

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/326753362>

# TYPICAL COMBINATORIAL SCHEMES FOR SUPPORT OF MODULAR SYSTEMS WITH MORPHOLOGICAL MODEL (in Russian)

**Presentation** · November 2013

---

CITATIONS

0

## 1 author:



**Mark Sh. Levin**

Russian Academy of Sciences

**183** PUBLICATIONS **806** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

**Some of the authors of this publication are also working on these related projects:**



Scheduling [View project](#)

# **TYPICAL COMBINATORIAL SCHEMES FOR SUPPORT OF MODULAR SYSTEMS WITH MORPHOLOGICAL MODEL**

**Integrated material (presentation: Oct/Nov 2013)**

# **ТИПОВЫЕ КОМБИНАТОРНЫЕ СХЕМЫ ПОДДЕРЖКИ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ С МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬЮ**

**Интегрированный материал (выступление: окт/нояб 2013)**

**Марк Шмуилович ЛЕВИН  
ИППИ РАН  
<http://www.mslevin.iitp.ru/>**

**Москва, 2013**

### ПЛАН:

#### ЧАСТЬ 1. Введение (глава 1)

#### ЧАСТЬ 2. Комбинаторные схемы (главы 2,3,4,5,6,7,8,9):

- \* построение иерархической модели системы

- \*оценивание

- \*проектирование – комбинаторный синтез

- \*выявление узких мест

- \*улучшение

- \*многостадийное проектирование (траектория системы)

- \*комбинаторная эволюция и прогноз

(вспомогательная схема: агрегация модульных решений)

#### ЧАСТЬ 3. Примеры приложений (главы 10,11,12,13,14,15,16,17,18):

- \*программные системы \*морфологический подход к размещению

- \*коммуникационные системы \*строительство \*биомедицина

- \*телеметрия, сенсор \*менеджмент \*преподавание

#### ЧАСТЬ 4. Заключение

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ:**

**А.Обобщенные подходы и методы  
моделирования, оценивания, синтеза, анализа систем и др.**

**Б.Применение в различных областях  
(компьютерные системы, информационные системы, системы управления,  
механические системы, электронные системы и др.)**

**ДАННАЯ РАБОТА:**

**А.Обобщенные подходы и методы  
моделирования, оценивания, синтеза, улучшения, анализа эволюции  
модульных систем (с иерархической морфологической моделью)  
на основе моделей комбинаторной оптимизации и  
многокритериального принятия решений**

**Б.Применение в различных областях  
(компьютерные системы, системы связи, системы управления, менеджмент,  
организационно-технические системы, биомедицина, строительство,  
образование)**

## Композиция комбинаторных системных схем (концептуально)



**Жизненный цикл  
(12 лет-> 2 года):**  
1.Проектирование  
2.Производство  
3.Тестирование  
4.Складирование  
5.Маркетинг  
6.Эксплуатация  
7.Тех.обсл-вание  
8.Утилизация

Иерархическая  
модель системы:  
программа,  
устройство, план,  
стандарт, протокол

## КОМБИНАТОРНЫЕ СИСТЕМНЫЕ СХЕМЫ (системные задачи) (7+1)

- 1.Моделирование системы  
(структурная модель типа И-ИЛИ графа)
- 2.Оценивание (системы, ее частей)
- 3.Комбинаторный синтез (проектирование,  
построение конфигурации)
- 4.Выявление «узких мест»
- 5.Улучшение, расширение, адаптация,  
реконфигурация
- 6.Много-стадийное проектирование  
(построение траектории системы)
- 7.Комбинаторная эволюция, прогноз  
(траектория поколения системы и прогноз)
- 8.Плюс: схема агрегация модульных решений

↑ ↑ ↑ ↑ ↑  
Модели комбинаторной оптимизации и принятия решений:  
рюкзак, блочный рюкзак, ранжирование, морфологическая  
клика, назначения, кластеризация, покрывающие деревья,  
поиск медианы и др.

## КОМБИНАТОРНЫЕ СИСТЕМНЫЕ СХЕМЫ (задачи) (7+1)

1. Моделирование системы: систематизация, схемы, использование
2. Оценивание (системы, ее частей): систематизация, шкалы (новые), задачи/модели интеграции
3. Комбинаторный синтез: систематизация, модель морфологической клики, модели с интервальными оценками в виде мультимножеств
4. Выявление «узких мест»: систематизация, новые схемы, выявление групп элементов, динамические задачи (clique-based fusion)
5. Улучшение, расширение, адаптация, реконфигурация: систематизация, новые схемы/модели
6. Построение траектории модульного системного решения системы: новые схемы/модели
7. Моделирование комбинаторной эволюция, прогноз (траектория поколения системы и прогноз): новые схемы/модели
8. Агрегация модульных решений: систематизация, новые схемы/модели

**Общий «взгляд» на результаты**

<p align="center"><b>1.</b></p> <p><b>Построение иерарх. модели системы: эксперт. схемы, иерарх. кластеризация, онтология, систематизация</b></p>	<p align="center"><b>2.</b></p> <p><b>Оценивание иерарх. систем: новые шкалы (решетки, множества), методы оценки, методы интеграции оценок, систематизация</b></p>	<p align="center"><b>3.</b></p> <p><b>Комбинаторный синтез: иерархический морфологический метод, модель морфологической клики, модели с оценками в виде множеств (+рюкзак)</b></p>	<p align="center"><b>4.</b></p> <p><b>Выделение «узких» мест: новые схемы, динамические задачи (клика и др.), систематизация</b></p>	<p align="center"><b>5.</b></p> <p><b>Улучшение: новые схемы и модели ( модель морфологической клики, модели блочного рюкзака, покрытие структурами), систематизация</b></p>	<p align="center"><b>6.</b></p> <p><b>Траектория системы: новые схемы (иерархический морфологический метод, модели рюкзака), систематизация</b></p>	<p align="center"><b>7.</b></p> <p><b>Эволюция системы, прогноз: новые схемы (морфологический метод, модели рюкзака, др.) систематизация</b></p>
---	--	--	--	--	---	--



# МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА – ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЗАДАЧИ

Принятие решений  
(с 1957 г., Г. Саймон)

М.Ш. Левин

Герберт Саймон, 1993

Альтернатива

Составная альтернатива

Задачи:  
генерация,  
анализ/оценивание  
,  
сравнение, выбор

Задачи (на уровне элементов, на уровне составной альтернативы): Анализ/оценивание, сравнение, выбор, построение-синтез, агрегирование, модификация, моделирование эволюции, прогнозирование

## СОСТАВНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА (МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА):

- 1.Элементы: состав (множество)
- 2.Связи элементов (например, совместимость)
- 3.Структура системы

## ИССЛЕДУЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ:

- 1.Элемент-альтернатива
- 2.Множества альтернатив
- 3.Оценки элементов
- 4.Совместимость элементов
- 5.Оценки совместимости
- 6.Структура системы (дерево, оргграф)
- 7.Оценки структур (близости и др.)

## ПРИМЕРЫ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ:

- 1.Элемент множества
2. Множество
- 3.Цепочка
- 4.Дерево
- 5.Граф (оргграф)
- 6.Комбинации объектов (например: дерево и несколько множеств)

# Уровневая структура: задачи/модели-методы/процедуры-приложения

## Уровень 4: Приложения (на основе модульных систем)

Программы	Информационный поиск	Маркетинг	Системы управления	Системы связи, сети	Стандарты	Биомедицина	Системы требований	Системы образования	и др.
-----------	----------------------	-----------	--------------------	---------------------	-----------	-------------	--------------------	---------------------	-------

## Уровень 3: Типовые системные задачи-схемы (frameworks)

Построение иерарх. модели системы	Оценивание систем	Синтез систем	Выявление узких мест	Улучшение, расширение	Построение траектории системы	Моделирование эволюции, прогноз	Агрегация систем
-----------------------------------	-------------------	---------------	----------------------	-----------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------

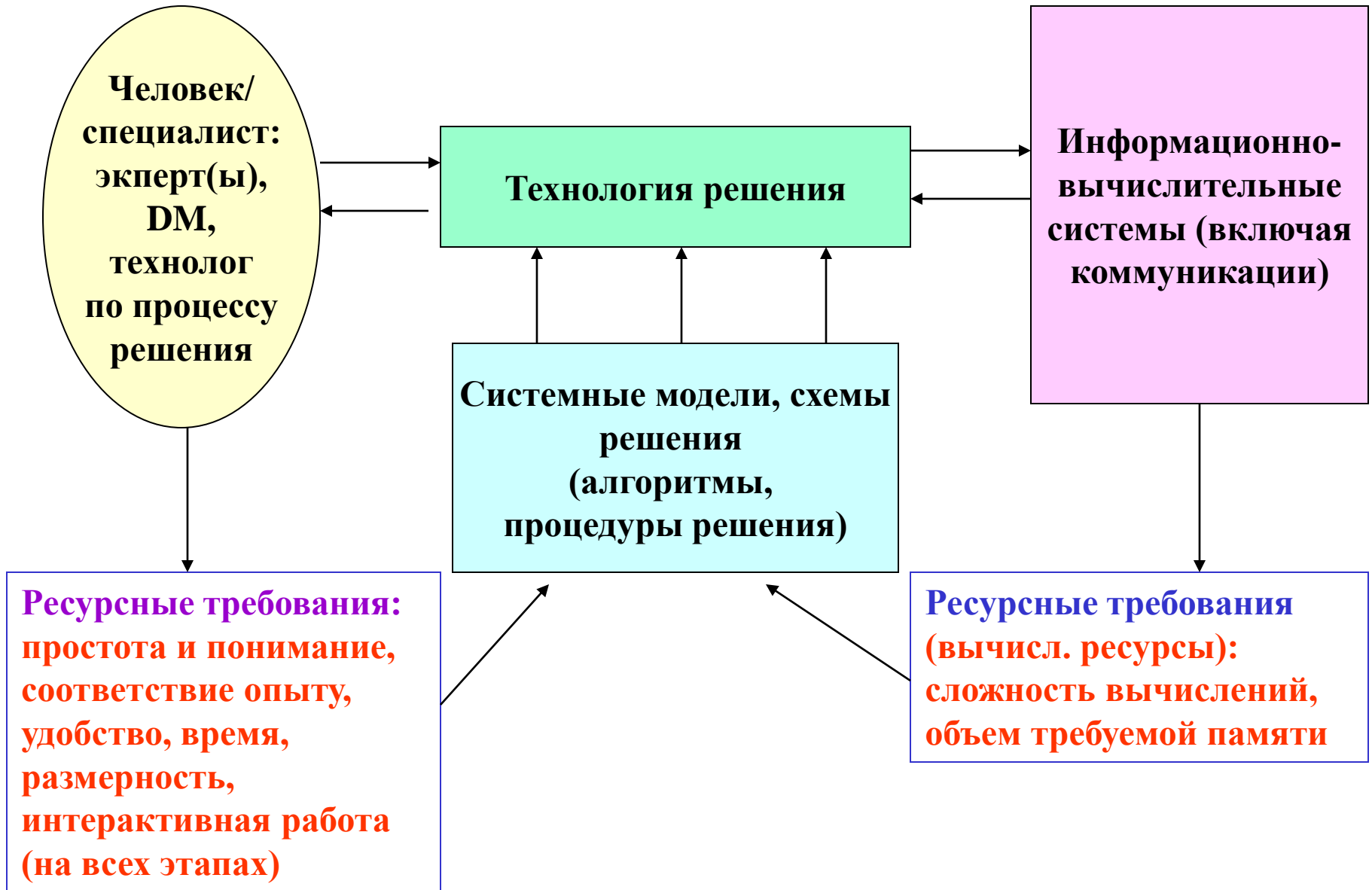
## Уровень 2: Составные задачи/модели/процедуры

Многокритериальные задачи комбинаторной оптимизации (рюкзак, блочный рюкзак, назначения, порывающие деревья и др.)	Методы/процедуры построения иерархий	Методы/процедуры построения медиан	...
--	--------------------------------------	------------------------------------	-----

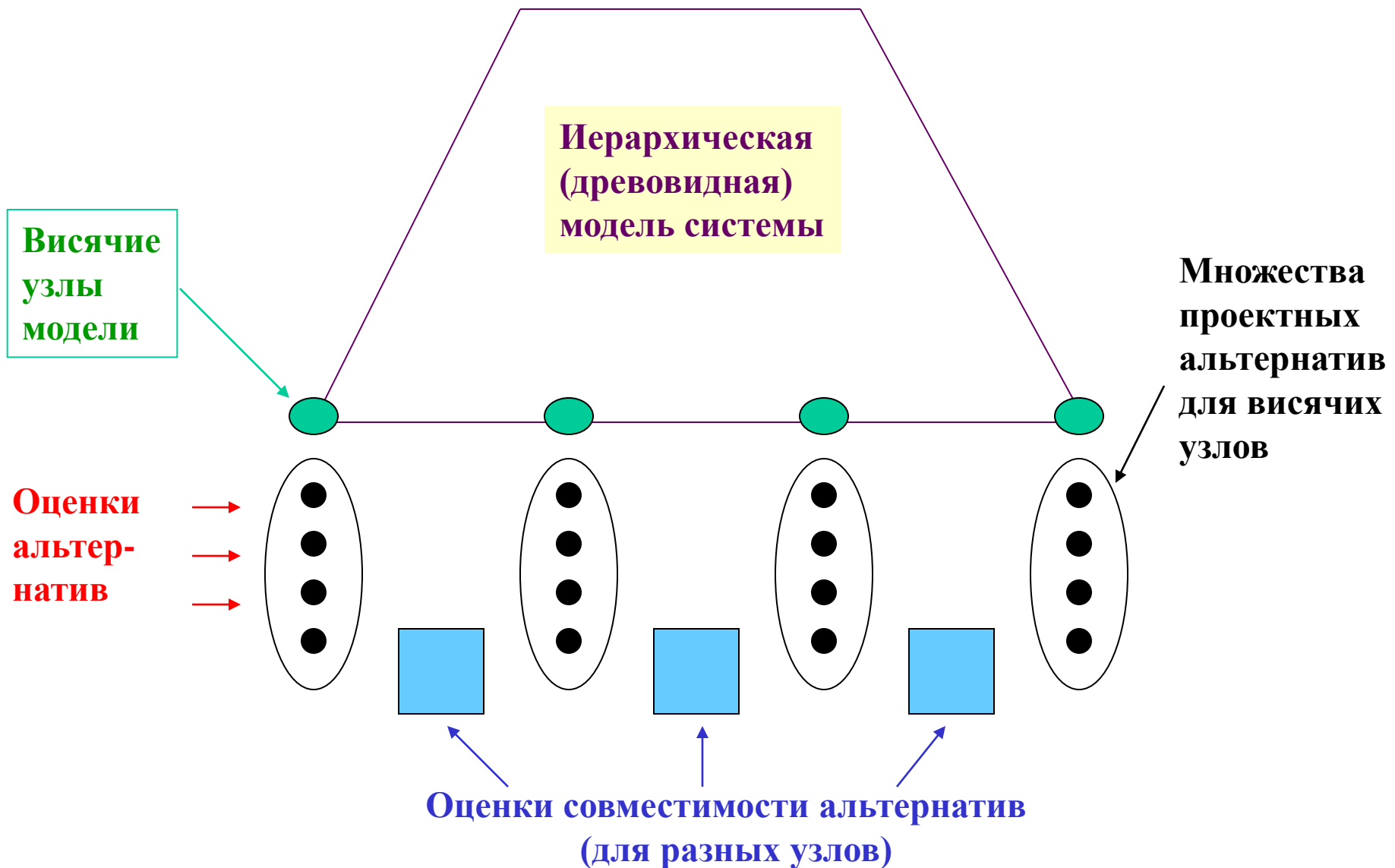
## Уровень 1: Базовые задачи комбинаторной оптимизации и принятия решений

Ранжирование	Рюкзак	Блочный рюкзак	Кластеризация	Назначение	Покрывающие деревья	Клика	и др.
--------------	--------	----------------	---------------	------------	---------------------	-------	-------

## О ресурсных требованиях



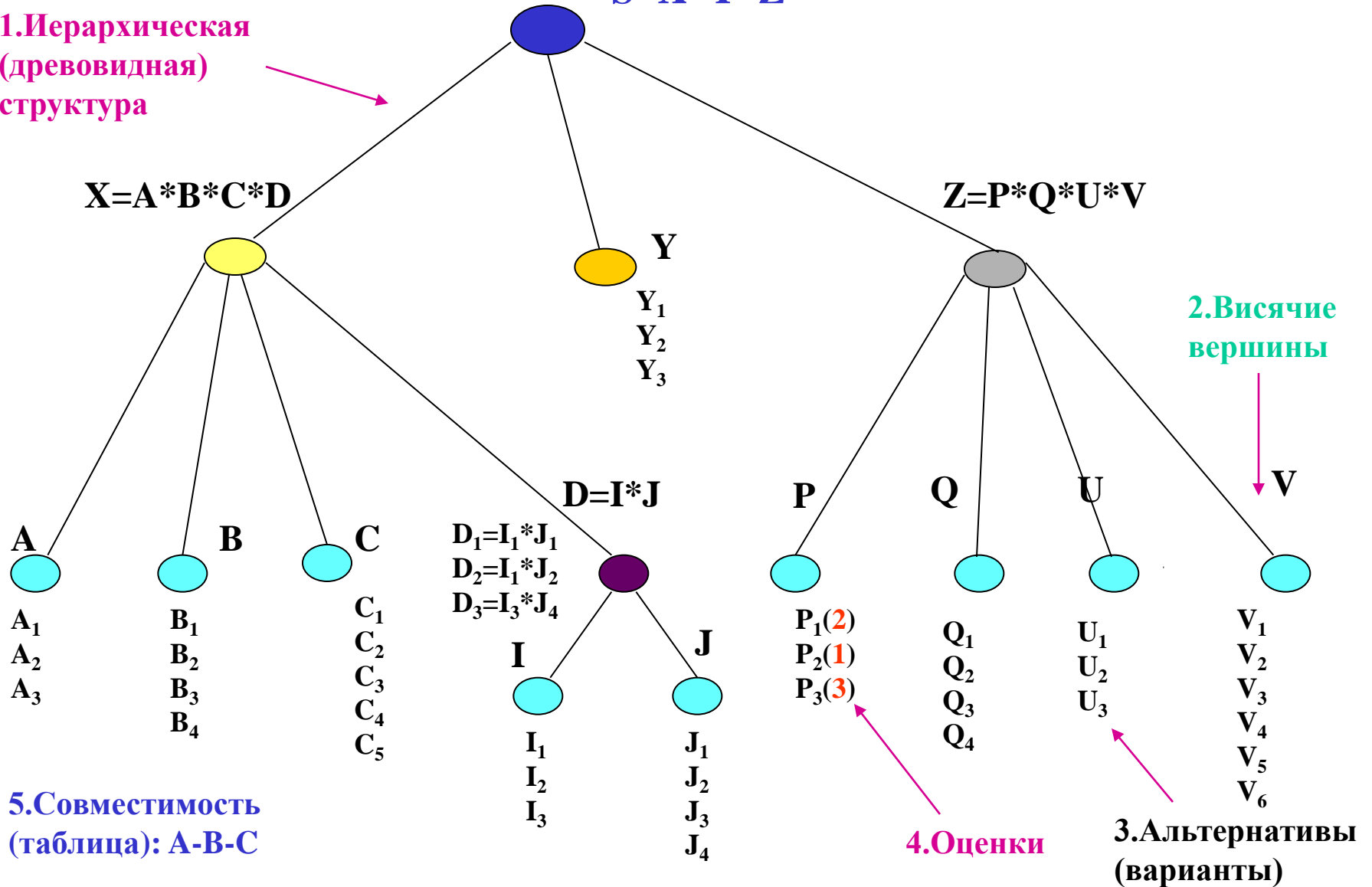
# Иерархическая модель системы (и морфологическая модель)



# Морфологическая модель: пример

$$S = X * Y * Z$$

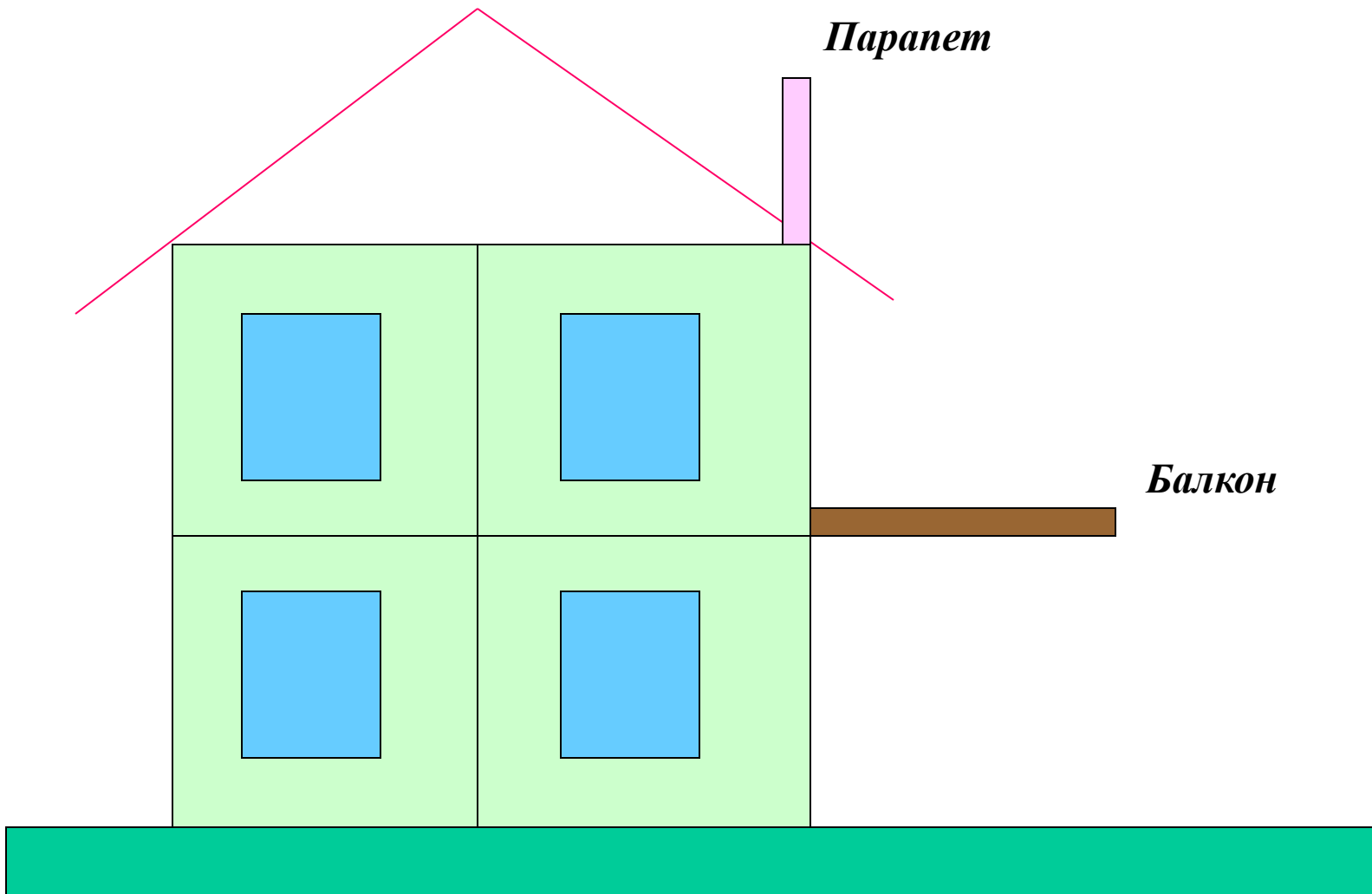
1. Иерархическая (древовидная) структура



