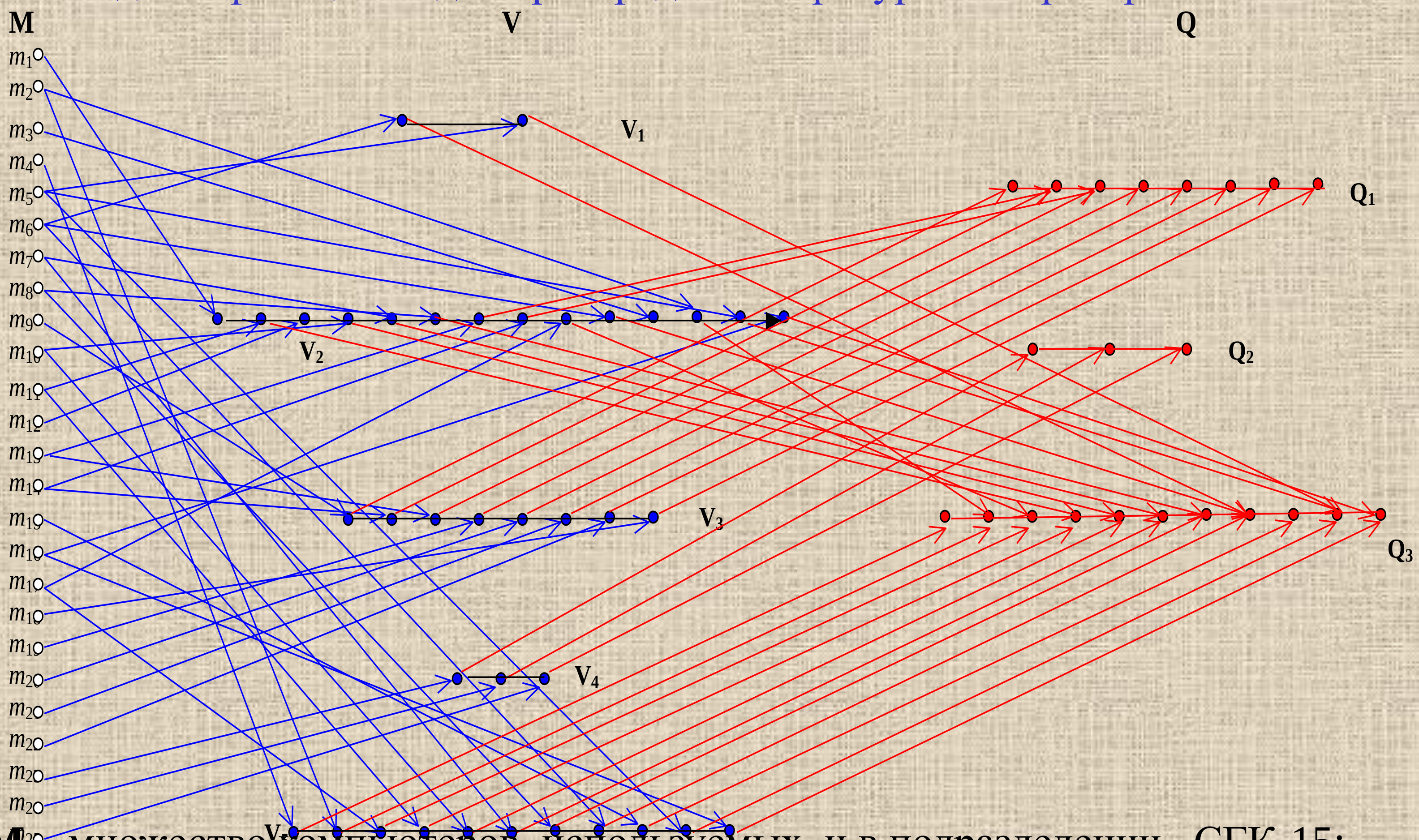
$$
\begin{gathered}
y_1= F_1(p_1, p_2, \dots p_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_p) \\
y_2= F_2(p_1, p_2, \dots p_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_p) \\
\dots \\
y_m= F_m(p_1, p_2, \dots p_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_p)
\end{gathered}
$$

Скалярная свертка векторной модели

$$F(\mathbf{P},\mathbf{\Lambda})= \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \lambda_i \, p_{i,j}$$

P – параметры элементов, комплектующих базовые ВС (процессор, RAM, ROM, видеокарта и др.), и программных модулей, входящих в состав системного и прикладного ПО CAD/CAM/CAE и PDM систем.