**Пример для здания**

*Парапет*

*Балкон*



# Иерархическая морфологическая модель здания

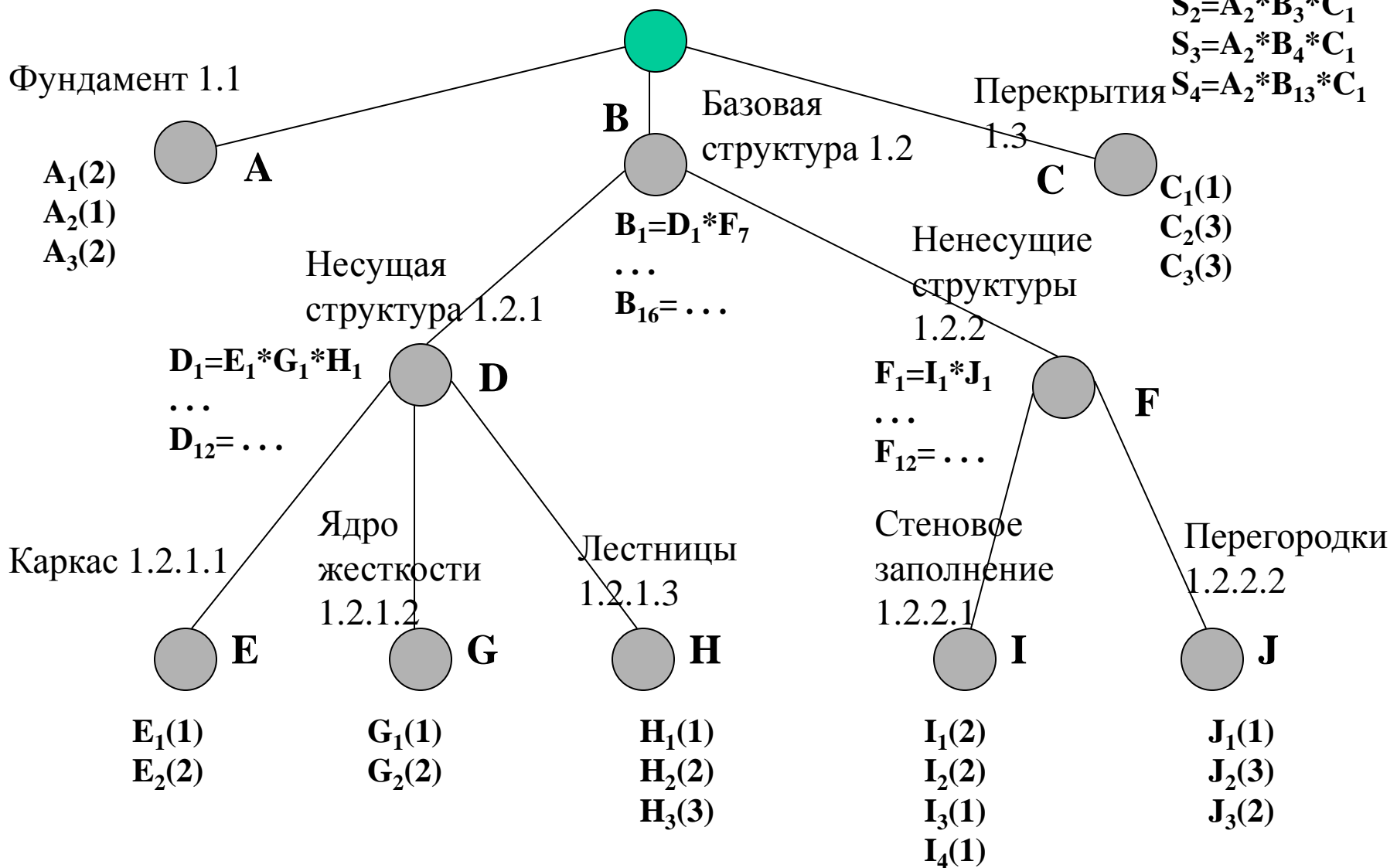
Здание:  $S = A * B * C$

$$S_1 = A_2 * B_1 * C_1$$

$$S_2 = A_2 * B_3 * C_1$$

$$S_3 = A_2 * B_4 * C_1$$

$$S_4 = A_2 * B_{13} * C_1$$



**Альтернативы**

**Фундамент А :  $A_1$  (strip foundation),  $A_2$  (bedplate foundation),  $A_3$  (isolated parts)**

**Каркас Е :  $E_1$  (monolith frame),  $E_2$  (precast frame)**

**Ядро жесткости G :  $G_1$  (monolith rigid core),  $G_2$  (precast rigid core)**

**Лестницы H :  $H_1$  (monolith staircase),  $H_2$  (precast staircase),  $H_3$  (composite staircase)**

**Стеновой заполнение I :  $I_1$  (small elements),  $I_2$  (curtain panel walls),  
 $I_3$  (precast enclose panel walls),  $I_4$  (frame walls)**

**Перегородки J :  $J_1$  (precast panel walls),  $J_2$  (small elements),  $J_3$  (frame walls)**

**Перекрытия C :  $C_1$  (monolith slabs),  $C_2$  (composite slabs),  $C_3$  (precast slabs)**



## **Схема 1: Построение иерархической модели**

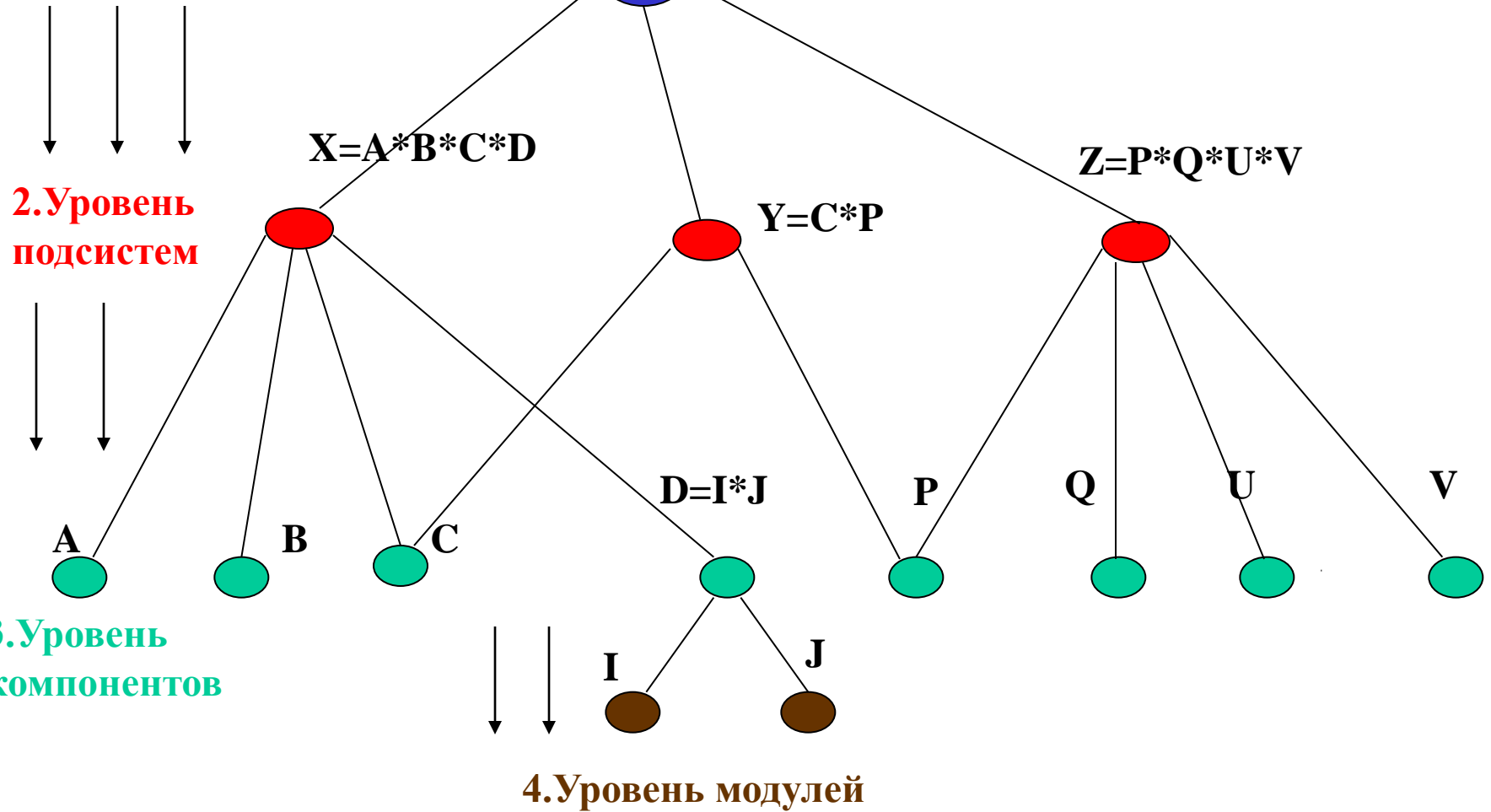
### **Методы:**

- 1.Процедура «сверху-вниз» (декомпозиция)**
- 2.Иерархическая кластеризация (снизу-вверх)**
- 3.Онтологии**
- 4.Покрывающие деревья (минимальное покрывающее дерево, минимальное дерево Штейнера, покрывающее дерево с максимальным числом терминальных вершин)**
- 5.Построение многоуровневых структур (уровни, топология на уровнях, связи между уровнями)**
- 6.Построение морфологической модели**

Пример: построение иерархической модели «сверху-вниз»

1.Уровень системы

$$S=X*Y*Z$$



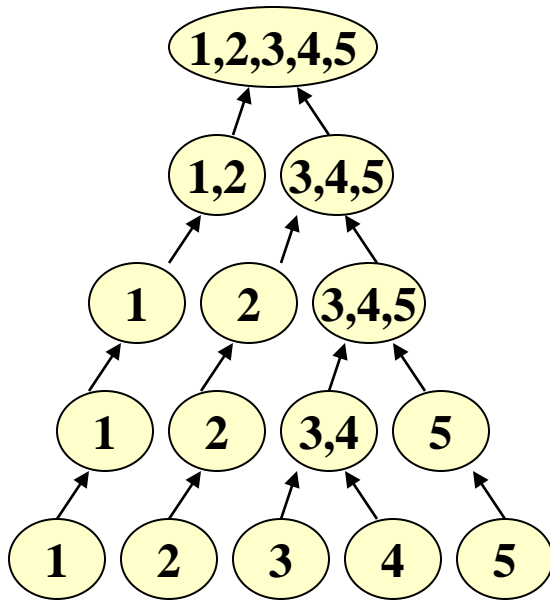
2.Уровень подсистем

3.Уровень компонентов

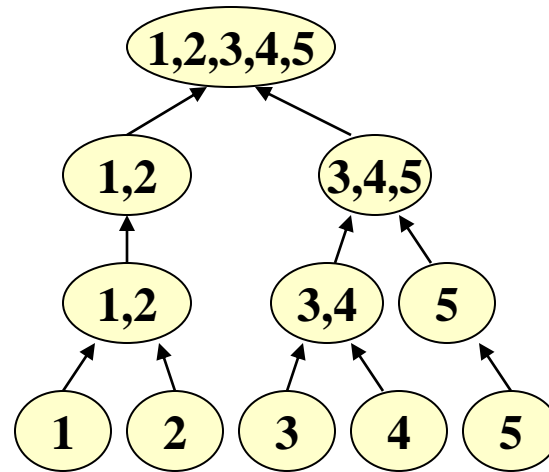
4.Уровень модулей

## Примеры: построение иерархической модели «снизу-вверх»

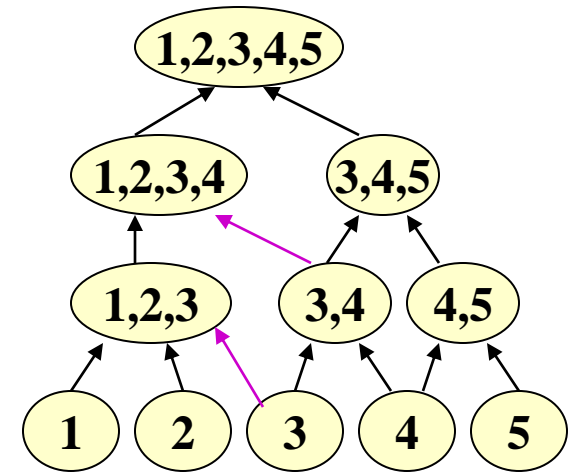
Исходные данные: множество элементов и матрица их попарной близости



**Базовый  
агломеративный  
алгоритм  
(1 шаг – одно слияние),  
результат-дерево**



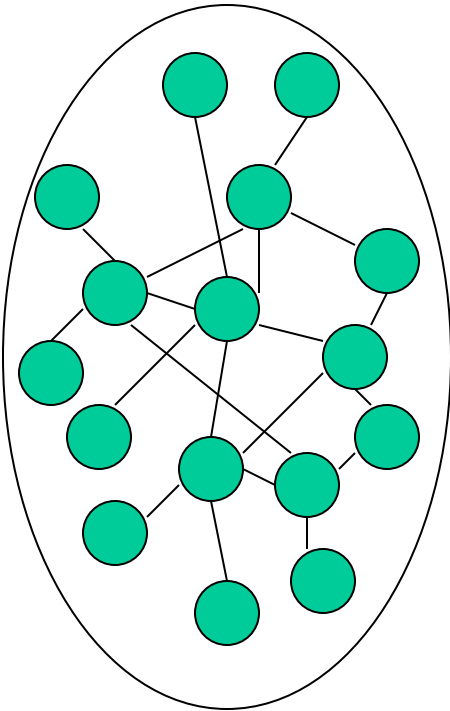
**Агломеративный  
алгоритм (1 шаг –  
несколько слияний),  
результат-дерево**



**Агломеративный  
алгоритм (1 шаг –  
несколько слияний,  
один элемент может  
участвовать в  
нескольких слияниях),  
результат-иерархия**

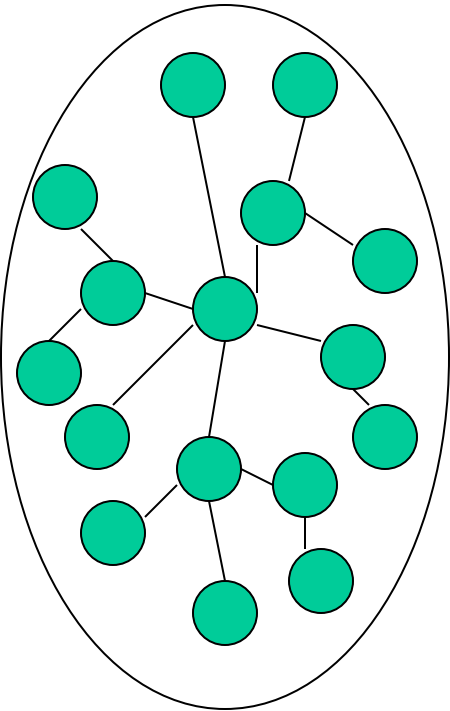
**Пример: построение покрывающего дерева и дерева Штейнера**

**Исходная сеть**

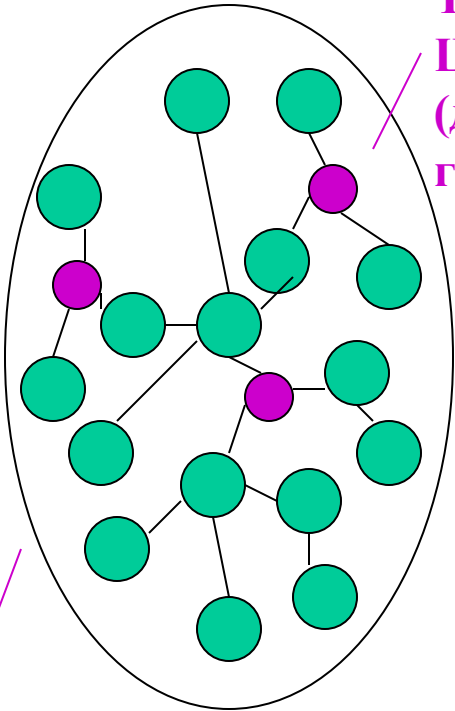


**Задача 1:  
Построение покрывающего дерева**

**Покрывающее дерево**



**Покрывающее дерево Штейнера**

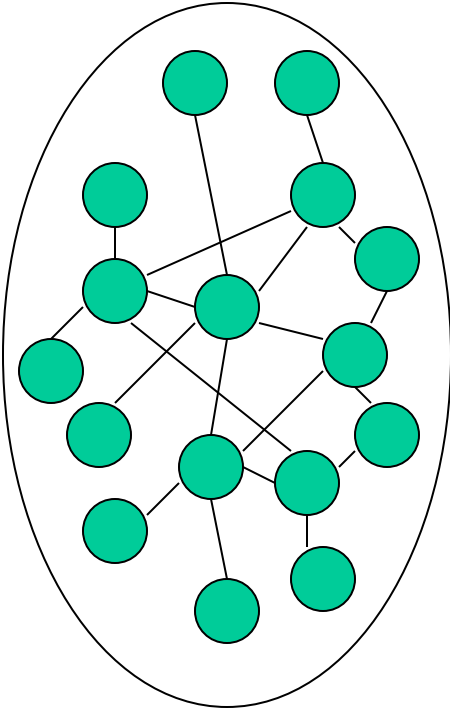


**Точки Штейнера (для треугольников)**

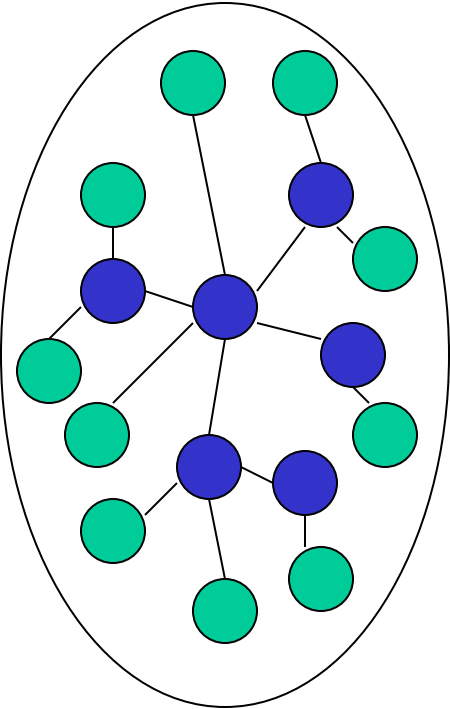
**Задача 2:  
Построение дерева Штейнера (здесь: преобразование покрывающего дерева в дерево Штейнера)**

**Пример: построение 2-уровневой модели–дерево с максимальным числом терминалов**

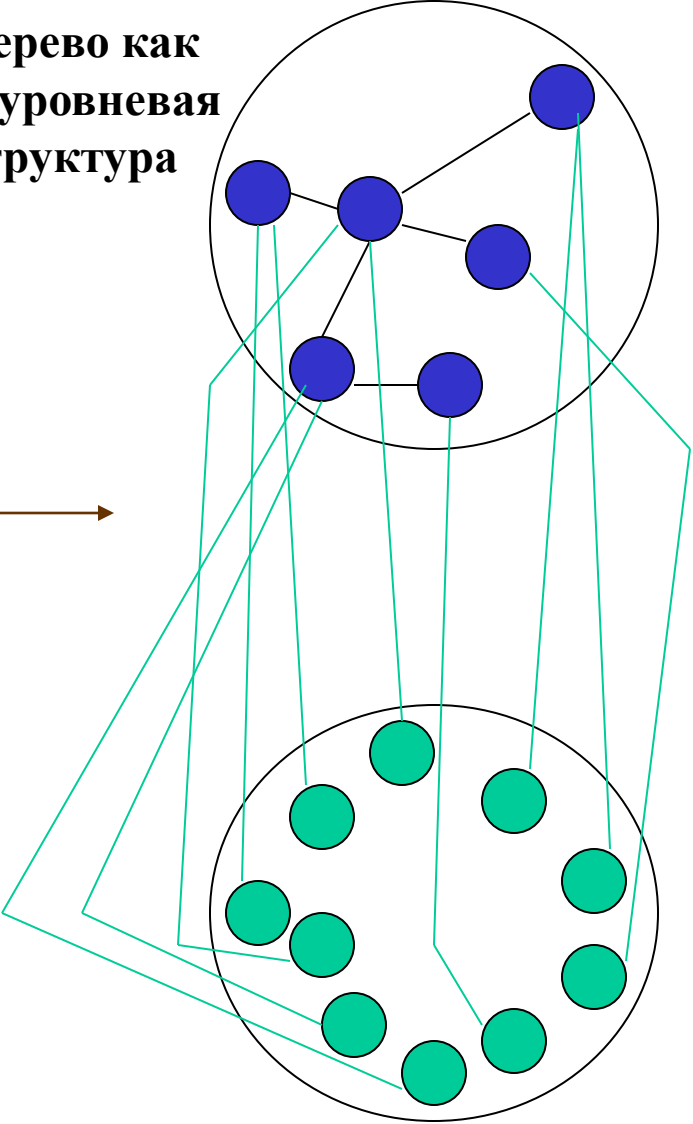
**Исходная сеть**



**Покрывающее дерево**



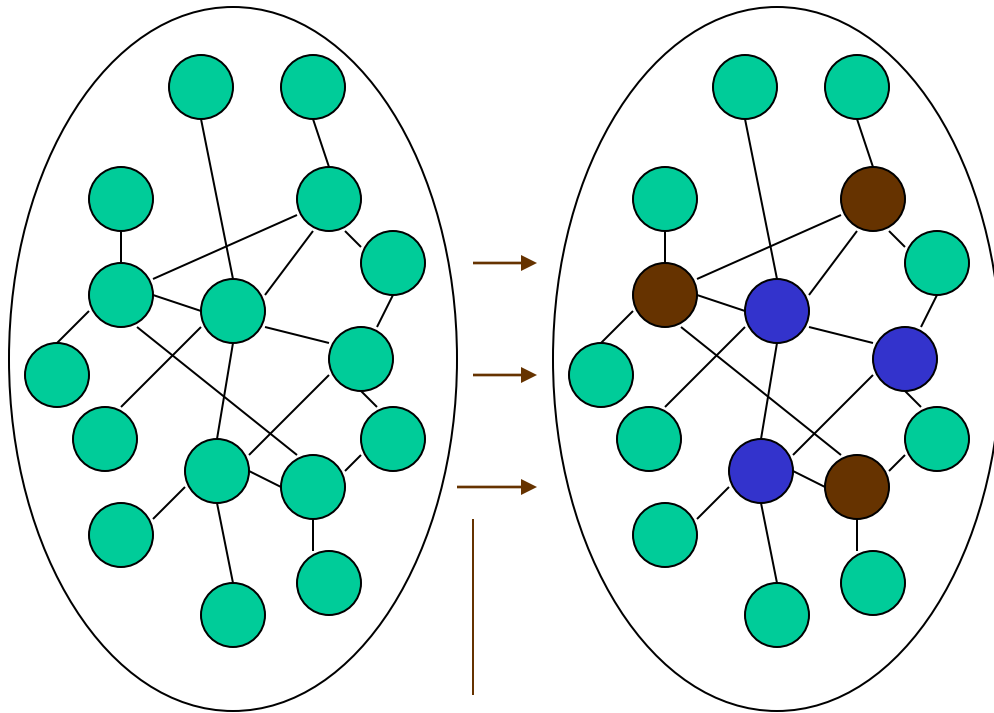
**Дерево как 2-уровневая структура**



**Задача 1:  
Построение покрывающего  
дерева с максимальным числом  
терминальных узлов**

## Пример: построение многоуровневой модели

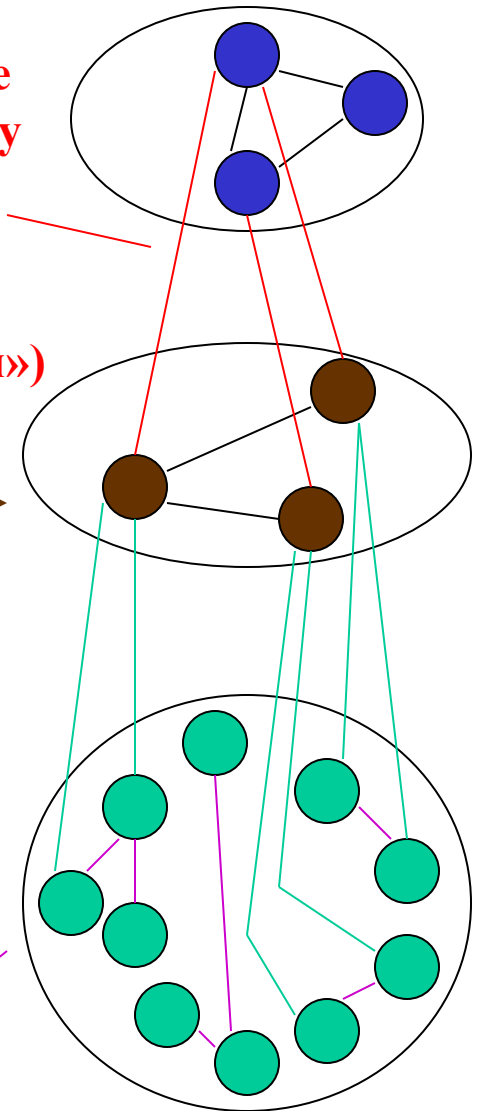
Исходная  
сеть



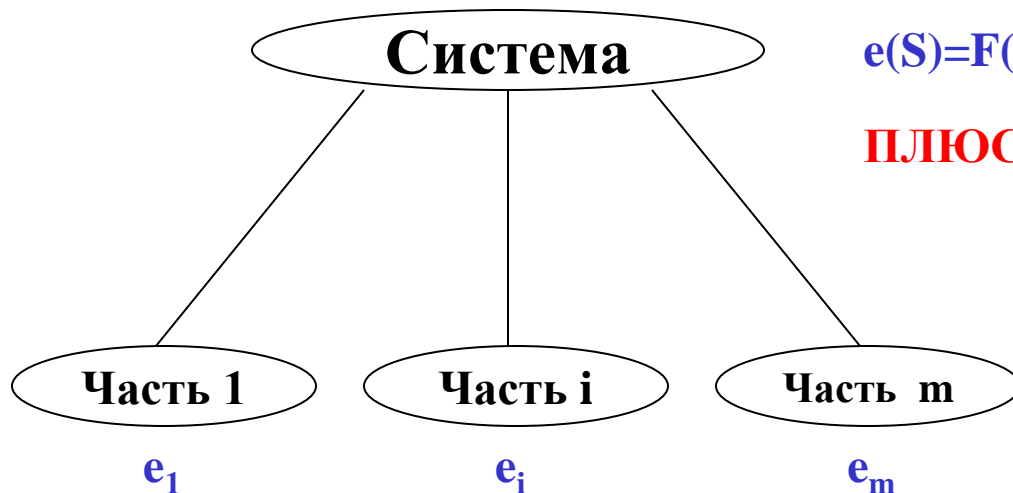
**Задача 1:**  
Распределение узлов  
по уровням (например,  
многокритериальное  
ранжирование)

**Задача 3:**  
Соединение  
узлов между  
уровнями  
(например,  
«задача о  
назначении»)

**Задача 2:**  
Построение  
топологии  
на уровне



## Схема 2: Оценивание: (1) система, (2) часть/компонент



$$e(S) = F(e_1, \dots, e_i, \dots, e_m)$$

**ПЛЮС:** оценка совместимости частей

**Шкалы/оценки  
качества:**

1. Количественная
2. Порядковая
3. Векторные оценки
4. Частичный порядок

**Задачи:**

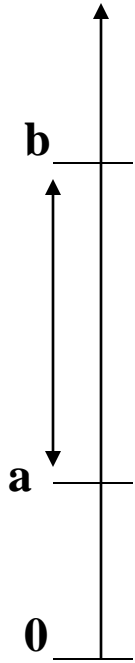
1. Оценивание (объекта): измерения, вычисления, испытания, эксперты и т.п.
2. Трансформация шкалы: (например: количественную в порядковую)
3. Интеграция шкал (несколько оценок в одну)

**Дополнительно:**

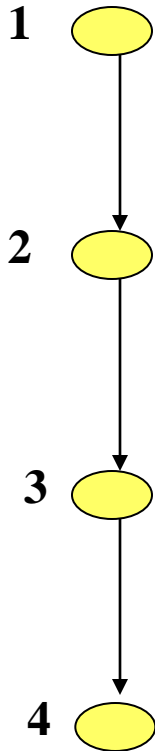
(а) близость (б) выравнивание (в) усреднение

# Шкалы

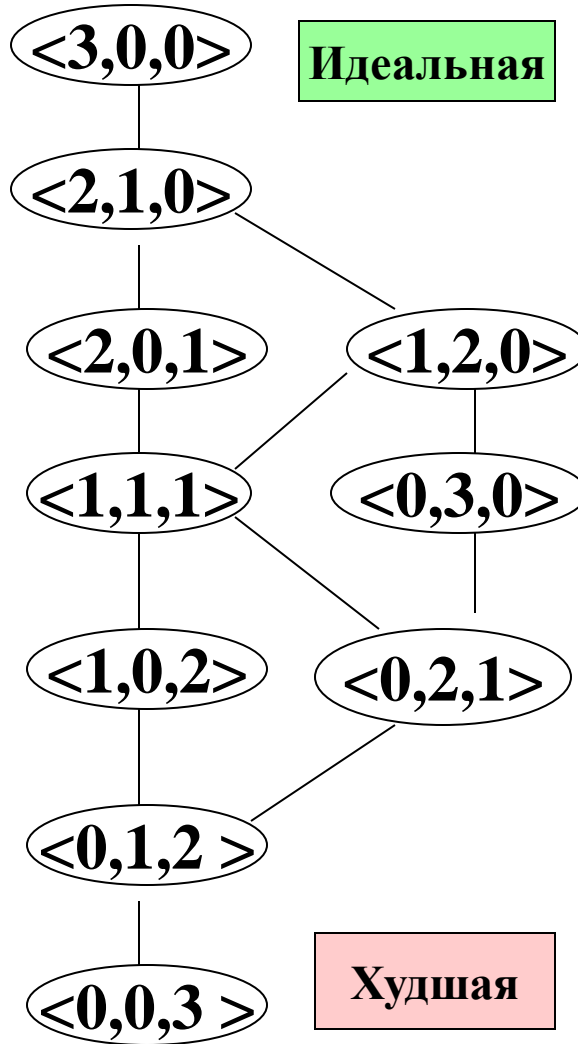
**1. Количественная**  
[a,b]



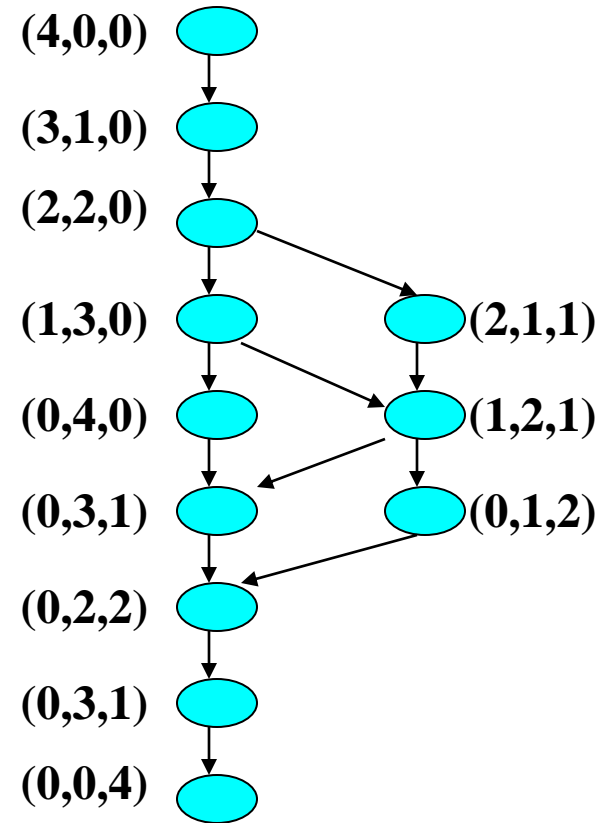
**2. Порядковая**



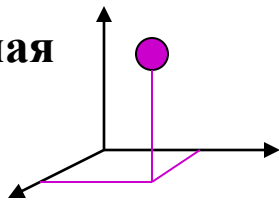
**4. Частичный порядок**



**5. Интервальная шкала в виде мультимножества  $P^{3,4}$**   
( $P^{l,m}$ ,  $l$  – число уровней базовой порядковой шкалы,  $m$  – число меток)



**3. Векторная оценка**  
( $e_1, e_2, e_3$ )



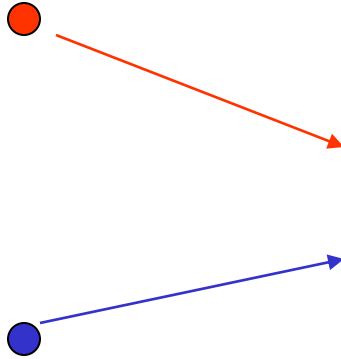
A, B, C – 4 элемента (метки)



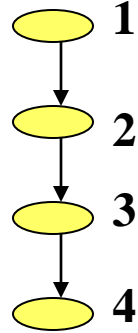
# Оценивание: порядковая шкала, шкала на основе мультимножеств

Альтернатива X

Оценивание:



Порядковая шкала



$e(X) = 2$

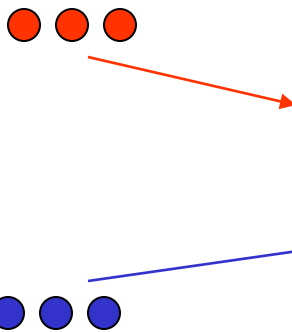
$e(Y) = 3$

Альтернатива Y

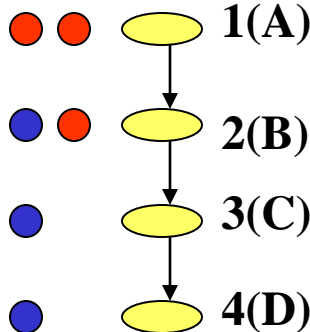
В интервальной оценке:  
ABD – запрещено  
(как и в функции принадлежности у Заде)

Альтернатива X

Оценивание (3 метки):

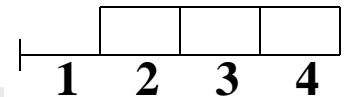
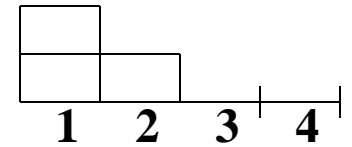


Порядковая шкала



$e(X) = AAB = (2,1,0,0)$

$e(Y) = BCD = (0,1,1,1)$

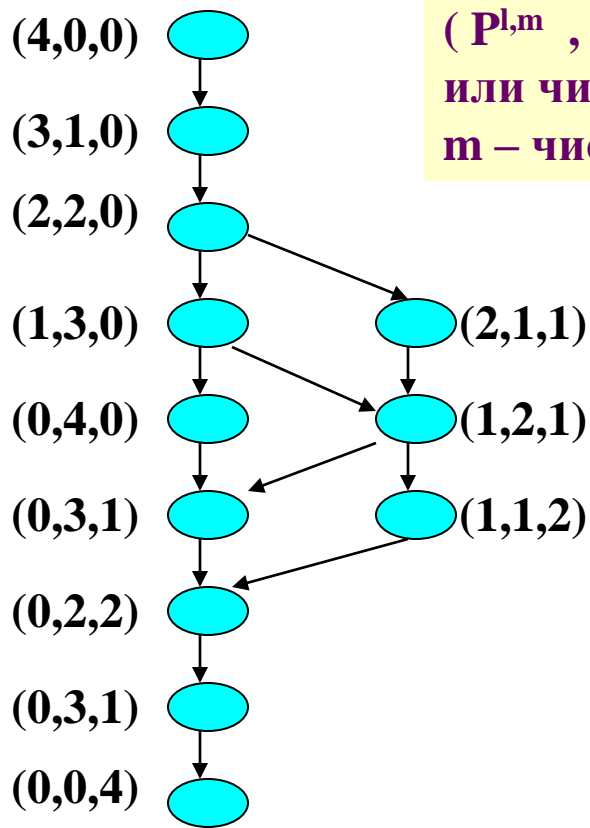


Альтернатива Y

$l=4, m=3, \text{ задача } P^{4,3}$

# Коэффициент мультимножества (число элементов в шкале на базе мультимножества)

**Интервальная шкала в виде мультимножества  $P^{3,4}$**   
 (  $P^{l,m}$  ,  $l$  – число уровней базовой порядковой шкалы или число элементов базового множества,  
 $m$  – число меток или число элементов в мультимножестве)



**A, B, C – 4 элемента (метки)**

**Коэффициент мультимножества (multiset coefficient/ multiset number) от  $l, m$**

$$\frac{l(l+1)(l+2) \dots (l+m-1)}{m!}$$

**При  $l=3, m=4$  имеем:**  
**число элементов в шкале 15**  
**(в случае интервальной оценки, меньше - 12)**

**(при  $l=4, m=3$  число элементов в шкале - 20)**

**СХЕМА 3: комбинаторный синтез (построение конфигурация, проектирование)**

**МЕТОДЫ:**

**1.Морфологический анализ и модификации**

**2.ИММП**

**3.Блочный рюкзак**

# Задача синтеза как множественный выбор

Система  $S = P^1 * \dots * P^i * \dots * P^m$

Пример:  $E_1 = A^1_3 * \dots * A^i_2 * \dots * A^m_1$

$P^1$



$A^1_1$

...

$P^i$



$A^i_1$

...

$P^m$



$A^m_1$

...

$A^1_{q1}$

...

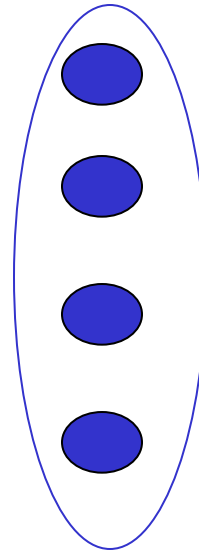
$A^i_{qi}$

...

$A^m_{qm}$

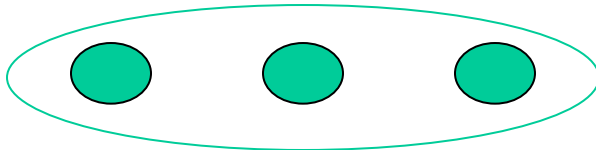
# МОРФОКЛИКА

**ОБЩИЙ СЛУЧАЙ:  
К-дольный граф**

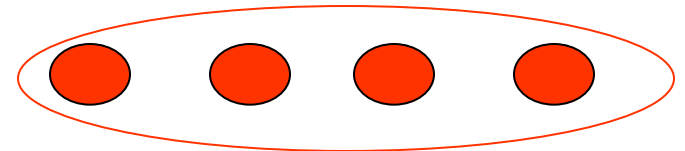


**ДОЛЯ 1**

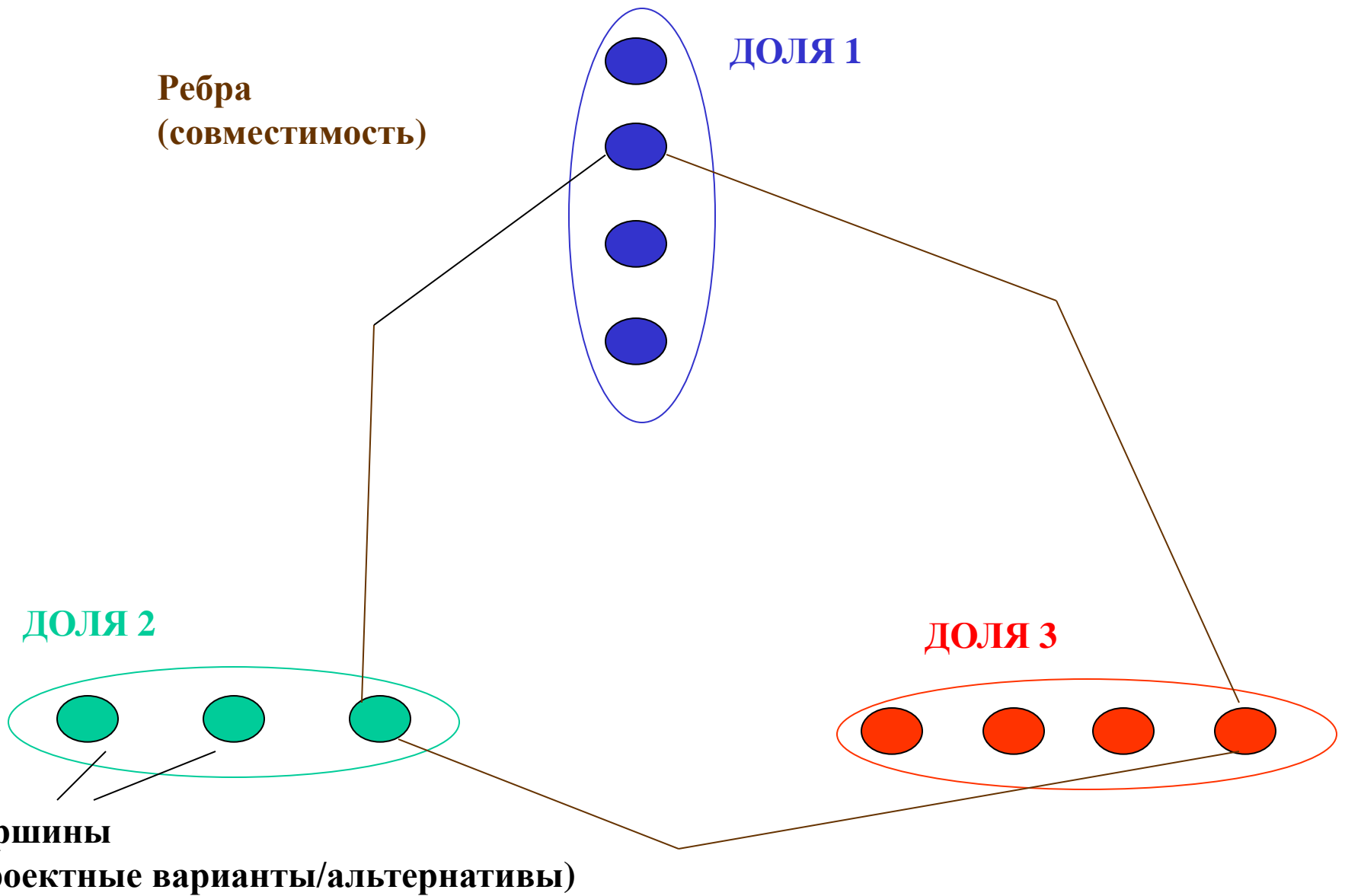
**ДОЛЯ 2**



**ДОЛЯ 3**



# МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛИКА (многодольном графе)



## **МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛИКА (в многодольном графе): близкие модели**

**Близкие комбинаторные модели:**

- 1. Задача о представителях (Холл, 1930)**
- 2. Задача о представителях с бинарным отношением (problem of compatible representatives, Кнут, 1992)**
- 3. Кластеризация в многодольном графе (clustering in multipartite graph) (2007...2008)**
- 4. Максимальная клика на многодольном графе (2001)**
- 5. Coresets problem (2004...2011)**
- 6. Трансверсали (transversals) (1971 ...)**

**Близкие прикладные направления:**

- 1. Морфологический анализ и его модификации (Цвики, 1943 ...)**
- 2. Design structure matrix (матрица проектной структуры) (1981-2008)**
- 3. Method engineering (композиция методов/моделей в информационных системах) (1996...)**
- 4. Морфологические таблицы в управлении (1988)**
- 5. OLAP – системы (информационные системы с большой размерностью) (1990-тые - ....)**
- 6. Выявление ассоциаций (правил ассоциаций) в больших базах данных (mining association rules) (1993 ...)**
- 7. Комбинаторное тестирование (1996 ...)**

## Методы типа морфологического анализа

1. Морфологический анализ [F. Zwicky]

2. Близость допустимых комбинаций к “ИДЕАЛУ”  
[Ayres, 1969; Якимец, Ин-т системного анализа РАН, 1977]

3. Многокритериальная оценка допустимых комбинаций  
и выбор по Парето [ИПУ РАН, ИСА РАН,  
Ин-т машиноведения ИМАШ РАН, 1972/82]

4. Иерархическое проектирование (композиция локально  
оптимальных по Парето решений [Краснощечков и др.,  
ВЦ РАН, 1979]

5. Иерархическое морфологическое проектирование  
(комбинаторный морфологический синтез,  
морфологическая клика) – ИММП [Левин, 1994...]



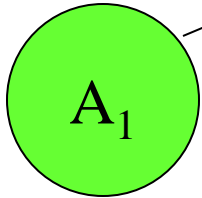
Морфологический анализ

Система

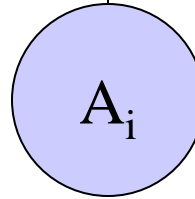
Подсистема 1

Подсистема i

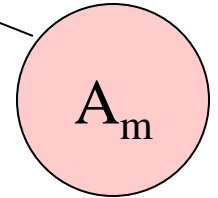
Подсистема m



...



...