Идентификация модели распределения ресурсов в пространстве состояний



- **M** – множество компьютеров, используемых и в подразделении СГК-15;
- $\mathbf{V_1}$ – набор компьютеров подразделения до начала внедрения ИПИ-технологий;
- $\mathbf{V_2}$ – набор компьютеров подразделения на время проведения мониторинга;
- $\mathbf{V_3}$, $\mathbf{V_4}$, $\mathbf{V_5}$ – наборы компьютеров подразделения с учетом организационных изменений;
- $\mathbf{Q_1}$ – ООН компьютеров автоматизированного проектирования и производства ПП;
- $\mathbf{Q_2}$ – ООН компьютеров для электронного архива и организации учета и обращения КД;
- $\mathbf{Q_3}$ – ООН компьютеров СГК-15, функционально ориентированных для организации автоматизированного цикла дизайн-проектирования.

Рациональное интерактивное распределение ресурса информационной безопасности вычислительных систем

Структура + параметры

Комбинированная теоретико-множественная векторная модель:

$$\mathbf{Y=F(M, V, Q, P, \Lambda)},$$

F – функционал, выражающий соответствие q=(**M**$\to$**V**$\to$**Q,P,Y,F**);

Λ – вектор внешних факторов;

P = (p_1, p_2, … p_n) – вектор управляемых переменных;

Y = (y_1, y_2, …y_m) – вектор выходных характеристик.

Управляемые переменные **P** и **Y** определяют свойства исследуемой системы, а внешние параметры **Λ** являются, как правило, константами и характеризуют внешнюю среду. При этом, **Λ** и **P** играют роль независимых переменных, а выходные параметры **Y** являются зависящими от них величинами.

Распределение ресурсов

Единица продукции – ООН программных модулей $\mathbf{Q}_i \in \mathbf{Q}$;

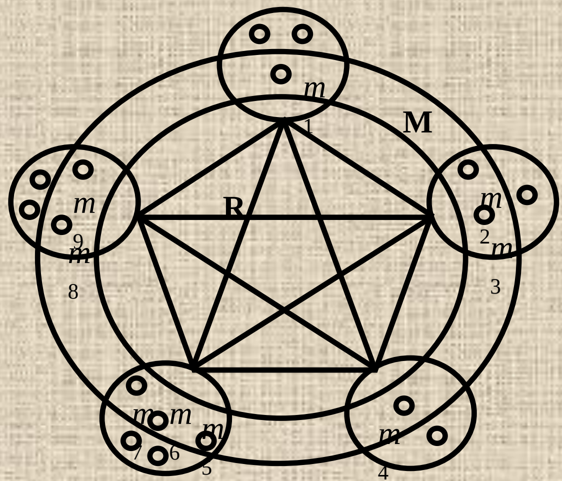
Технологический процесс – фаза принятия решения о включении $m_i \in \mathbf{M}$ в набор $\mathbf{Q}_j$;

Ресурсы – формализованные оценки информационной безопасности модулей, оценки потенциала безопасности пользователей, интегральная оценка безопасности системы; ограничения на запасы ресурсов – определяются неравенствами, задающими условия разрешения или запрета на использование программных модулей ПОН $m_i \in \mathbf{M}$.

Одноуровневая модель

Полносвязная локальная сеть (p2p). Требуется обеспечить права доступа модулей друг к другу.

Исходная модель системы G=(M,V,Q,W,R) V= ∅; Q= ∅ ⇒ G=(M,R) – полный граф. W=R



Функциональная зависимость выходных параметров от независимых переменных

$$y_j\,(m_i,p_1,p_2,\lambda_1,\lambda_2).$$

Векторная модель для структурно-параметрического синтеза Y=F(M,P,Λ).

Критерии информационной безопасности системы:

- **- критерий разрешения модуля к использованию (включению в набор v_i) – $K^+=(p_2- p_1)\geq 0$;**
- **- аддитивный критерий безопасности – $K_\Sigma=\Sigma^M_{j=1}(p_1+p_2)$;**
- **- мультипликативный критерий безопасности – $K_\Pi= \Sigma^M_{j=1}(p_1 * p_2)$;**
- **- критерий эффективности $K_\Delta= \Sigma^M_{j=1} \mid (p_2- p_1) \mid$.**

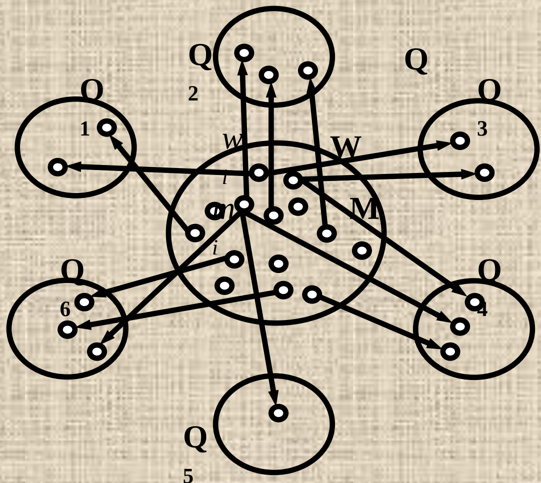
Рабочие выражения для степени принадлежности модуля m_i к ООН Q:

- **- для "жесткого" режима $\tilde{\mu}_{Qj}(m_i)= f^{+}$;**
- **- для "мягкого" режима $\tilde{\mu}_{Qj}(m_i)=f$ или, с учетом параметров информационной безопасности $\tilde{\mu}_{Qj}(m_i)= \lambda_1` f + \lambda_2` (1/ \mid (p_2- p_1) \mid)$, где $\lambda_1`$ и $\lambda_2`$- весовые коэффициенты. $\Sigma\lambda_i`=1$.**

Двухуровневая модель

Локальная сеть конфигурации "звезда" или "кольцо". Требуется обеспечить права доступа модулей, хранящихся на сервере к рабочим станциям пользователей сети.

Исходная модель системы G=(M,V,Q,W,R) V= ∅; R= ∅ ⇒ G=(M,Q,W)



Функциональная зависимость выходных параметров от независимых переменных

$$y_j(m_i, q_i, p_1, p_2, p_3, p_4, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4).$$

Векторная модель для структурно-параметрического синтеза **Y=F(M,Q,P,Λ)**

Критерии информационной безопасности системы:

-критерий разрешения модуля к использованию (включению в набор v_i) – $K^+ = (p_2 - p_1) \geq 0$;

-аддитивный критерий безопасности – $K_\Sigma = \Sigma^M_{j=1}(p_1+p_2+p_3+p_4)$;

-мультипликативный критерий безопасности –$K_\Pi = \Sigma^M_{j=1}(\lambda_1 p_1 * \lambda_2 p_2 * \lambda_3 p_3 * \lambda_4 p_4)$;

-критерий эффективности $K_\Delta = \Sigma^M_{j=1} \mid (p_2 - p_1) \mid$.