Морфо-класс 1:

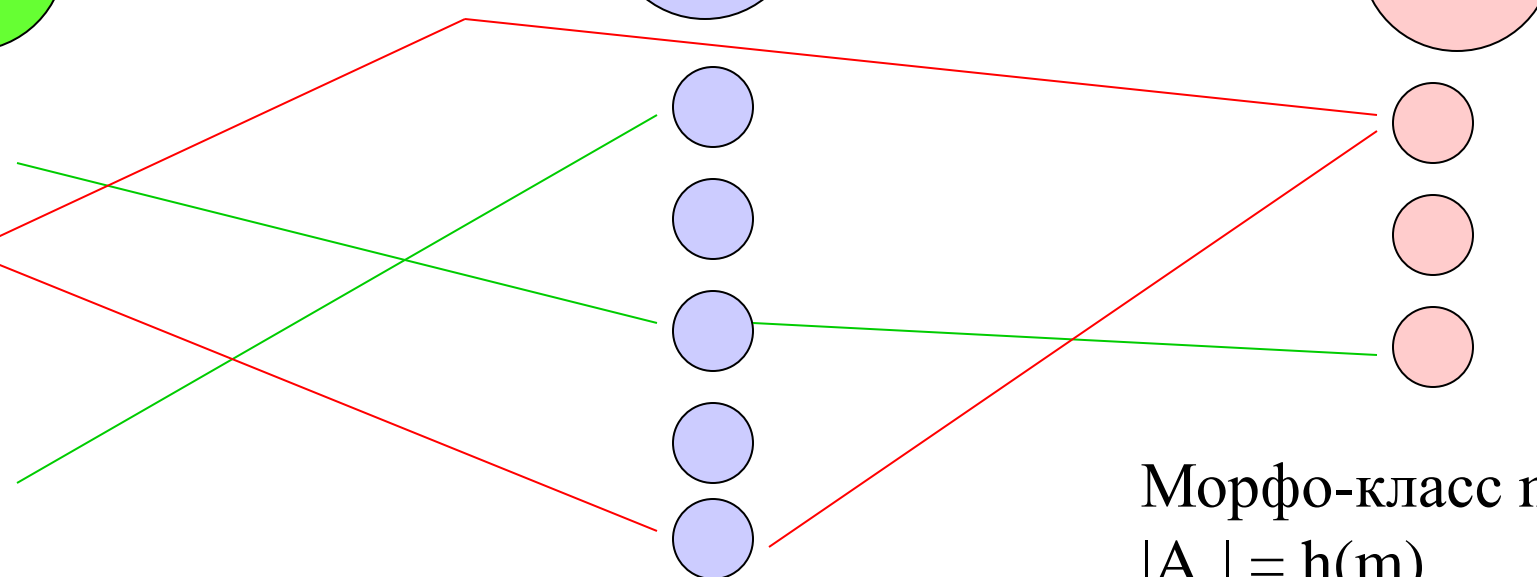
$$|A_1| = h(1)$$

Морфо-класс i:

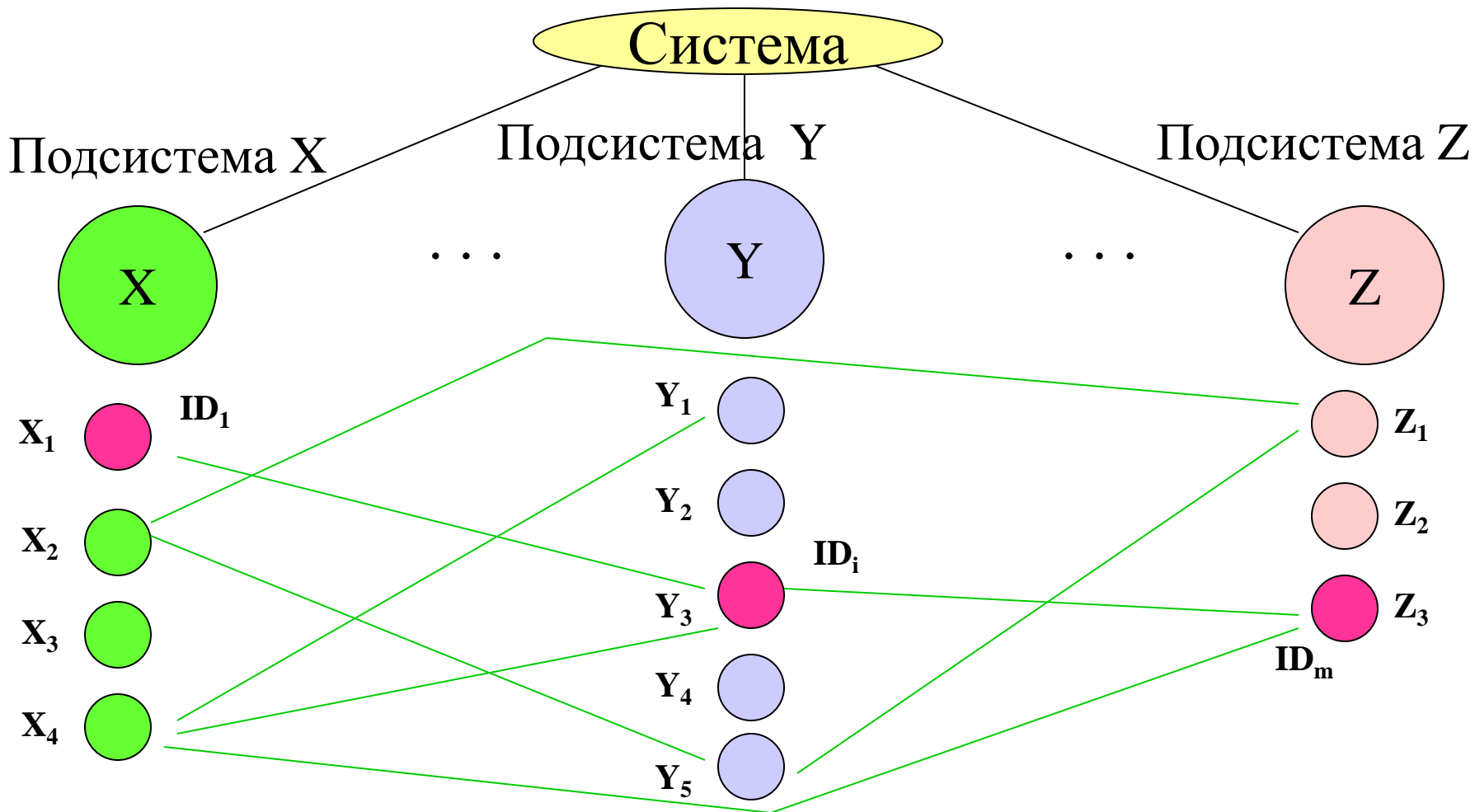
$$|A_i| = h(i)$$

Морфо-класс m:

$$|A_m| = h(m)$$



Морфологический анализ: Близость к “ИДЕАЛУ” (Ayres, 1969)



“ИДЕАЛ” :  $X_1 * Y_3 * Z_3$   
 (недопустимая комбинация)

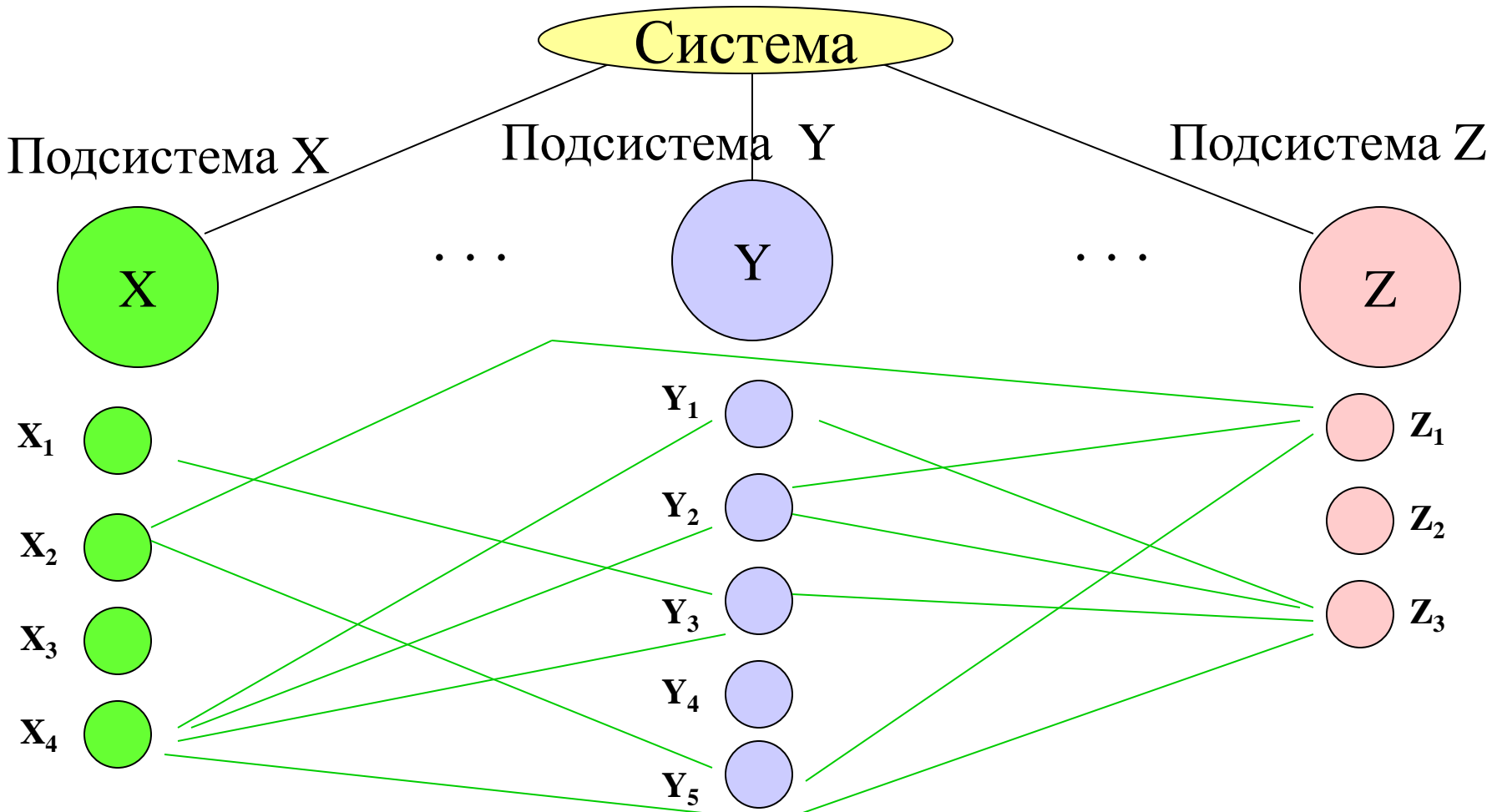
$$S_1 = X_4 * Y_3 * Z_3$$

$$S_2 = X_2 * Y_5 * Z_1$$

$$\rho(\text{“ИДЕАЛ”}, S_1) < \rho(\text{“ИДЕАЛ”}, S_2)$$

$\rho$  - близость

**Многокритериальная оценка допустимых комбинаций & выбор по Парето (1972..1982)**



**ШАГ 1. Генерация допустимых комбинаций:**

$$S_1 = X_4 * Y_3 * Z_3 \quad S_3 = X_4 * Y_2 * Z_3$$

$$S_2 = X_2 * Y_5 * Z_1 \quad S_4 = X_4 * Y_1 * Z_3$$

**ШАГ 2. Оценка по критериям**

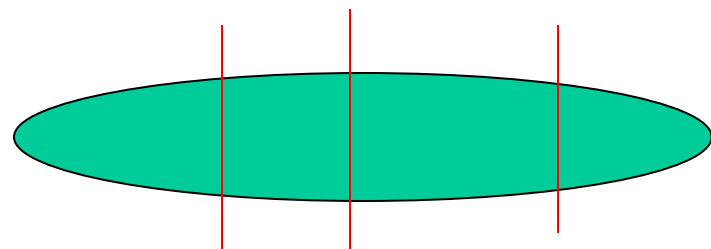
**ШАГ 3. Выбор по Парето**

## Морфологический анализ

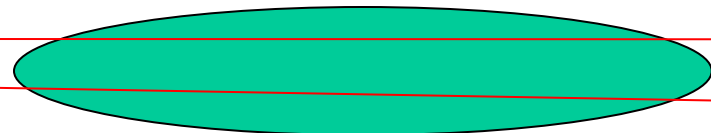
Сложность:  $h(1) * \dots * h(i) * \dots * h(m)$

Уменьшение сложности:

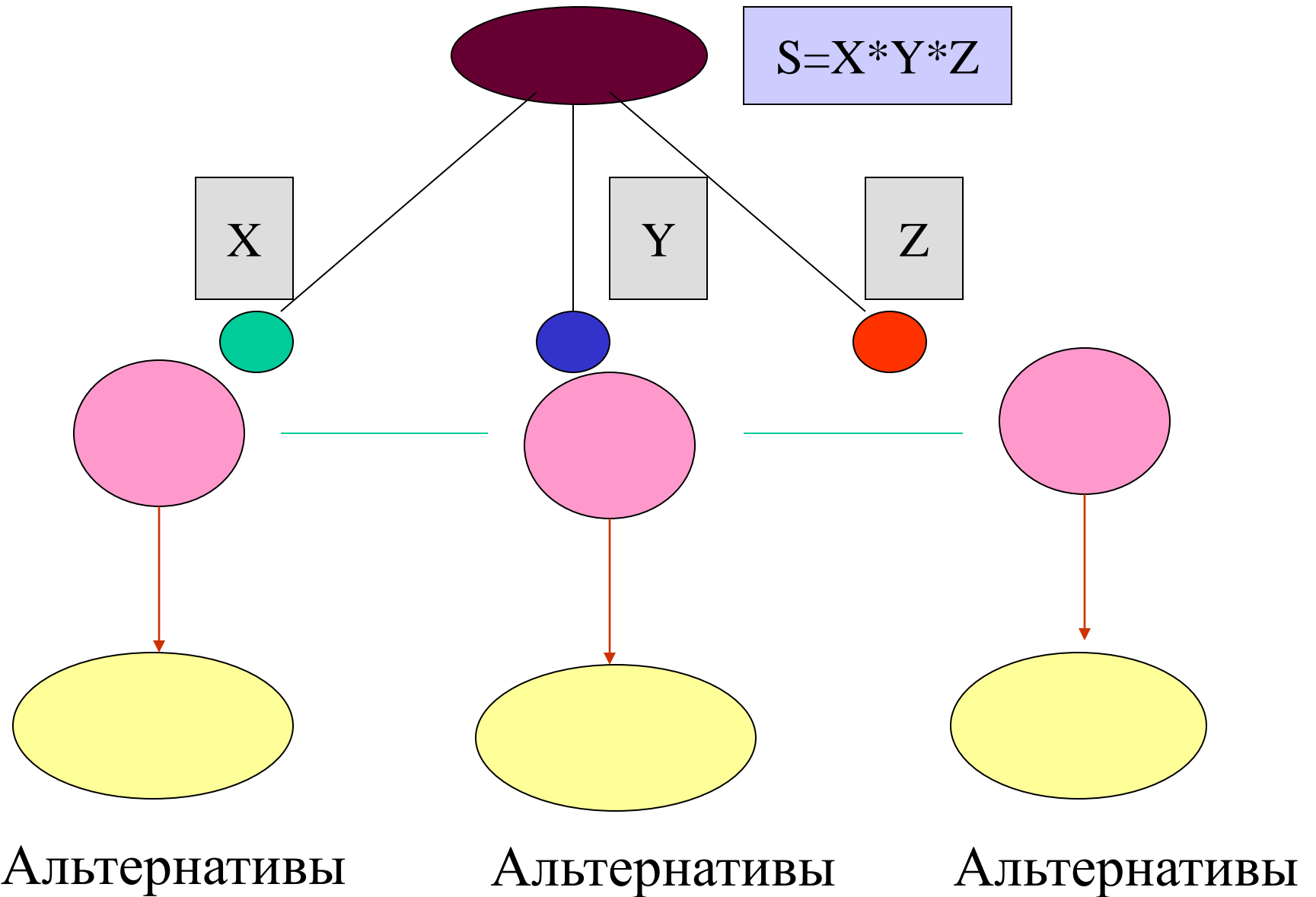
Горизонтальная декомпозиция



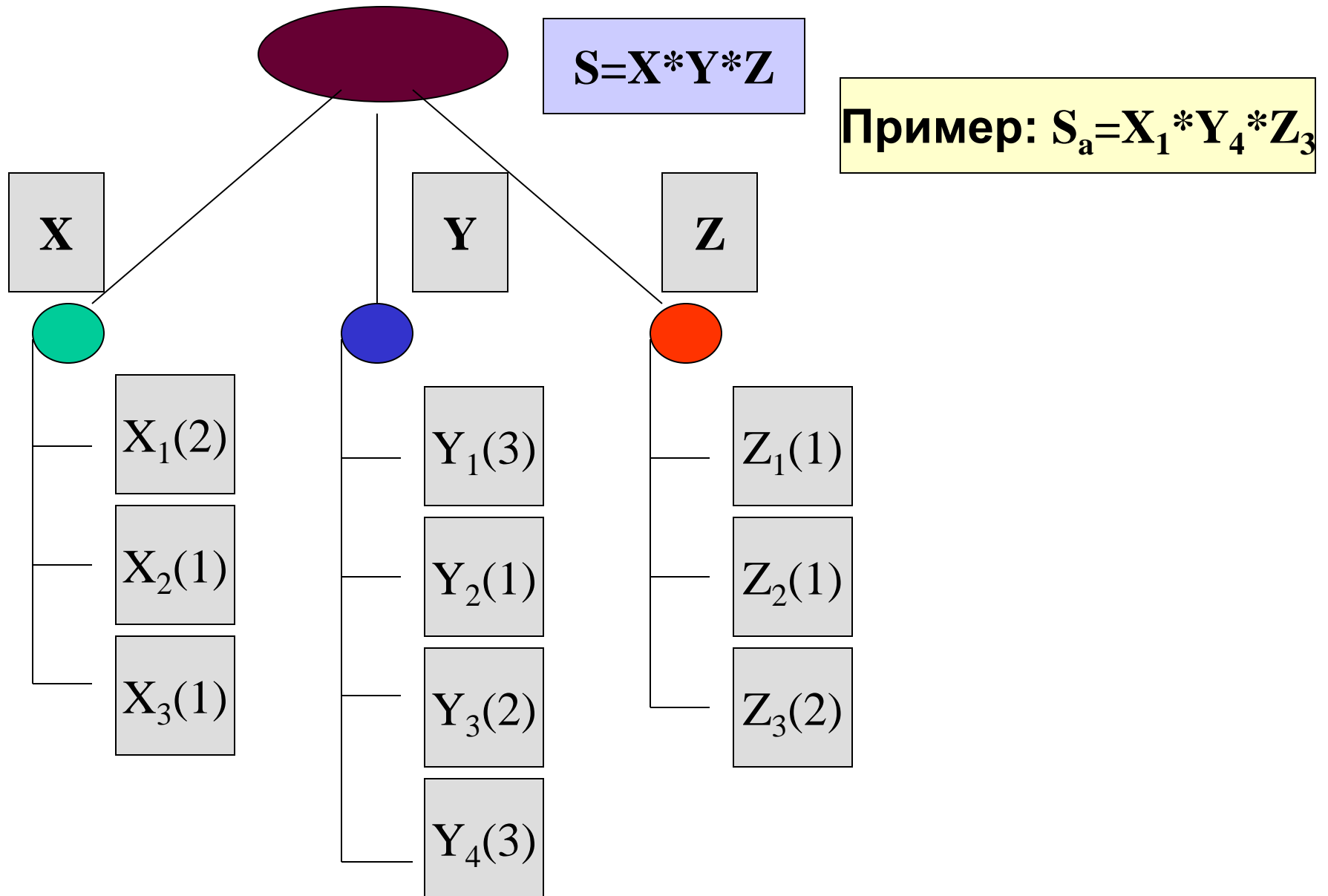
Вертикальная декомпозиция



# Иерархическое проектирование



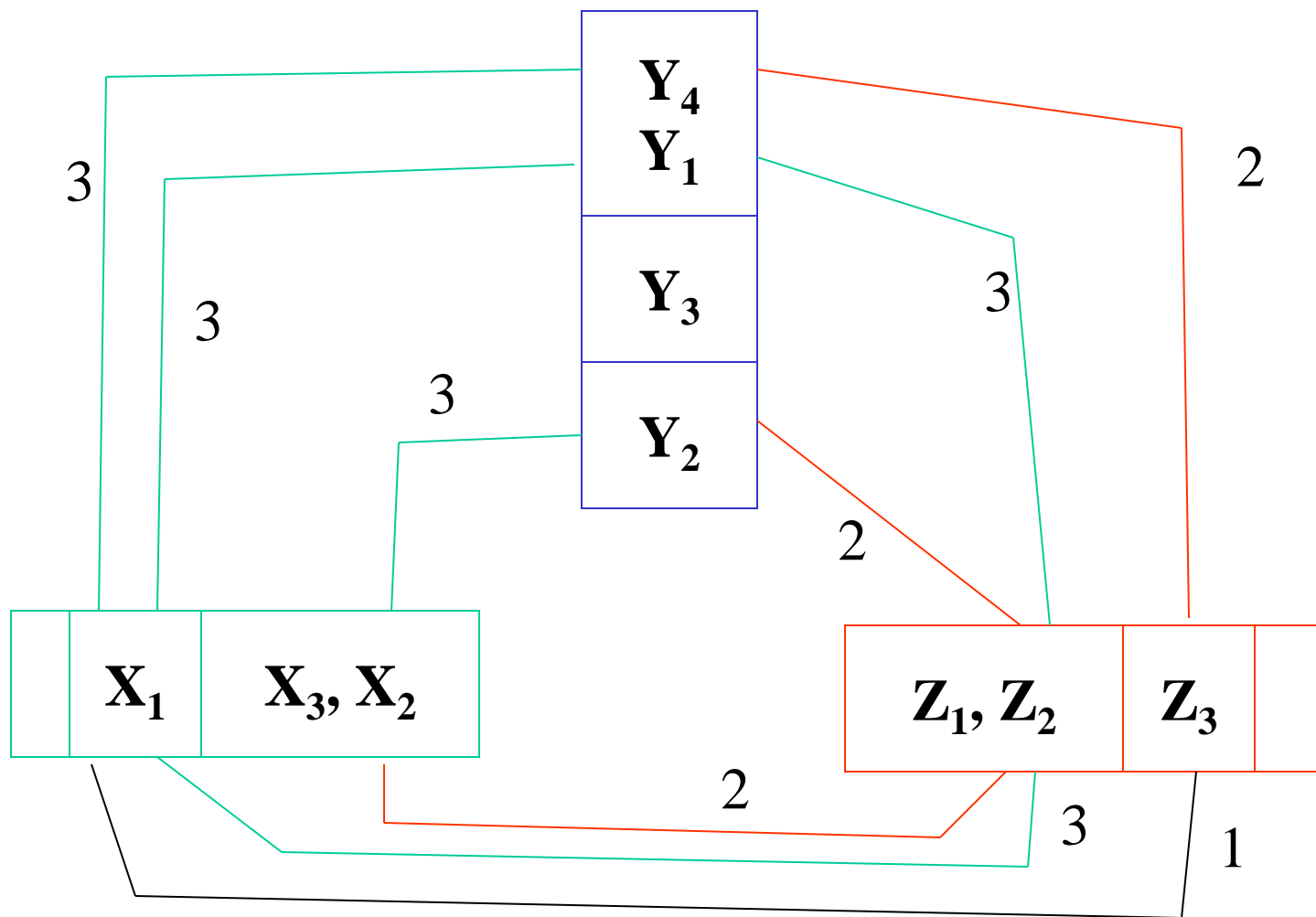
Морфологический комбинаторный синтез: пример



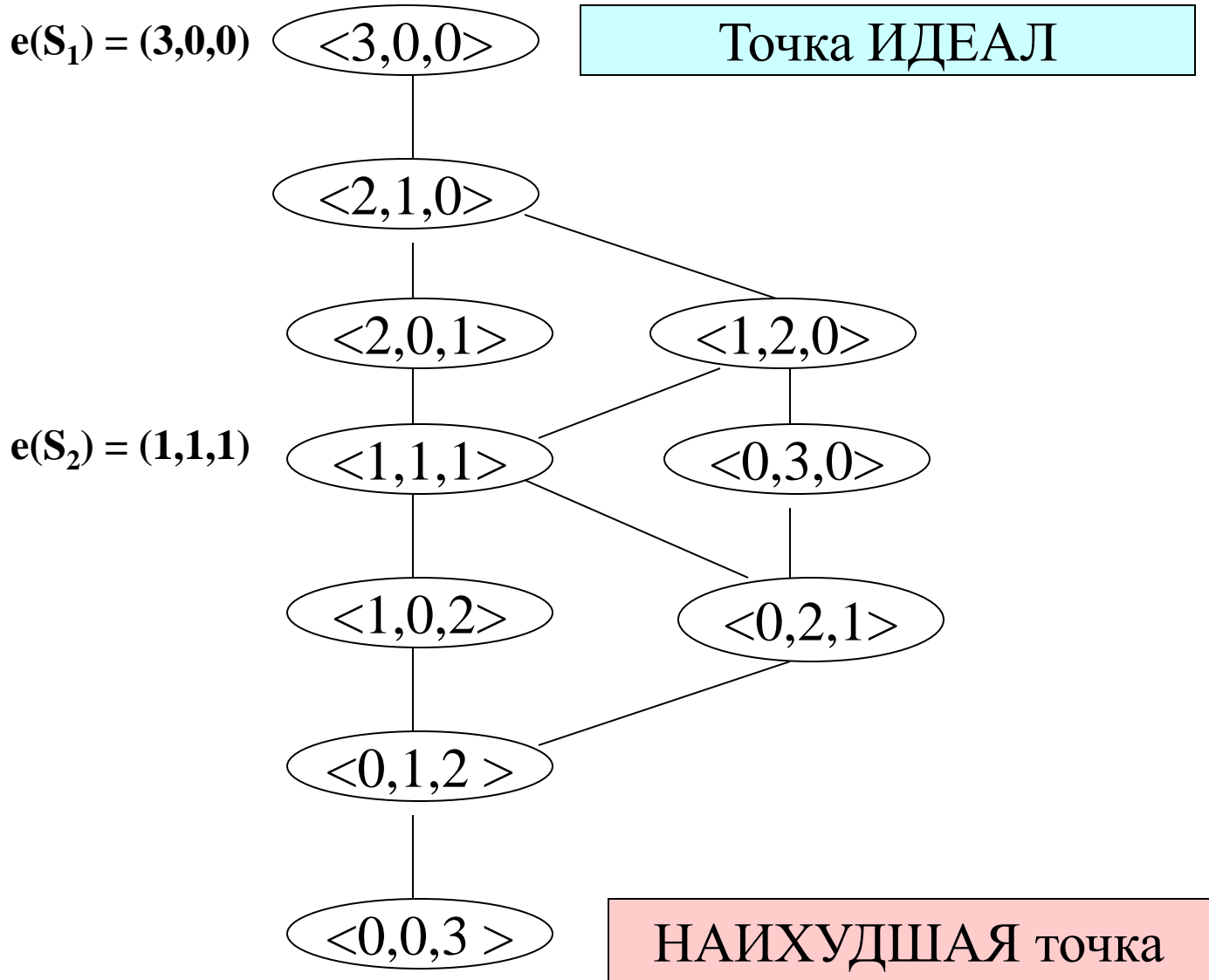
Центрическое представление морфологической клики с оценками совместимости