Рабочие выражения для степени принадлежности модуля m_i к ООН Q:

-для "жесткого" режима $\mu^\sim_{Qj}(m_i) = f^+$;

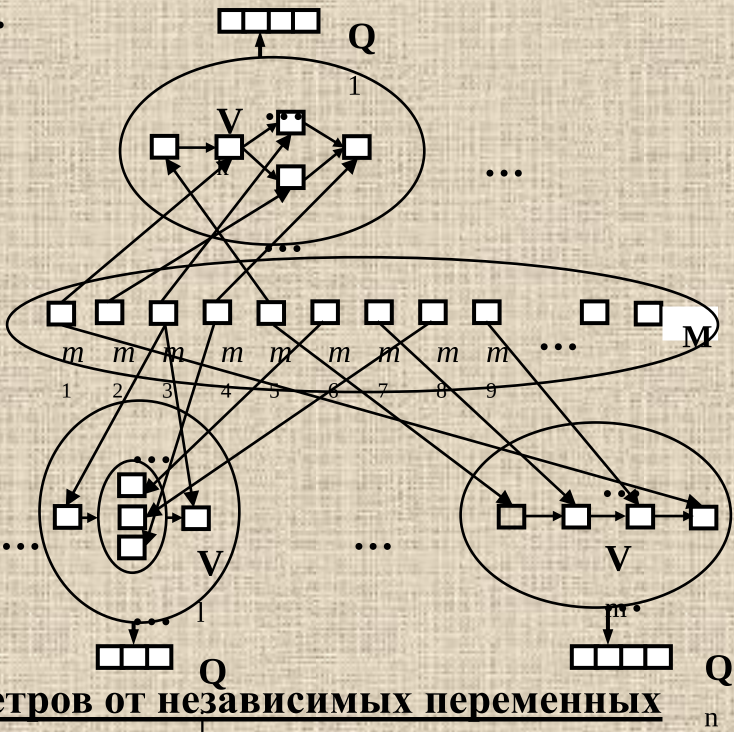
-для "мягкого" режима $\mu^\sim_{Qj}(m_i) = f$ или, с учетом параметров информационной безопасности $\mu^\sim_{Qj}(m_i) = \lambda_1` f + \lambda_2` (1/ (p_2 - p_1))$, где $\lambda_1`$ и $\lambda_2`$- весовые коэффициенты. $\Sigma\lambda_i` = 1$;

-для "мягкого" адаптивного режима $\mu^\sim_{Qj}(m_i) = \lambda_1` f + \lambda_2` (1/ |(p_2 - p_1)|) + \lambda_3` p_3 + \lambda_4` p_4$.

Трехуровневая модель

Локальная сеть "клиент-сервер". Требуется обеспечить права доступа модулей, хранящихся на сервере к рабочим станциям пользователей сети.

Исходная модель системы G=(M,V,Q,W,R)



Функциональная зависимость выходных параметров от независимых переменных

$$y_j(m_i,v_i,q_i,p_1,p_2,p_3,p_4,\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3,\lambda_4)$$

Векторная модель для структурно-параметрического синтеза Y=F(M,V,Q,P,Λ)

Критерии информационной безопасности системы:

-критерий разрешения модуля к использованию (включению в набор v_i) – $K^+ = (p_2 - p_1) \geq 0$;

-аддитивный критерий безопасности – $K_\Sigma = \Sigma^M_{j=1}(p_1+p_2+p_3+p_4)$;

-мультипликативный критерий безопасности – $K_\Pi = \Sigma^M_{j=1}(p_1 * p_2 * p_3 * p_4)$;

-критерий эффективности $K_\Delta = \Sigma^M_{j=1} \mid (p_2 - p_1) \mid$.

Рабочие выражения для степени принадлежности модуля m_i к ООН Q:

-для "жесткого" режима $\tilde{\mu}_{Qj}(m_i) = f^+$;

-для "мягкого" режима $\tilde{\mu}_{Qj}(m_i) = f$ или, с учетом параметров информационной безопасности $\tilde{\mu}_{Qj}(m_i) = \lambda_1` f + \lambda_2` (1/ (p_2 - p_1))$, где $\lambda_1`$ и $\lambda_2`$- весовые коэффициенты. $\Sigma\lambda_i` = 1$;

-для "мягкого" адаптивного режима $\tilde{\mu}_{Qj}(m_i) = \lambda_1` f + \lambda_2` (1/ |(p_2 - p_1)|) + \lambda_3` p_3 + \lambda_4` p_4$.