$$S_1 = X_2 * Y_2 * Z_2 \quad N(S_1) = (2; 3, 0, 0)$$

$$S_2 = X_1 * Y_1 * Z_2 \quad N(S_2) = (3; 1, 1, 1)$$



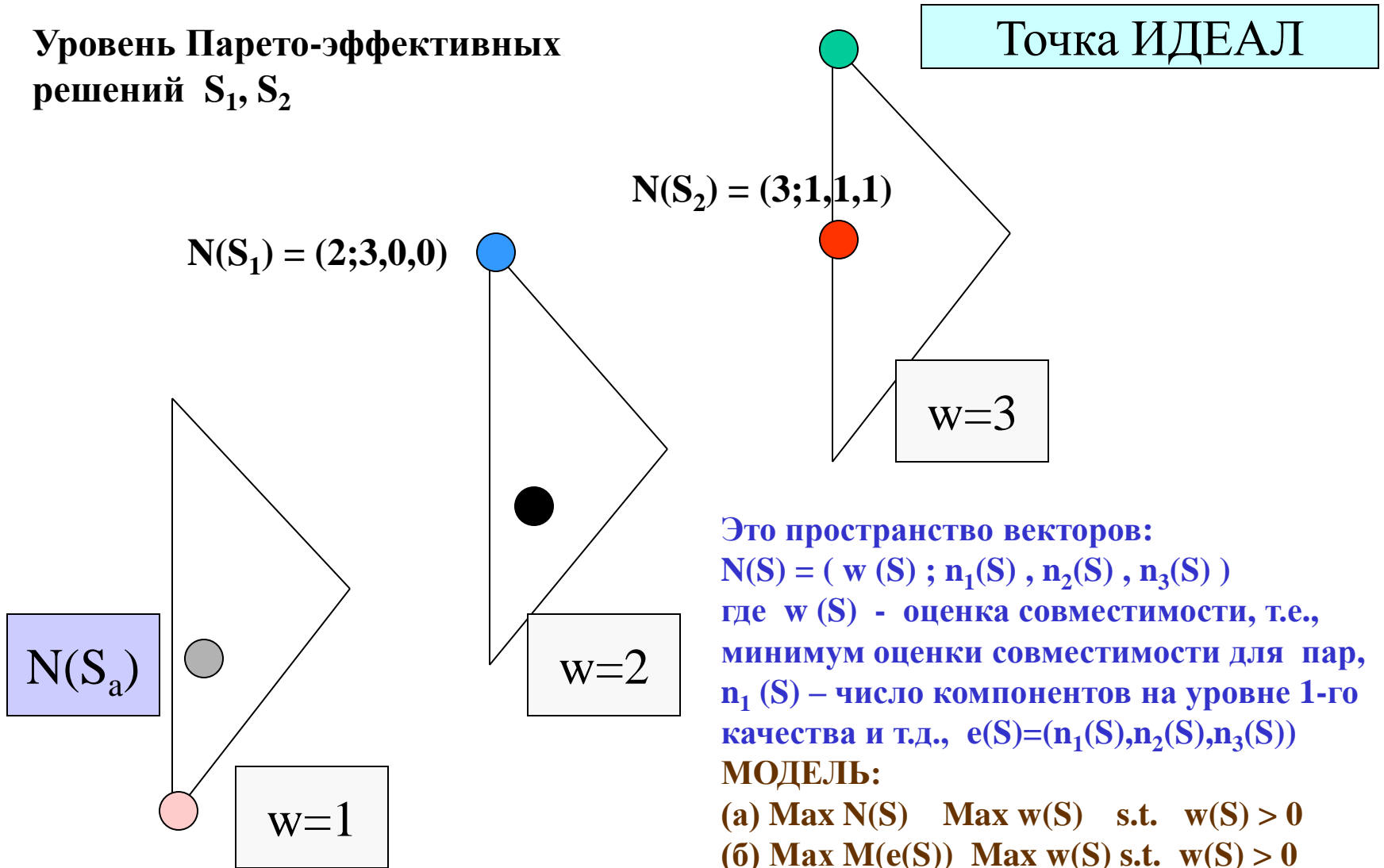
Дискретное пространство качества (по элементам)





Дискретное пространство качества (по элементам, по совместимости)

Уровень Парето-эффективных решений  $S_1, S_2$



Это пространство векторов:  
 $N(S) = ( w(S) ; n_1(S) , n_2(S) , n_3(S) )$   
 где  $w(S)$  - оценка совместимости, т.е.,  
 минимум оценки совместимости для пар,  
 $n_1(S)$  – число компонентов на уровне 1-го  
 качества и т.д.,  $e(S)=(n_1(S),n_2(S),n_3(S))$

**МОДЕЛЬ:**

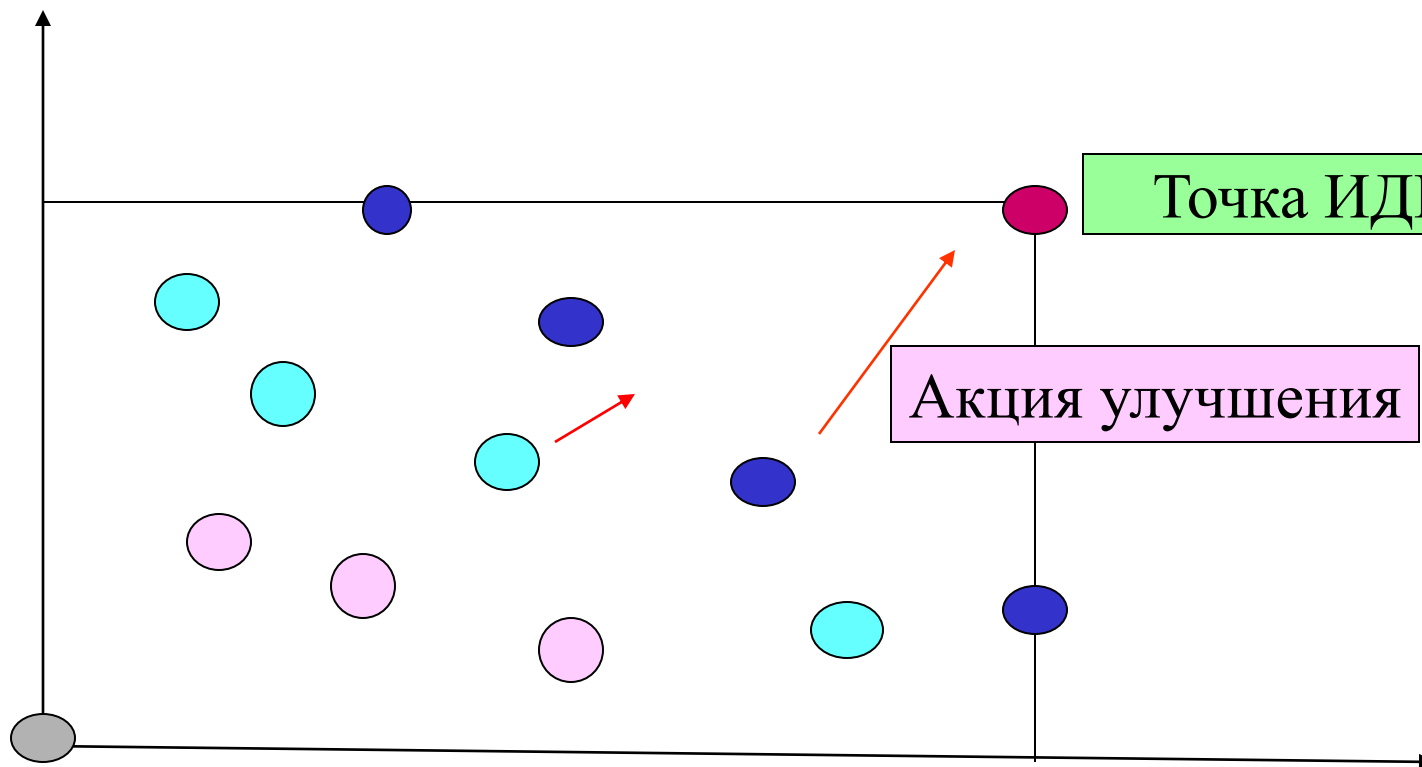
(а)  $\text{Max } N(S) \quad \text{Max } w(S) \quad \text{s.t. } w(S) > 0$

(б)  $\text{Max } M(e(S)) \quad \text{Max } w(S) \quad \text{s.t. } w(S) > 0$

( $M$  – медиана, в случае интервальных оценок в виде мультимножеств)

Область качества на основе 2-х критериев, обобщенная шкала&акции улучшения

Качество элементов



Точка ИДЕАЛ

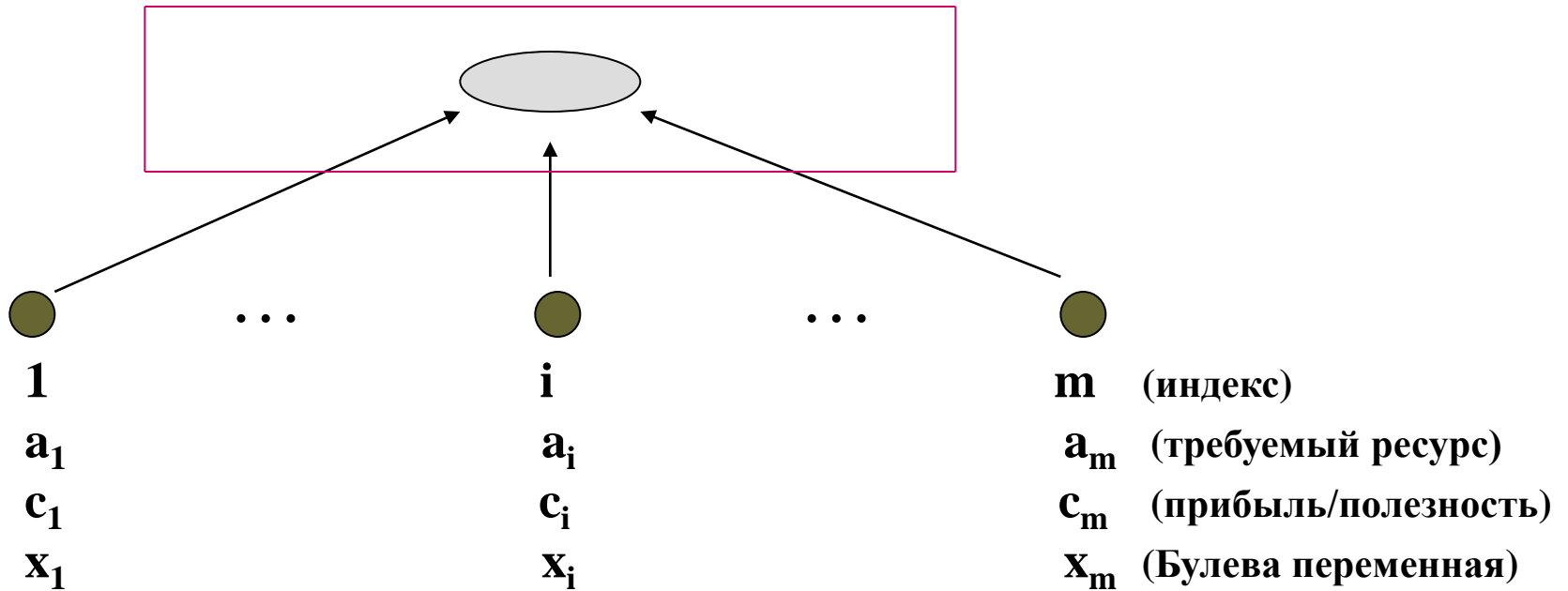
Акция улучшения

Качество совместимости

**1.Переборная направленная эвристика  
анализ и проверка  
начиная с идеальной точки.**

**2.Динамическое программирование:  
расширенный вариант метода для задачи  
рюкзаке или блочного рюкзака**

## Рюкзак



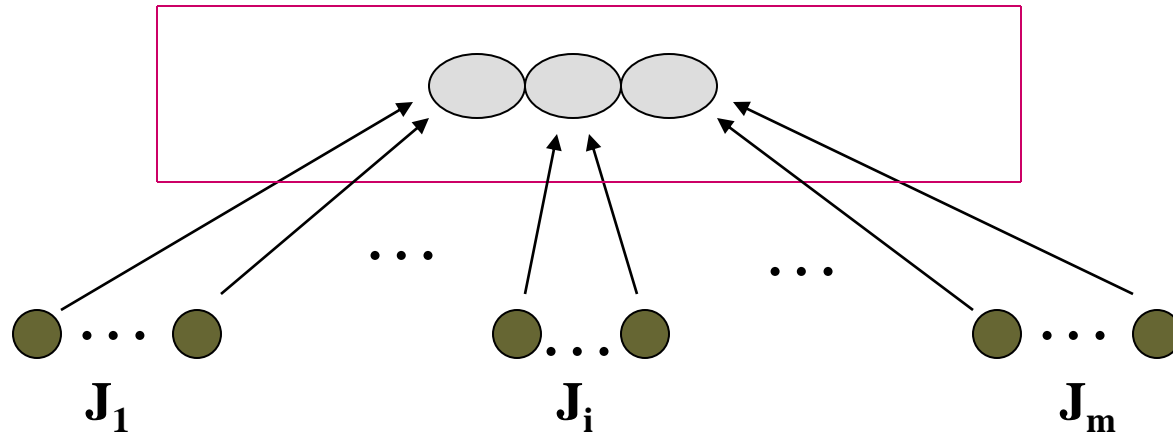
$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^m c_i x_i \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m a_i x_i \leq b \end{aligned}$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, m$$

*Возможные дополнительные ограничения*

$$\sum_{i=1}^m a_{ik} x_i \leq b_k, \quad k = 1, \dots, l$$

## Блочный рюкзак



$$\forall i \quad |J_i| = q_i, \quad j = 1, \dots, q_i$$

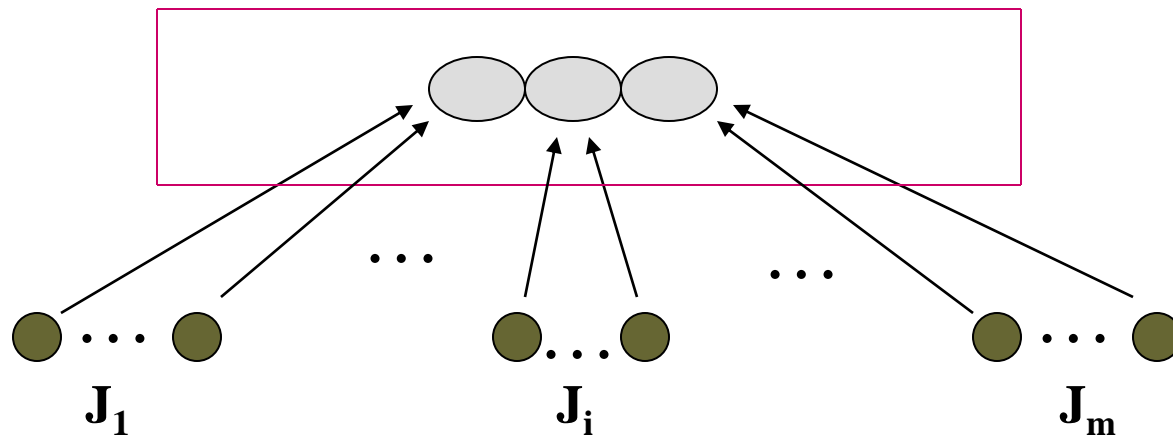
$$\max \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} a_{ij} x_{ij} \leq b$$

$$\sum_{j=1}^{q_i} x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, q_i$$

# Многокритериальный блочный рюкзак



$$\forall i \quad |J_i| = q_i, \quad j = 1, \dots, q_i$$

$$c_{ij} \Rightarrow (c_{ij}^1, \dots, c_{ij}^p, \dots, c_{ij}^k)$$

$$\left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} c_{ij}^1 x_{ij}, \dots, \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} c_{ij}^p x_{ij}, \dots, \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} c_{ij}^k x_{ij} \right) \rightarrow$$

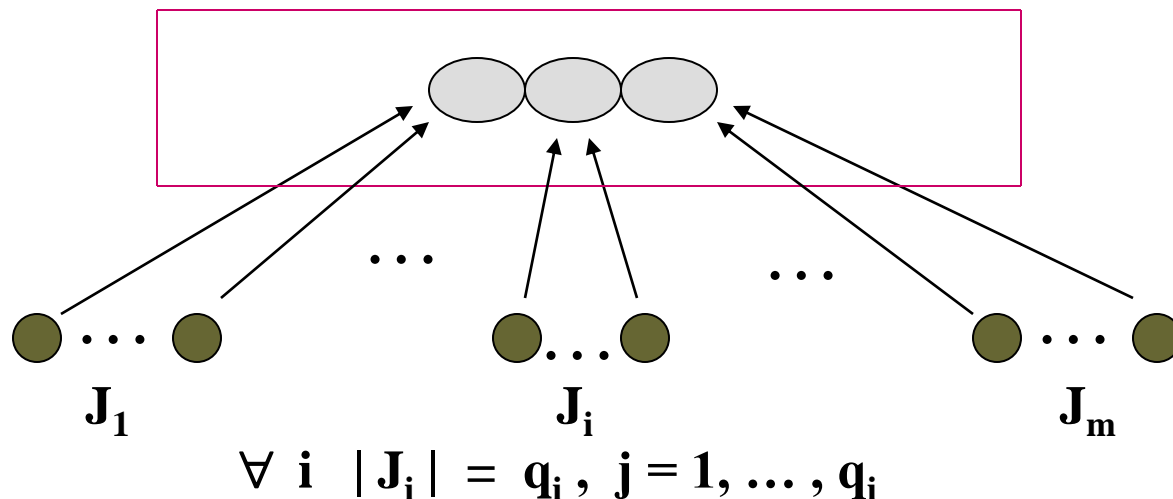
**Парето-эффективные решения**

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} a_{ij} x_{ij} \leq b$$

$$\sum_{j=1}^{q_i} x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, q_i$$

# Блочный рюкзак с оценками в виде мультимножеств (поиск медианы)



$c_{ij} \Rightarrow e_{ij}$  (т.е., интервальная оценка в виде мультимножества, например,  $e_{ij} = (3,1,0)$ )

$$\max M(\{e_{ij}\}) = \arg \min_{\{M\}} \sum_{i=1}^m d(M, e_{ij})$$

( $d$  – мера «близости»/расстояние,  $M$  – медиана оценок по выбранным элементам или Парето-эффективные решения)

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{q_i} a_{ij} x_{ij} \leq b, \quad \sum_{j=1}^{q_i} x_{ij} \leq 1, \quad i = 1, \dots, m$$

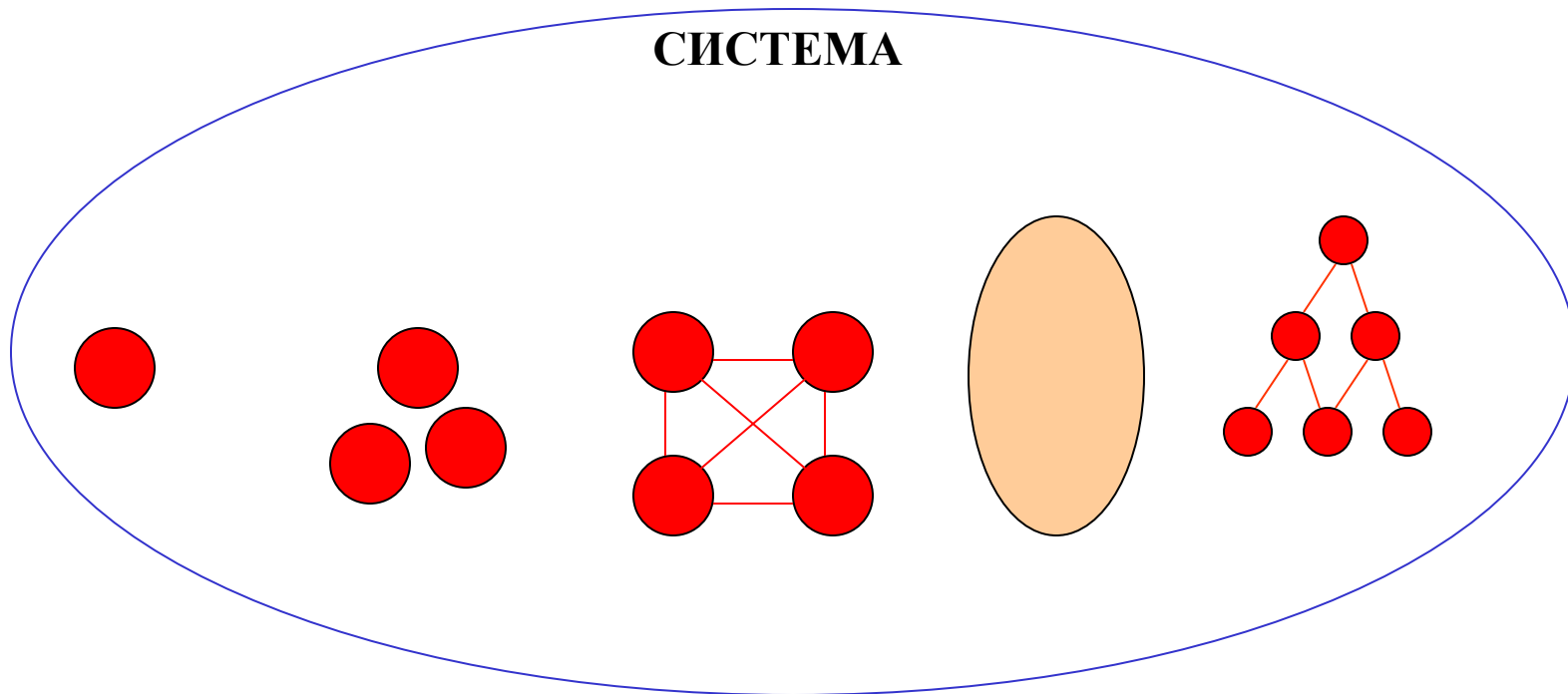
$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, q_i$$

## СХЕМА 4: Выявление узких мест

Узкие места:

- 1.Элемент или связь
- 2.Группа элементов
- 3.Группа взаимосвязанных элементов
4. Структура системы
- 5.Динамические задачи (режим online, прогноз)

СИСТЕМА





**МЕТОДЫ:**

**1. Традиционный подход (управление качеством):**

**(а) Метод Парето (выделение элементов с наихудшей надежностью)**

**(б) многокритериальное ранжирование**

**2. Узкие места в рамках ИММП (элементы или связи, улучшение которых приводит к существенному улучшению качества системы)**

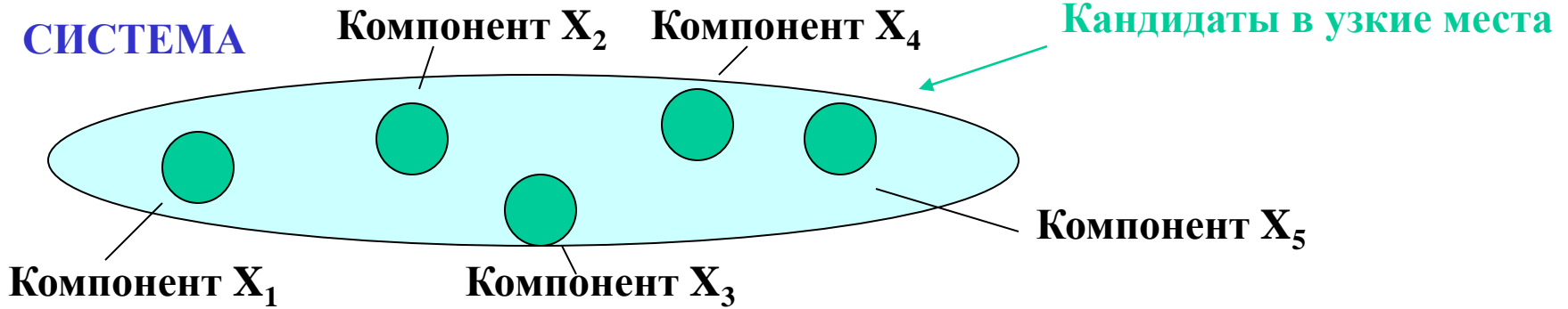
**3. Критические узлы в сетях (покрывающее дерево с максимальным числом терминалов, connected dominated set)**

**4. Выделение связанных компонентов (т.е., подсистемы из связанных элементов) - ИММП**

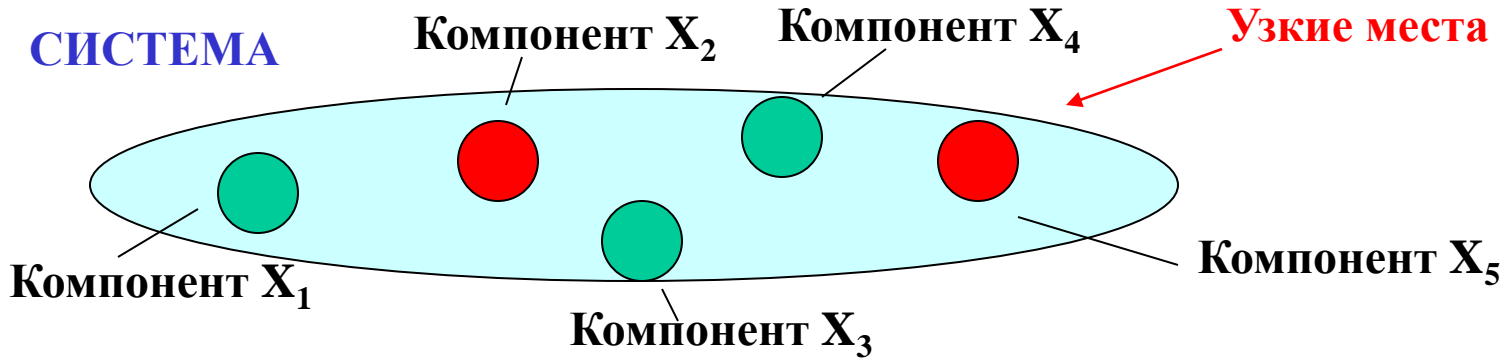
**5. Интеграция информации на основе клики над потоками графов**

**Иллюстрация ситуаций выявления узких мест**

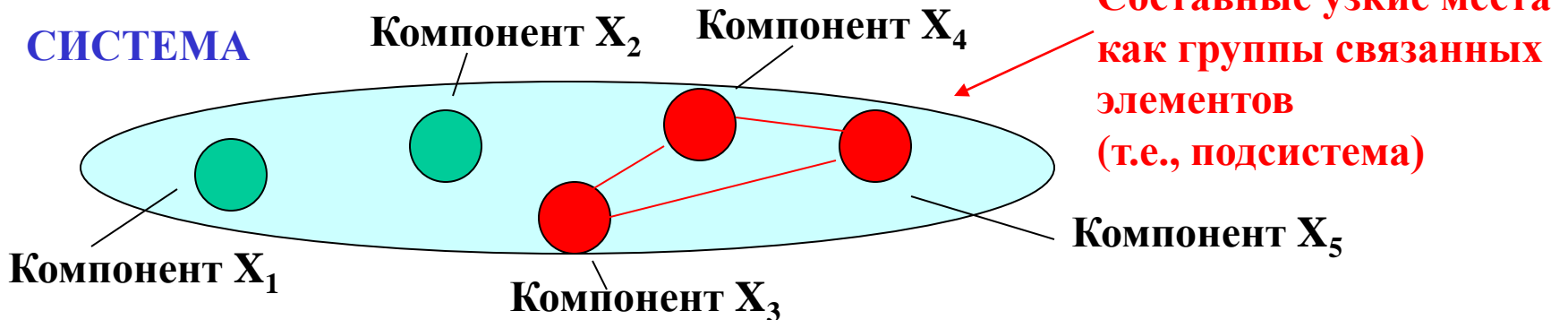
**СИСТЕМА**



**СИСТЕМА**

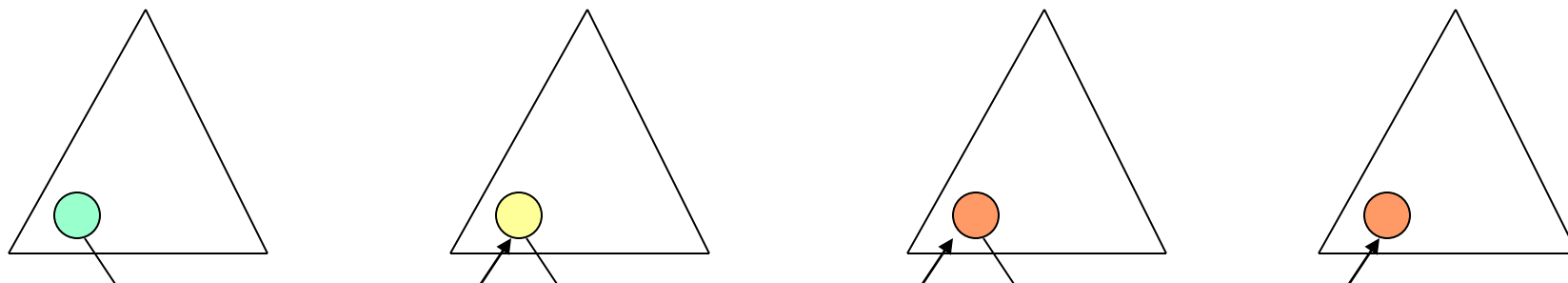


**СИСТЕМА**

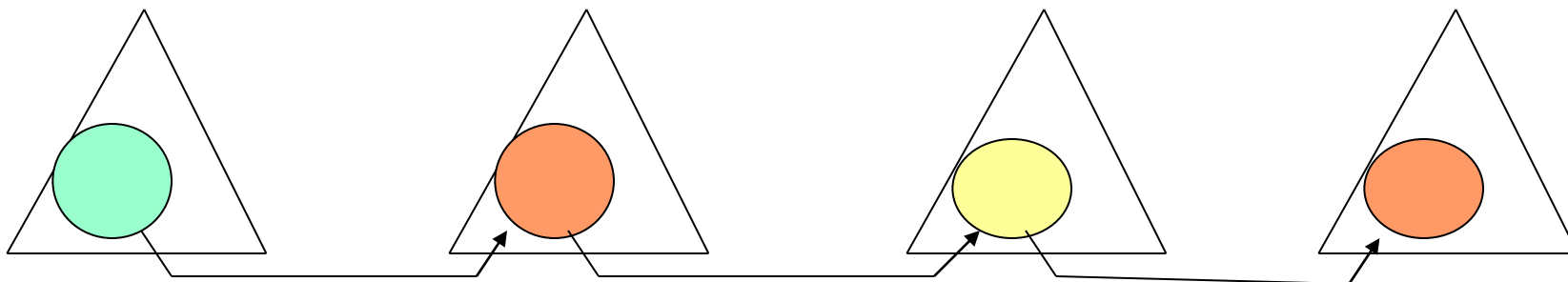


# Траектории (состояний) для элемента, подсистемы и пересечения подсистем

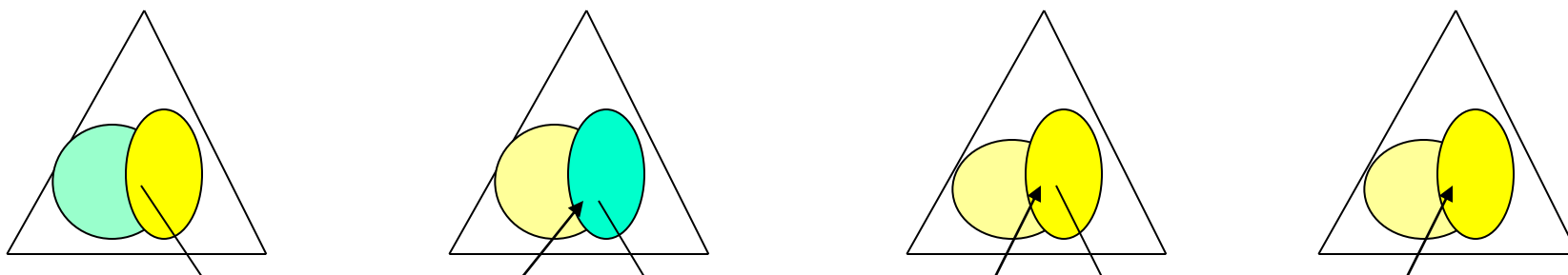
Время  $t_1$   $t_2$   $t_3$   $t_4$   $T$



**Траектория элемента системы**

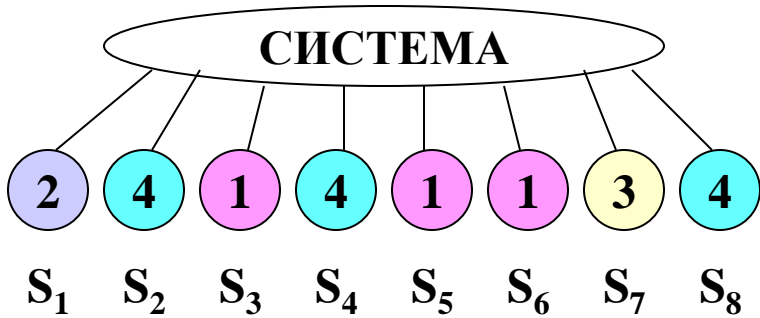


**Траектория подсистемы**



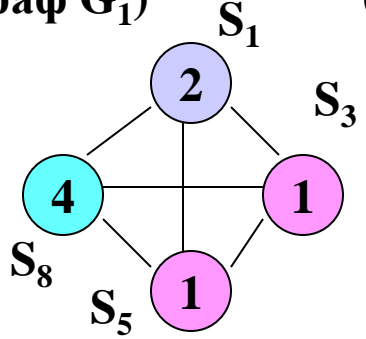
**Траектория общей части 2-х подсистем**

**Иллюстрация процесса выявления клики над потоками графов**

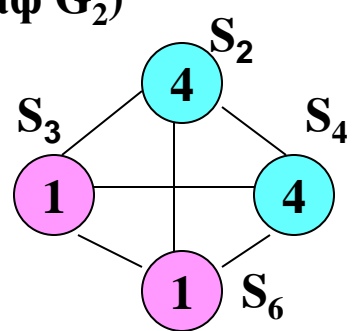


- Состояния компонента:**
- Не работает 1
  - Почти не работает 2
  - Частично работает 3
  - Работает 4

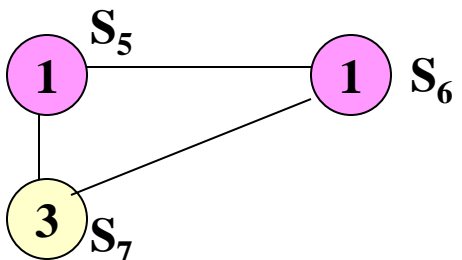
**Функция  $f_1$**   
(граф  $G_1$ )



**Функция  $f_2$**   
(граф  $G_2$ )

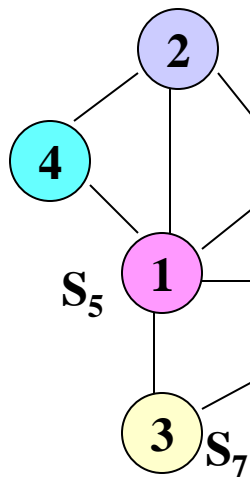


**Функция  $f_3$**   
(граф  $G_3$ )

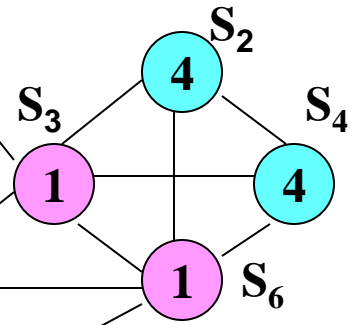


**КЛАСТЕР ФУНКЦИЙ  $F = \{ f_1, f_2, f_3 \}$**

**Функция  $f_1$**   
(граф  $G_1$ )

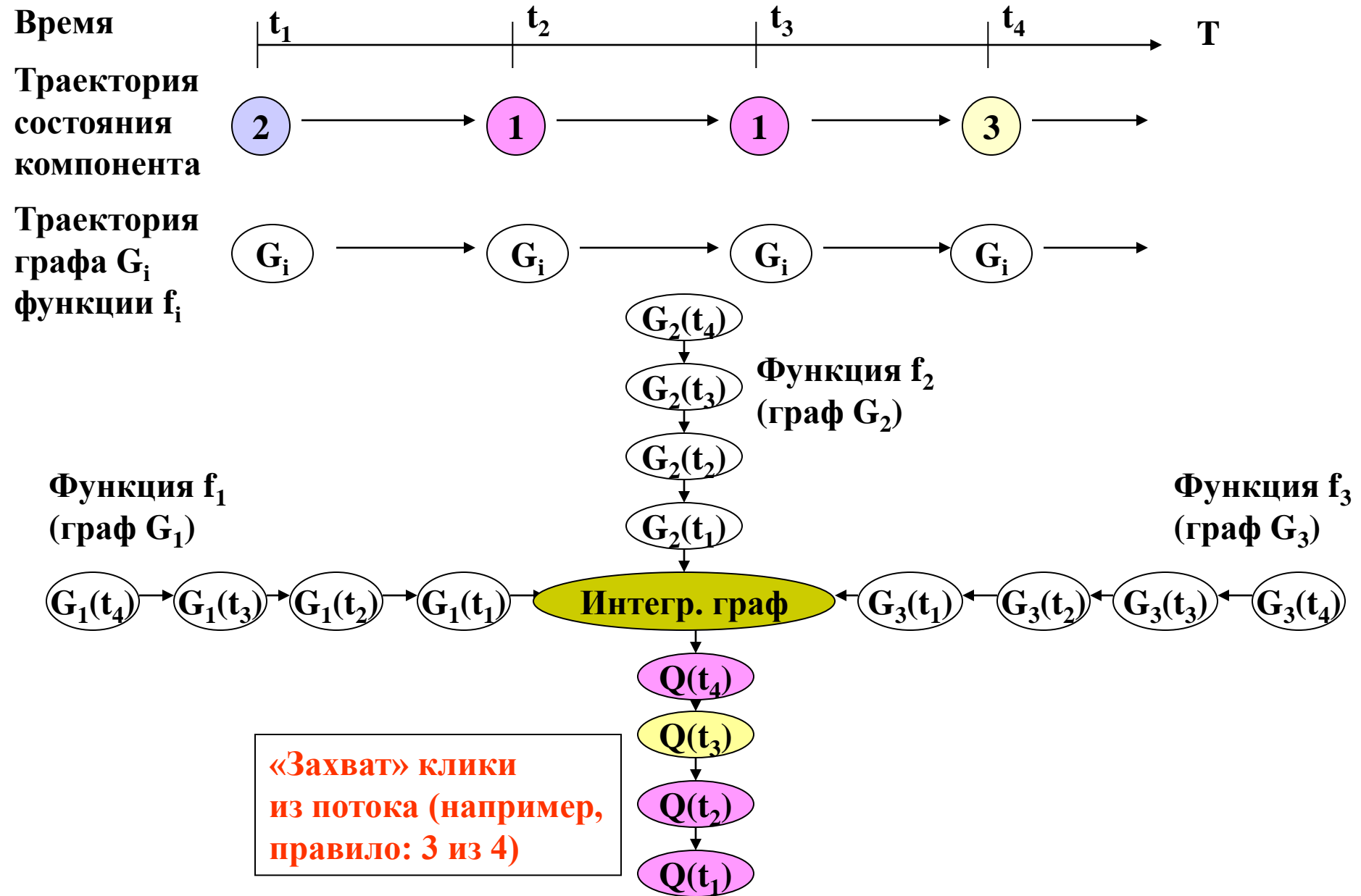


**Функция  $f_2$**   
(граф  $G_2$ )



**Клика  $Q_3(F) = \{ S_3, S_5, S_6 \}$**

## Иллюстрация процесса выявления клики над потоками графов



**БАЗОВЫЕ СИТУАЦИИ УЛУЧШЕНИЯ СИСТЕМЫ:**

**1. Улучшение по компонентам:**

**(а) блочный рюкзак (б) ИММП**

**2. Улучшение (модификация) структуры**

**(а) модификация дерева**

**(б) трансформация дерева в дерево Штейнера**

**(в) назначение «горячих» связей**

**(г) задача пополнения дерева**

**(д) задача пополнения графа/сети (augmentation problem)**

**3. Расширение системы (дополнительная часть)**

**4. Агрегация решений ( 1 финальное решение,  
к финальных решения) (здесь – специальная СХЕМА)**

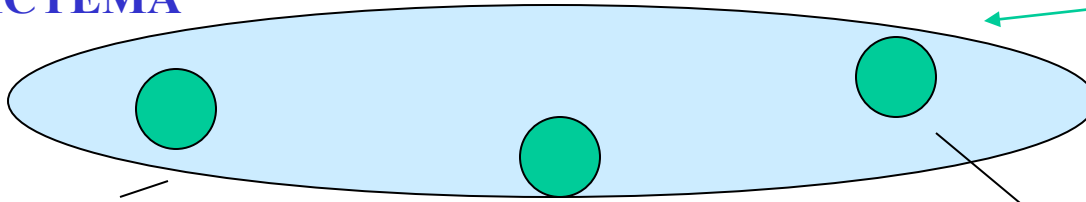
**5. Подходы в комбинаторной оптимизации:**

**(а) реоптимизация,**

**(б) реструктуризация**

## Улучшение по компонентам

**СИСТЕМА**



Узкие места

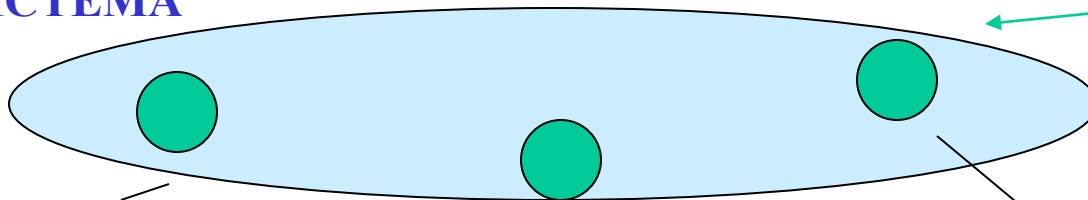
Компонент X:  
варианты  
улучшения  $X_1, X_2, X_3$

Компонент Y:  
варианты  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$

Компонент Z:  
варианты  $Z_1, Z_2$

↓  
**Модель улучшения:**  
**1. Блочный рюкзак 2. ИММП**

**СИСТЕМА**



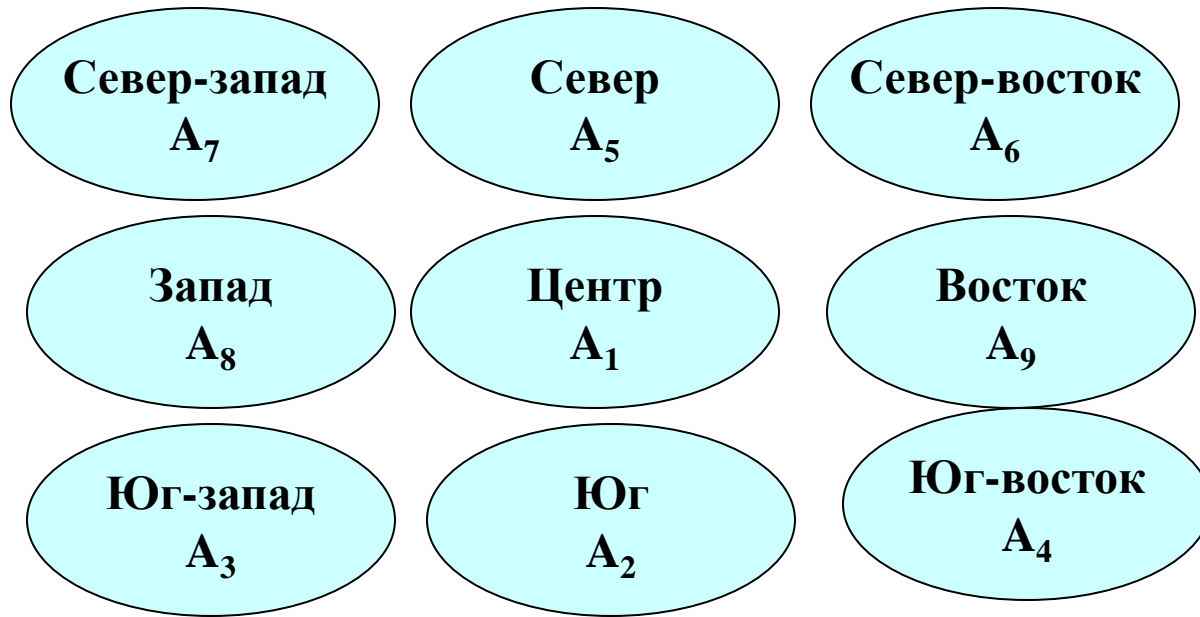
Узкие места

Компонент X:  
улучшения  $X_2$

Компонент Y:  
улучшение  $Y_1$

Компонент Z:  $Z_2$

## Пример: Улучшение телефонной сети (Москва)



### Критерии:

- $C_1$  общая польза
- $C_2$  сложность выполнения
- $C_3$  перспективная польза
- $C_4$  затраты на устройства (оборудование) и работу

### ГРУППЫ (кластеризация регионов по параметрам):

- Группа 1 ( $G^1$ ):  $A_1$
- Группа 2 ( $G^2$ ):  $A_2$
- Группа 3 ( $G^3$ ):  $A_3 \& A_8$
- Группа 4 ( $G^4$ ):  $A_4$
- Группа 5 ( $G^5$ ):  $A_5 \& A_7 \& A_9$
- Группа 6 ( $G^6$ ):  $A_6$

### Действия расширения:

- $D_1$  Нет
- $D_2$  Новые линии (links)
- $D_3$  Upgrade для линий
- $D_4$  Новые линии и аппаратура
- $D_5$  Удаление старых линий



# Иллюстрация

Система  $S = G^1 * \dots * G^i * \dots * G^6$

Пример:  $P_1 = D^1_3 * \dots * D^3_2 * \dots * D^6_1$

$G^1$



$D^1_1$

...

$D^1_5$

$G^2$



$D^2_1$

...

$D^2_5$

$G^3$



$D^3_1$

...

$D^3_5$

$G^4$



$D^4_1$

...

$D^4_5$

$G^5$



$D^5_1$

...

$D^5_5$

$G^6$



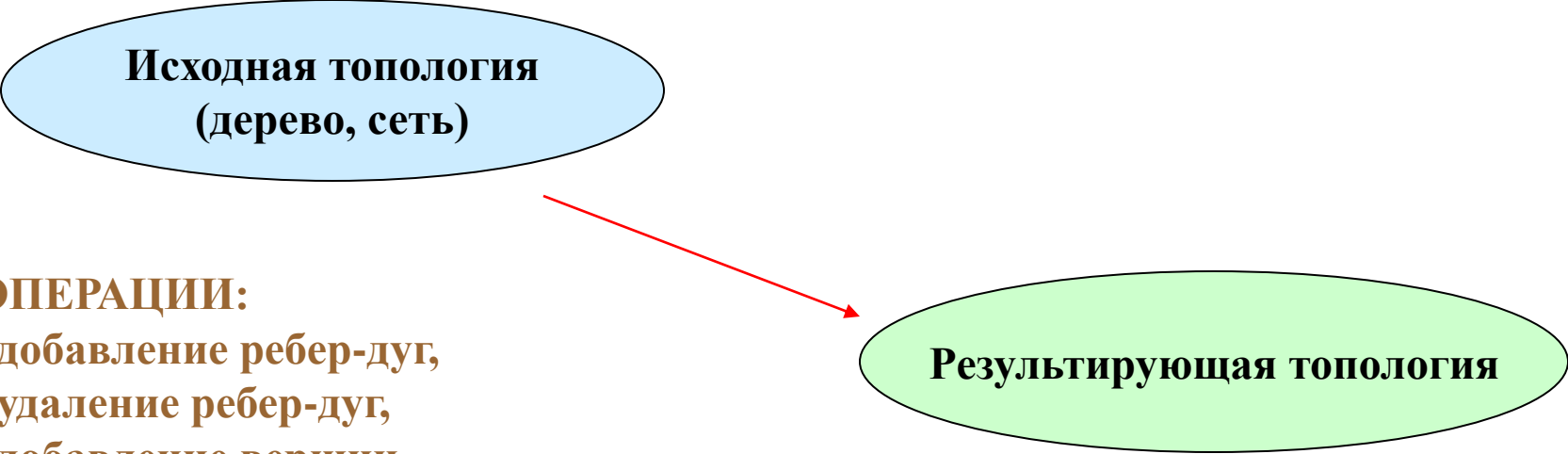
$D^6_1$

...