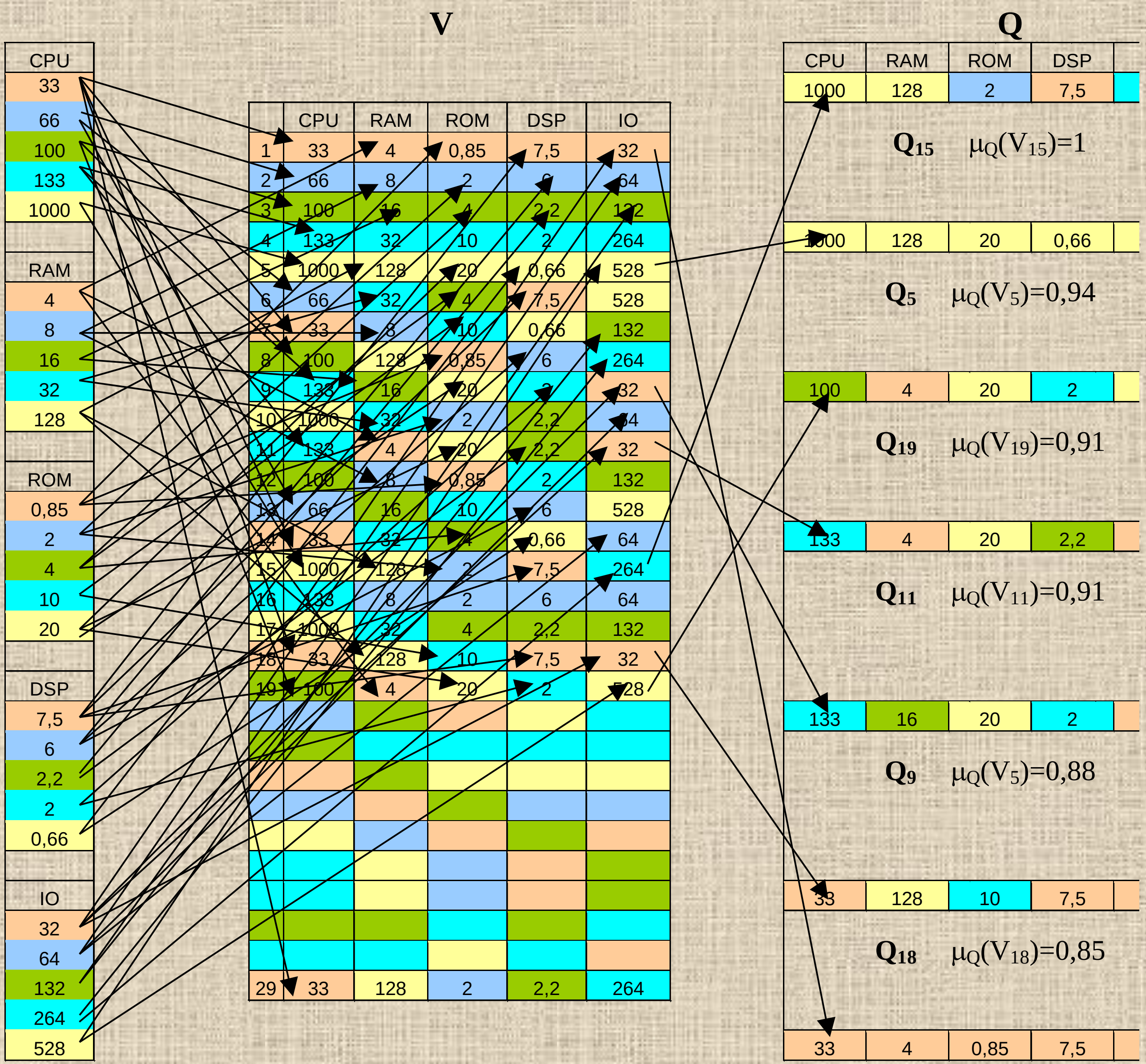
Рациональное интерактивное распределение вычислительных ресурсов при проектировании систем интеллектуальных датчиков