$D^6_5$

## Улучшение или модификация структуры системы (топологии)

**Исходная топология  
(дерево, сеть)**



### **ОПЕРАЦИИ:**

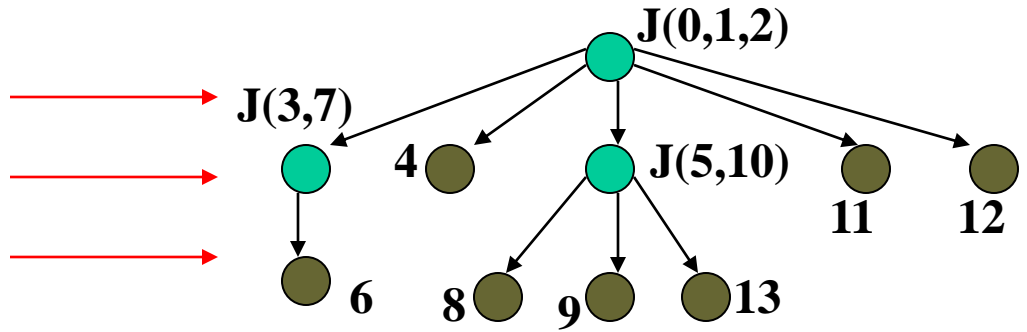
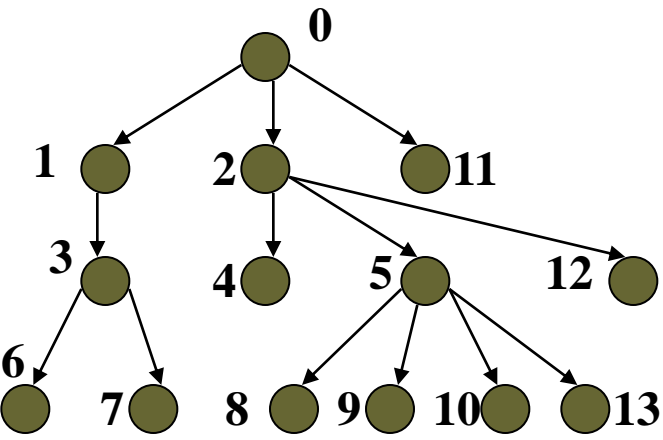
- \*добавление ребер-дуг,
- \*удаление ребер-дуг,
- \*добавление вершин,
- \*удаление вершин,
- \*интеграция (склеивание) вершин

**Результирующая топология**

### **МОДЕЛИ:**

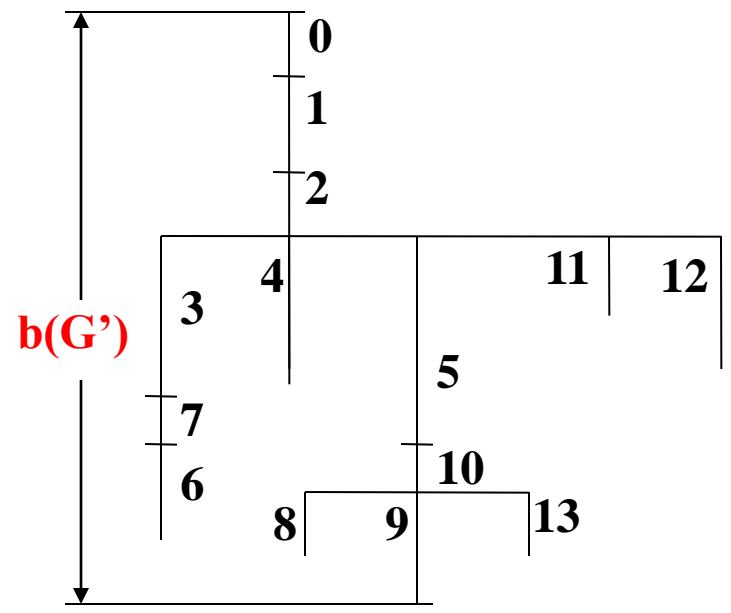
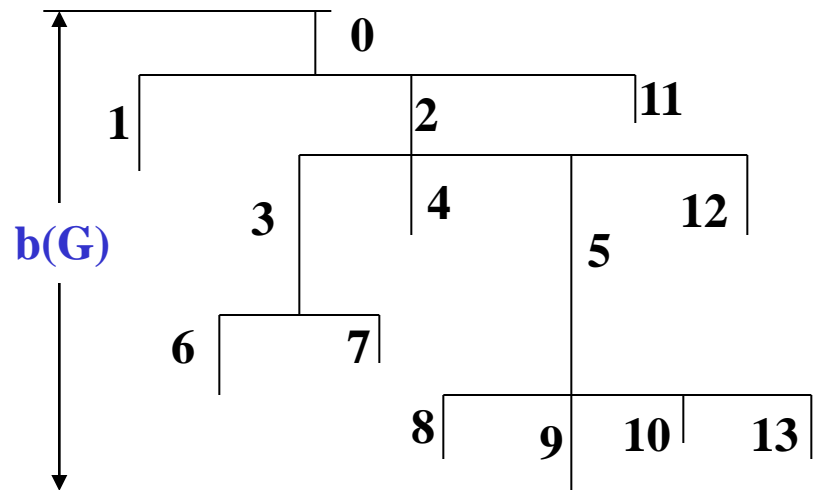
- 1.Задача пополнения графа (augmentation problem)
- 2.Блочный рюкзак
- 3.Специальная задача преобразования дерева (интеграция вершин)  
(для проектирование оверлейной структуры программы)
- 4.Назначение горячих связей (hotlink assignment)
- 5.ИММП

Модификация дерева программы: оверлейная структура (пример) [Левин, 1981]



Дерево программы  $G=(A,E)$ , вес дуги  $s(a_i, a_j)$  – частота вызова, вес вершины  $b(a_i)$  – требуемый объем ОЗУ,

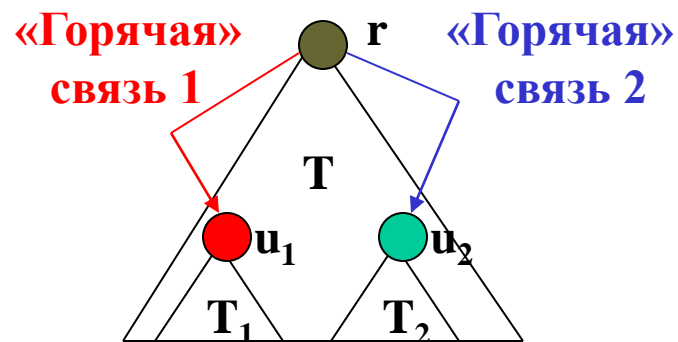
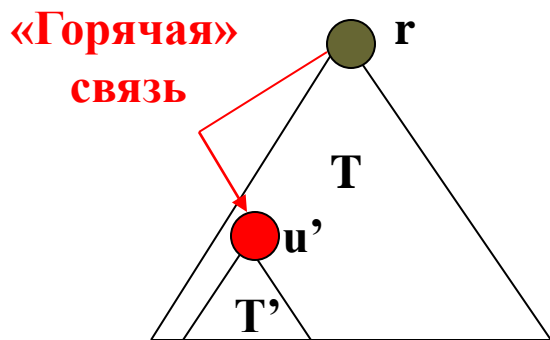
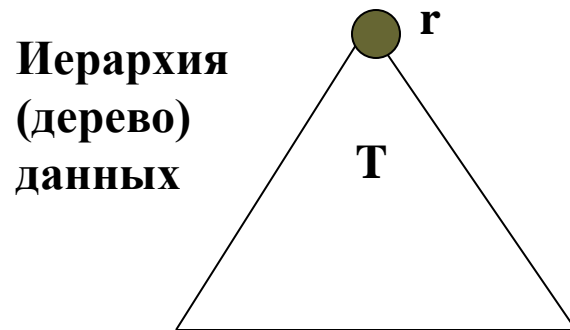
$b(G)$  – max длина от корня до висячей вершины (сумма весов вершин по пути)



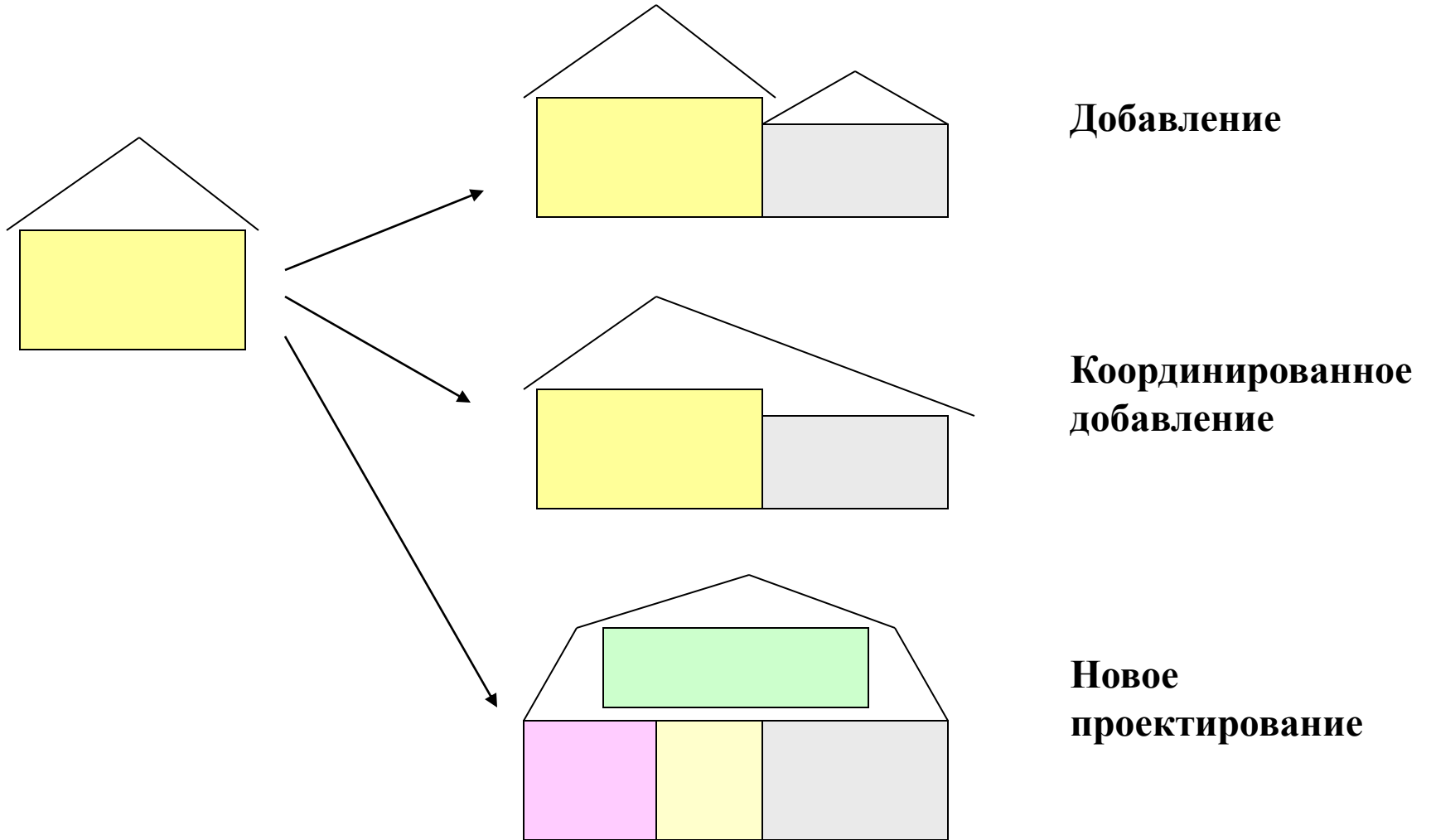
**ЗАДАЧА:** Максимизировать сумму весов удаленных дуг при  $b(G') \leq b$ ,  $b$  – ограничение по требуемому объему ОЗУ

Алг. сложность:  $O(n^7 / e d^4)$ ,  $n = |A|$ ,  $e$  - отн. ошибка по цел. функ.,  $d$  – по огран.

Модификация дерева данных: добавление «горячих» связей (hot—link assignment)



# Расширение системы

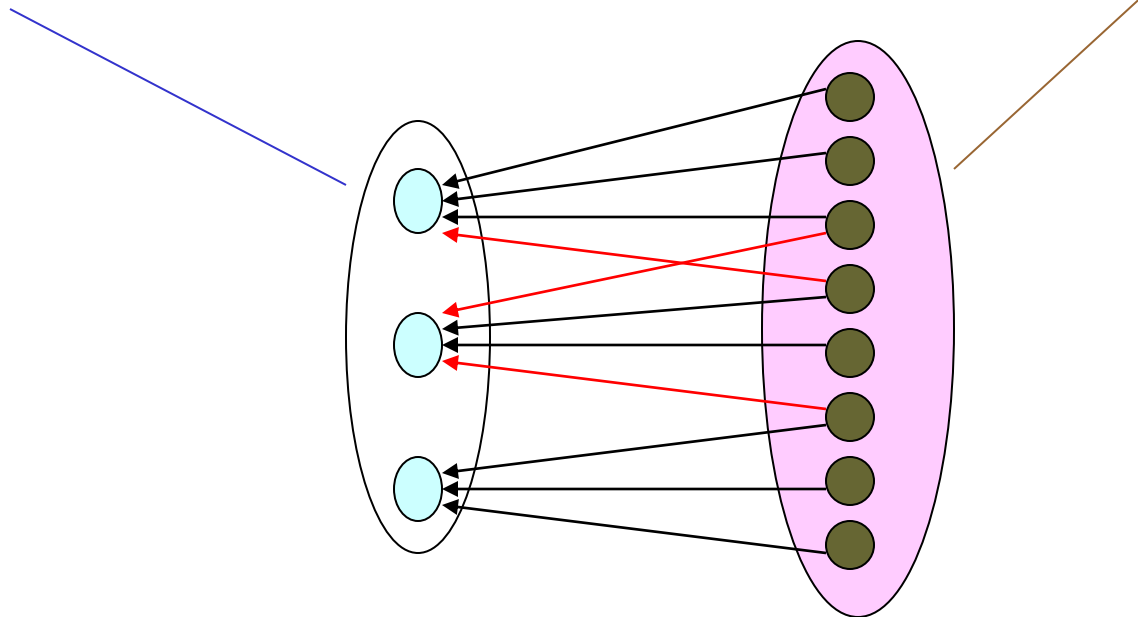


**Пример: расширение сети: (подключение пользователей к точкам доступа - задача о назначении) [Левин, 2010]**

**Задача:**

**1. Точки доступа**

**2. Конечные пользователи**

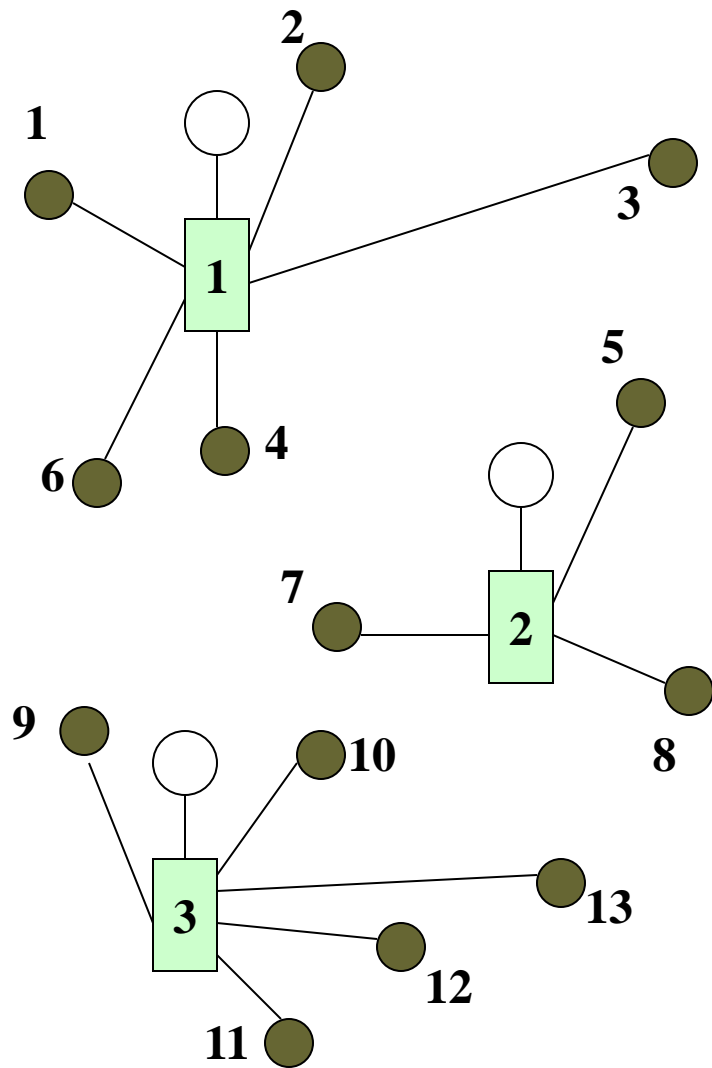


**Назначить точку доступа для каждого пользователя**

**Использована многокритериальная задача о назначениях  
(Плюс: обобщенная многокритериальная задача о назначениях, когда пользователь может быть подключен к нескольким точкам доступа)**