Идентификация модели СИД

p_1– тактовая частота процессора; p_2 – цена процессора; p_3 – объем RAM; p_4 – скорость доступа к RAM; p_5 – цена RAM; p_6 – объем ROM; p_7 – скорость доступа к ROM; p_8 – цена ROM; p_9 – быстродействие АЦП; p_{10} – цена АЦП; p_{11} – скорость обмена данными контроллера связи с типовыми интерфейсами; p_{12} – цена контроллера. Тенденции влияния изменений параметров элементов ВС на величину целевой функции: p_1, p_3, p_4, p_6, p_7, p_9, p_{11} – нормальные. Математическое описание j-го варианта СИД:
y_{j} $(m_i,v_i,q_i,p_1,p_2,p_3, p_4,p_5, p_6,p_7,p_8,p_9, p_{10},p_{11},p_{12},\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3,\lambda_4,\lambda_5,\lambda_6,\lambda_7,\lambda_8,\lambda_9,\lambda_{10},\lambda_{11},\lambda_{12})$.
Выражения критериев:

- аддитивный критерий качества варианта реализации СИД – K_Σ ;
- мультипликативный критерий качества варианта реализации СИД – K_Π;
- критерий эффективности принимаемых решений K_Δ.

Степень принадлежности модуля m_i к объектно-ориентированному набору $\mathbf{Q}_j$: для "жесткого" режима формирования $\mathbf{Q}$ – $\mu_{\mathbf{Q}j}(m_i)=k_{\mathbf{Q}j}(m_i)/N$, где $k_{\mathbf{Q}j}$ (m_i) – количество вхождений m_i в $\mathbf{Q}_j$ с учетом совместимости элементов ИД между собой; N – общее количество обращений к m_i для принятия проектных решений в виртуальной фазе формирования промежуточного множества $\mathbf{V}$; для "мягкого" режима формирования $\mathbf{Q}$ – $\mu_{\mathbf{Q}\mathrm{j}}(m_i)=\lambda_1\text{\`{}}\, k_{\mathbf{Q}\mathrm{j}}(m_i)/N + \lambda_2\text{\`{}}\lambda_i+ \lambda_3\text{\`{}}(1/\lambda_i \left|1- p_{max}\right|)$, где $\lambda_i$`– весовые коэффициенты.



Платформа	K_Σ	K_Δ	$k_{Q}(m_i)/N$	μ_{Qj}
1	0,58038	0,66891	0,72	0,84
2	0,45801	0,25626	0,08	0,34
3	0,46464	0,22365	0,2	0,38
4	0,61496	0,26351	0,16	0,45
5	1	1	0,2	0,94
6	0,66086	0,47782	0,4	0,66
7	0,62292	0,45584	0,28	0,58
8	0,63907	0,48731	0,44	0,67
9	0,62417	0,54049	0,88	0,88
10	0,61598	0,37221	0,6	0,68
11	0,66667	0,64752	0,8	0,91
12	0,44762	0,26142	0,24	0,41
13	0,58538	0,35912	0,32	0,54
14	0,64139	0,46907	0,28	0,60
15	0,77694	0,67519	0,88	1,00
16	0,44001	0,23845	0,2	0,38
17	0,62977	0,35933	0,08	0,46
18	0,80901	0,77716	0,4	0,85
19	0,70454	0,65689	0,76	0,91
20	0,53465	0,38049	0,28	0,51
21	0,52503	0,24196	0,44	0,52
22	0,67601	0,37589	0,24	0,55
23	0,76117	0,76075	0,36	0,80
24	0,50646	0,35163	0,4	0,54
25	0,55688	0,47156	0,2	0,53
26	0,67158	0,55992	0,64	0,80
27	0,59668	0,31958	0,36	0,55
28	0,70759	0,54338	0,4	0,71
29	0,68	0,42854	0,28	0,30

Работа выполнена на кафедре Компьютерные технологии

в проектировании и производстве

Института радиоэлектроники и информационных технологий

Нижегородского государственного технического университета

им. Р.Е.Алексеева

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