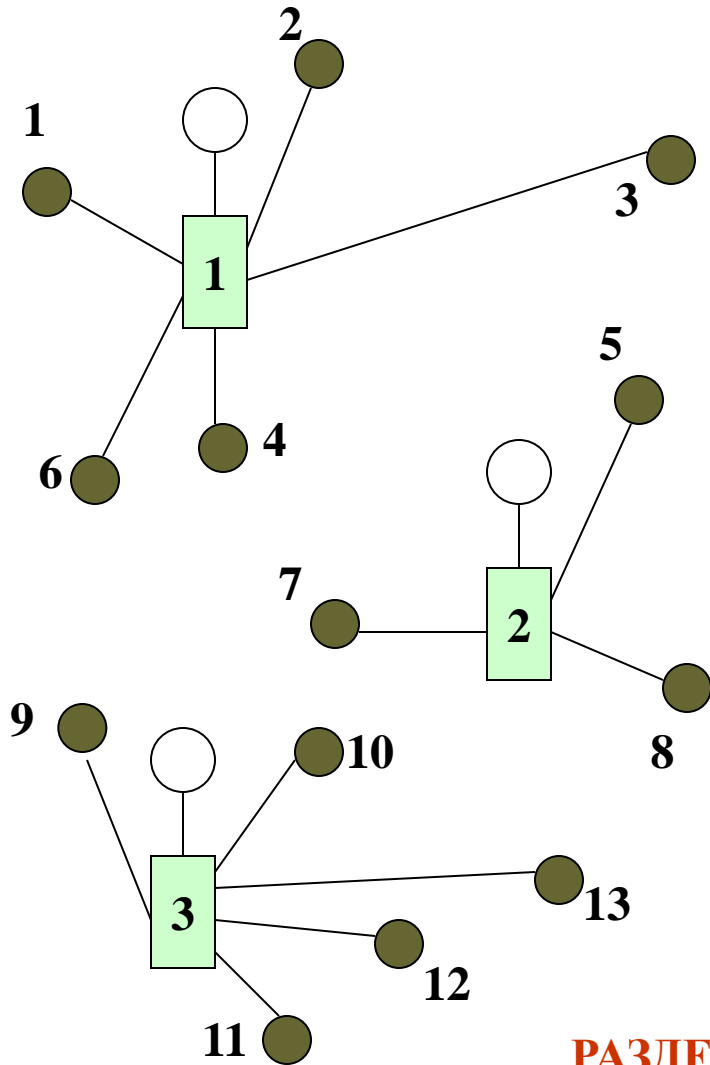
# Пример

## Исходный регион

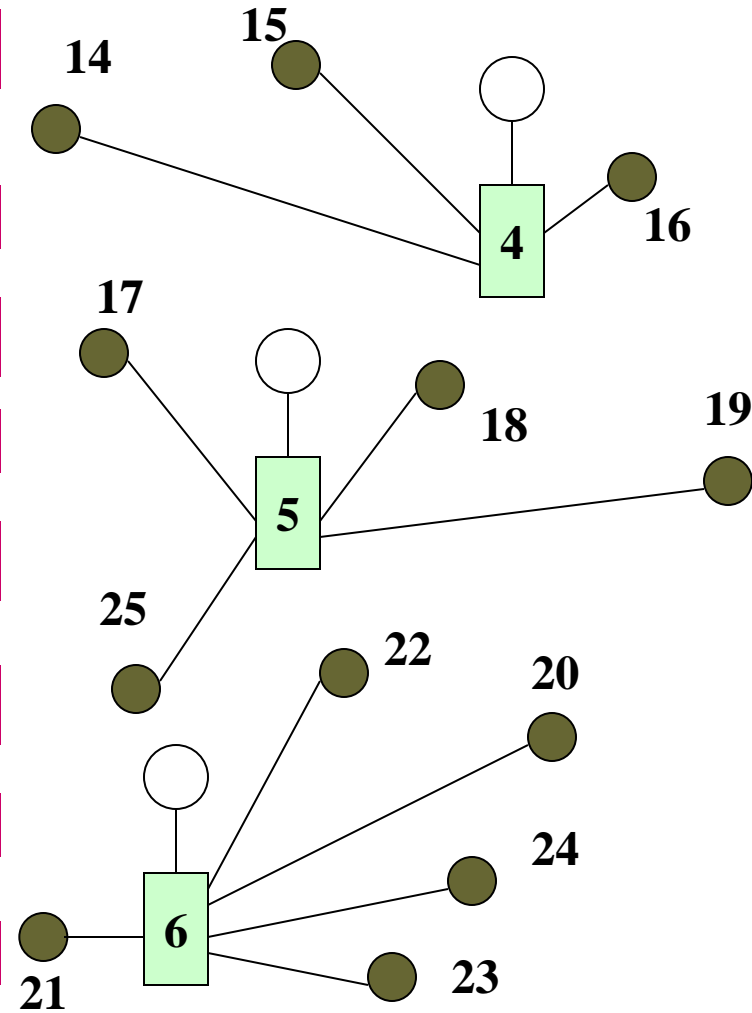


# Пример

## Исходный регион



## Дополнительный регион



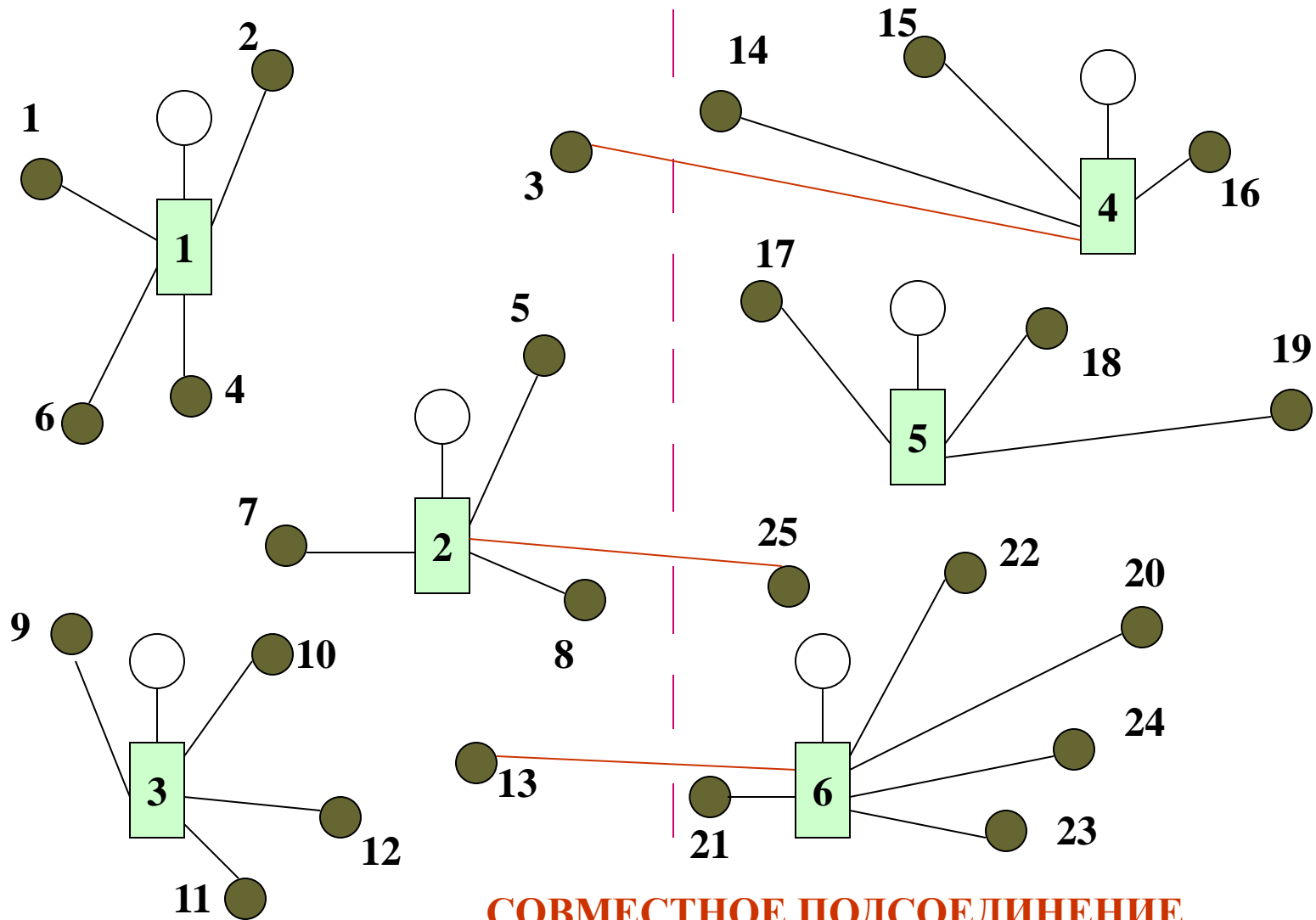
**РАЗДЕЛЬНОЕ ПОДСОЕДИЕНИЕ**



# Пример

Исходный регион

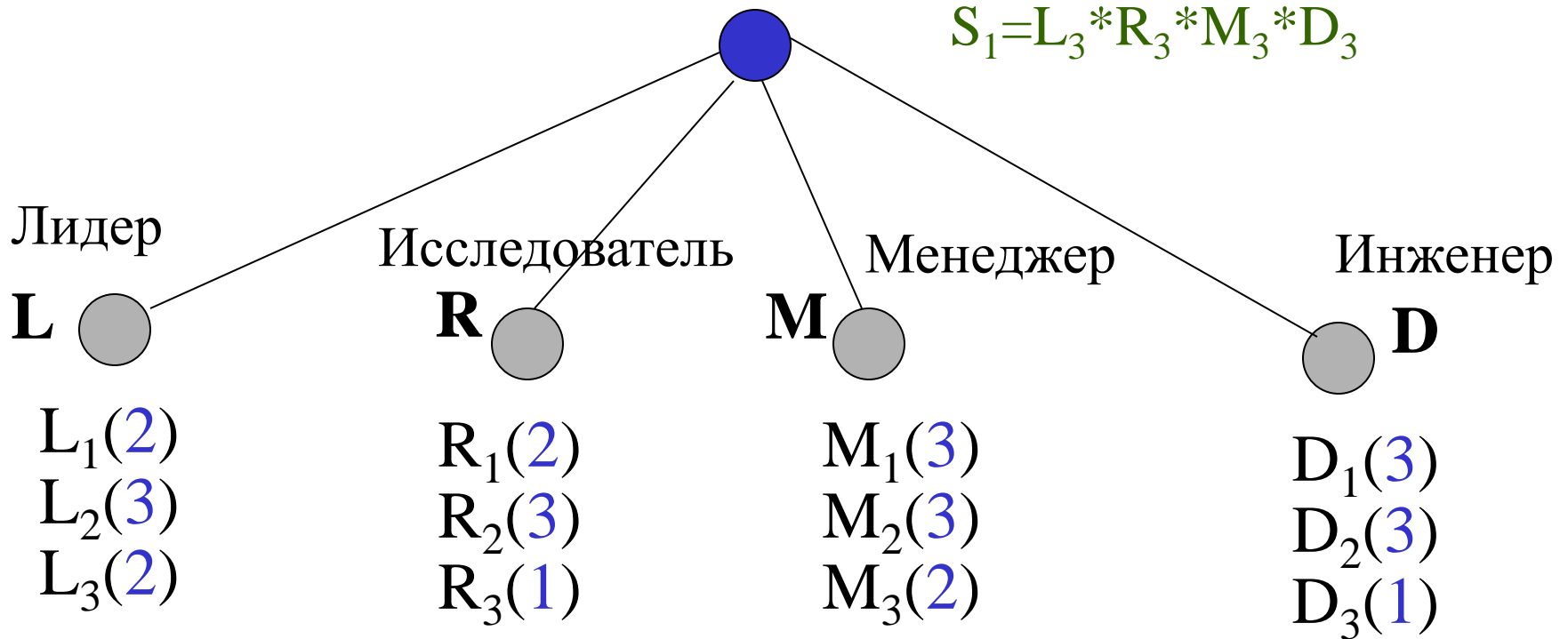
Дополнительный регион



**СОВМЕСТНОЕ ПОДСОЕДИНЕНИЕ**

Пример: Проектирование группы

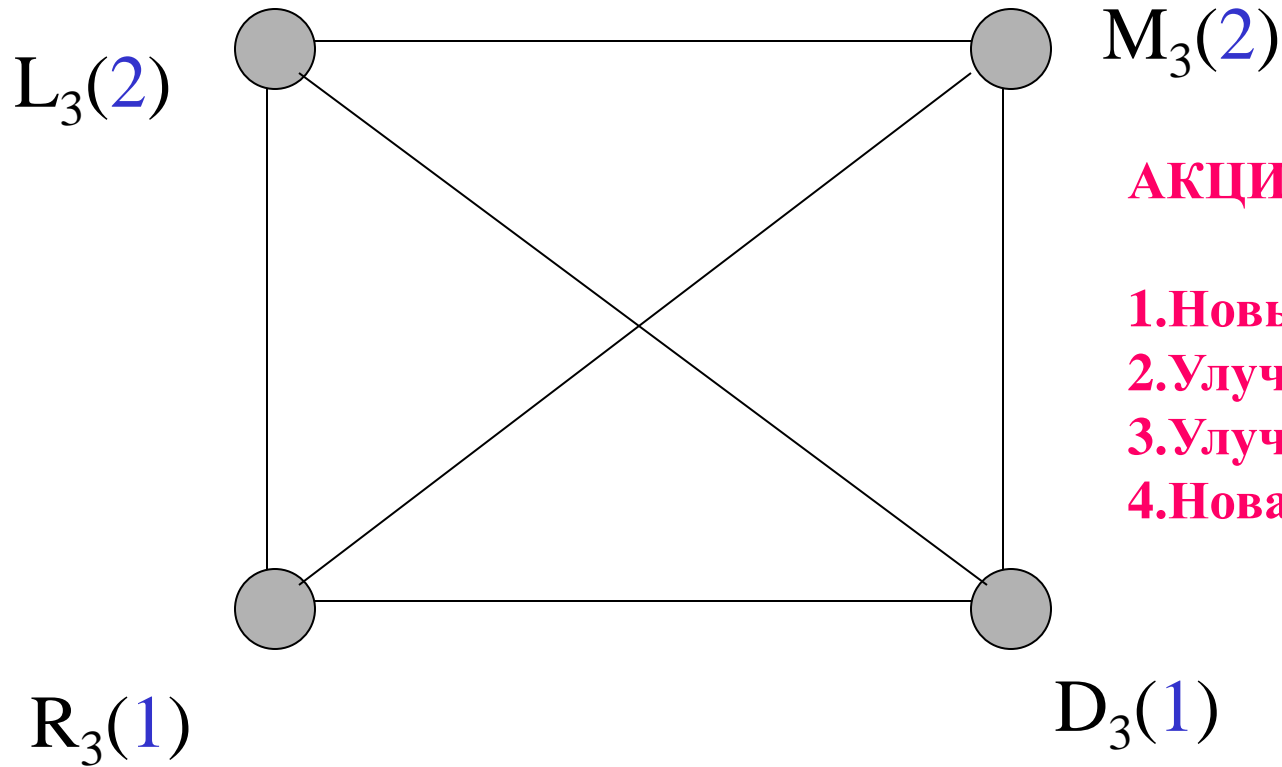
Группа:  $S = L * R * M * D$



Пример 1: Проектирование группы

Группа:  $S = L * R * M * D$

$$S_1 = L_3 * R_3 * M_3 * D_3$$



**АКЦИИ УЛУЧШЕНИЯ:**

- 1. Новый сотрудник**
- 2. Улучшение сотрудника**
- 3. Улучшение совместимости**
- 4. Новая структура**

Прикладное пример: Улучшение группы

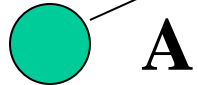
План улучшения

$$S = A * B * C$$

$$S_1 = A_3 * B_1 * C_2$$

$$S_2 = A_3 * B_1 * C_3$$

Новые  
сотрудники



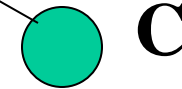
- $A_1(2)$
- $A_2(2)$
- $A_3 = A_1 \& A_2(2)$

Профессиональные  
курсы



- $B_1(1)$
- $B_2(2)$
- $B_3(1)$
- $B_4(1)$
- $B_5 = B_3 \& B_4(2)$
- $B_6 = B_1 \& B_4(3)$
- $B_7 = B_1 \& B_2 \& B_4(3)$

Совместные  
поездки



- $C_1(2)$
- $C_2(1)$
- $C_3(1)$
- $C_4 = C_1 \& C_3(3)$

## Проектные альтернативы для улучшения группы

**A<sub>1</sub> новый лидер**

**A<sub>2</sub> новый менеджер**

**A<sub>3</sub> = A<sub>1</sub> & A<sub>2</sub>**

**B<sub>1</sub> курс о достижениях в науке & технике**

**B<sub>2</sub> курс по иностранному языку**

**B<sub>3</sub> курс по системному анализу**

**B<sub>4</sub> курс по теории творчества**

**B<sub>5</sub> = B<sub>3</sub> & B<sub>4</sub>**

**B<sub>6</sub> = B<sub>1</sub> & B<sub>4</sub>**

**B<sub>7</sub> = B<sub>1</sub> & B<sub>2</sub> & B<sub>4</sub>**

**C<sub>1</sub> курс по отношениям в коллективе**

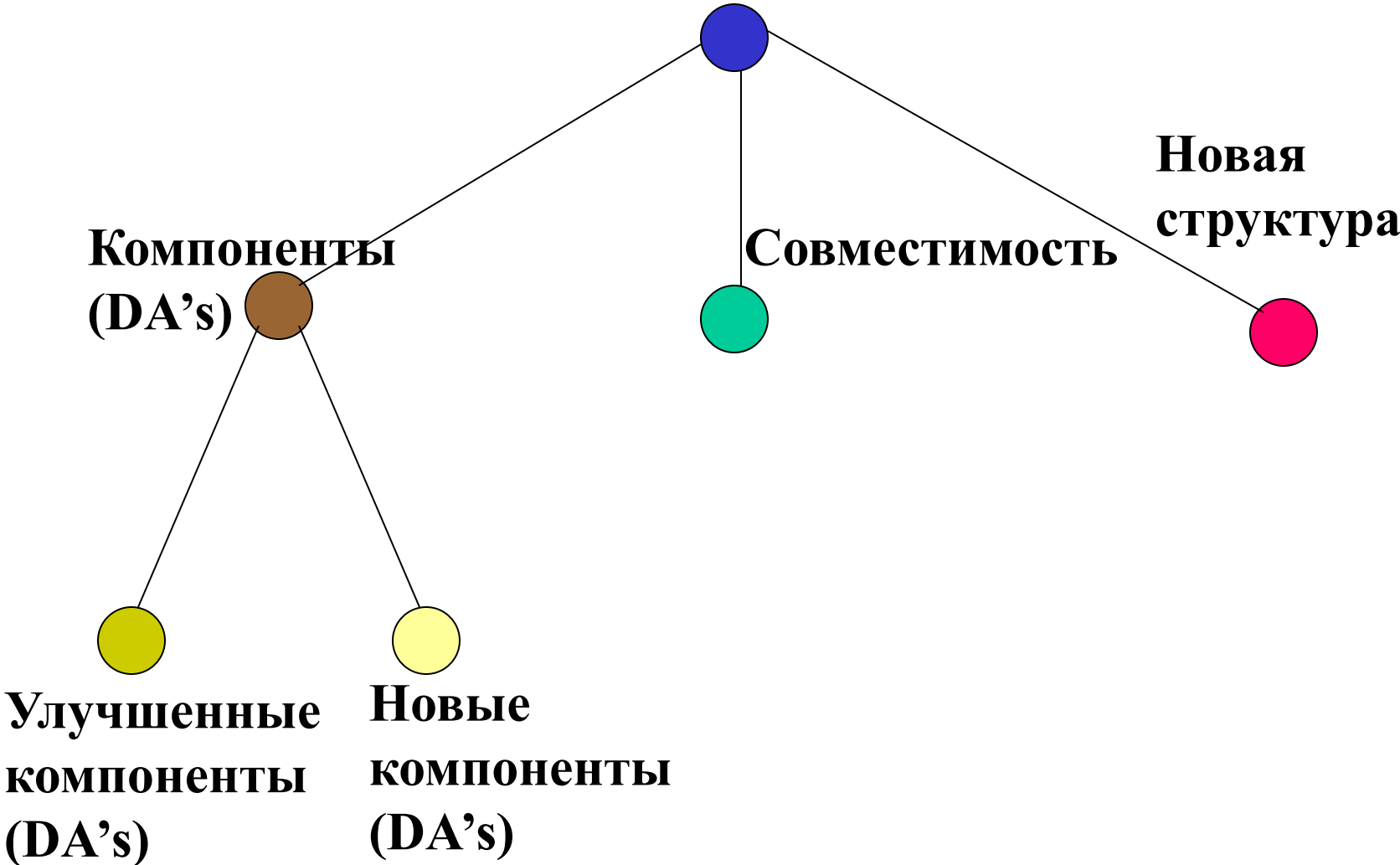
**C<sub>2</sub> совместная поездка в дом отдыха**

**C<sub>3</sub> совместное участие в проф. конференции**

**C<sub>4</sub> = C<sub>1</sub> & C<sub>2</sub>**

**Система улучшения**

**Система улучшения (изменения)**



## Улучшение в комбинаторной оптимизации: ре-оптимизация и ре-структуризация

**1. Реоптимизация:** имеется решение для оптимизационной задачи (покрывающее дерево, дерево Штейнера, задача коммивояжера, покрытие, мин. общая подпоследовательность). Требуется получить улучшение решения за счет небольших изменений (добавить вершину, удалить вершину) [2008...]

**2. Реструктуризация** (рюкзак, блочный рюкзак, покрывающее дерево, дерево Штейнера) [Левин, 2011]:

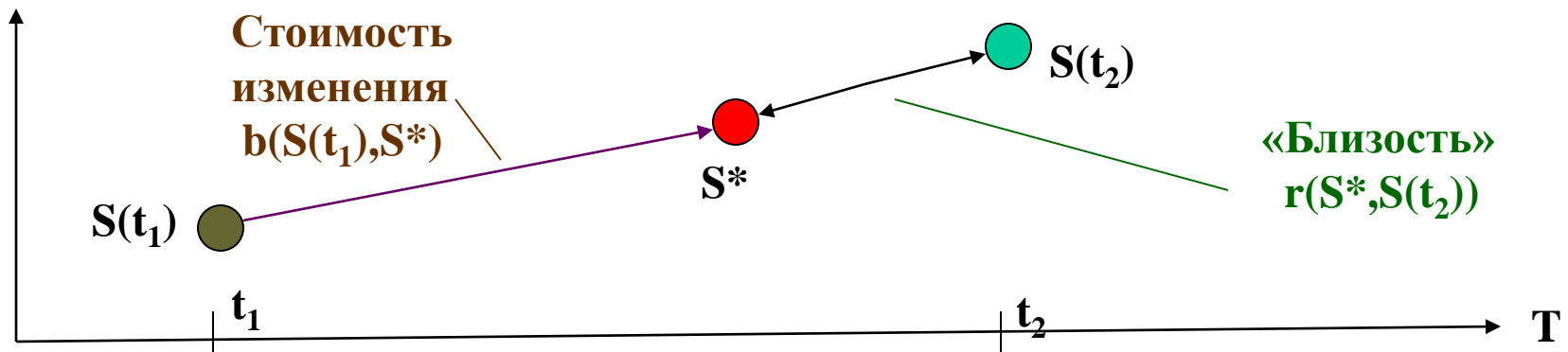
(а) имеется оптимальное решение в данный момент  $t_1$ :  $S(t_1)$

(б) имеется оптимальное решение в следующий момент  $t_2$ :  $S(t_2)$

Требуется изменить решение  $S(t_1)$  (на основе типовых операций изменения), чтобы получить решение  $S^*$ , которое «близко» (по структуре решения) к решению  $S(t_2)$

Общая задача:  $\min r(S^*, S(t_2)), \min b(S(t_1), S^*)$

«Качество»



## Вспомогательная схема: агрегация модульных решений



### Типы решений:

1. Множество 2. Ранжировка 3. Дерево 4. Морфологическая модель

### Стратегии:

1. Выделение системного ядра (подрешения - substructure) и дополнение ядра (блочный рюкзак, ИММП)
2. Построение надрешения (superstructure) и удаление ненужных элементов (блочный рюкзак, ИММП)
3. Расширенное проектирование (с дополнительными элементами)

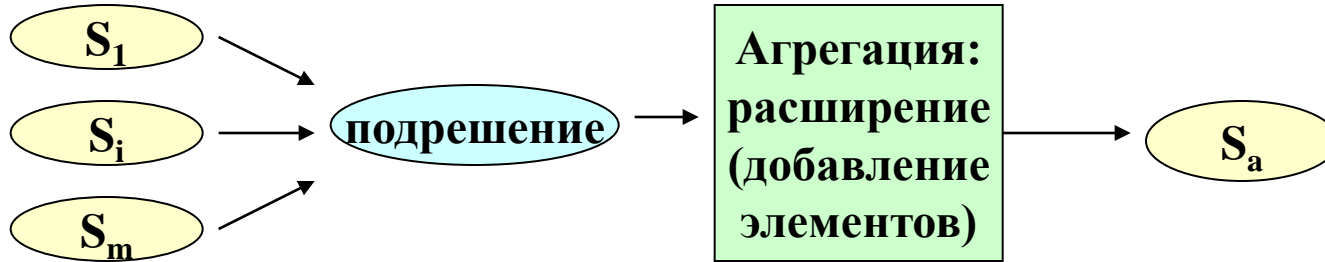
### Вспомогательные задачи:

1. Близость между модульными решениями (множества, ранжировки, деревья, морфологические модели)
2. Построение: надрешение (superstructure) и подрешение (substructure)
3. Построение: медиана, консенсус (в частности, agreement tree)

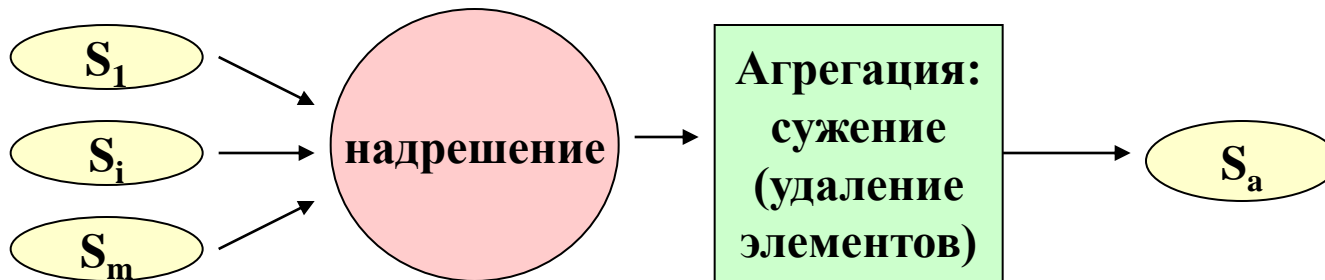


# Вспомогательная схема: агрегация модульных решений

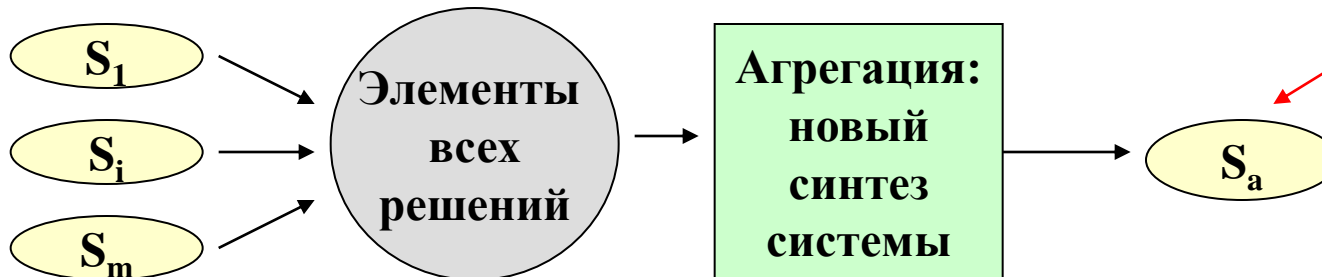
## Стратегия расширения



## Стратегия сужения



## Стратегия нового проектирования (синтеза)

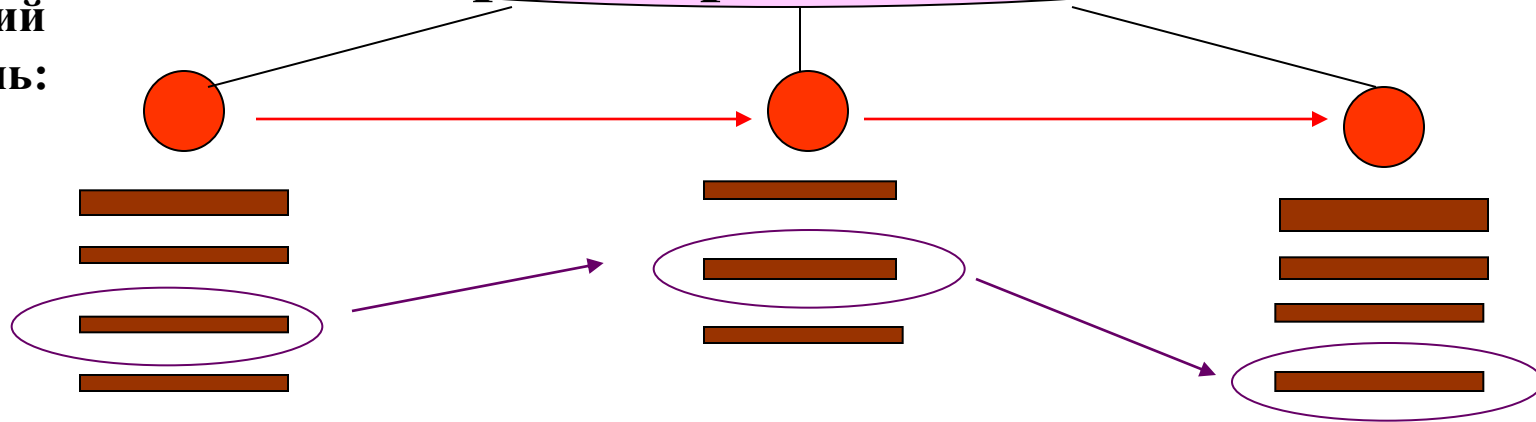


**Замечание:**  
могут  
получаться  
несколько  
решений  
(Парето-  
эффективные  
решения)

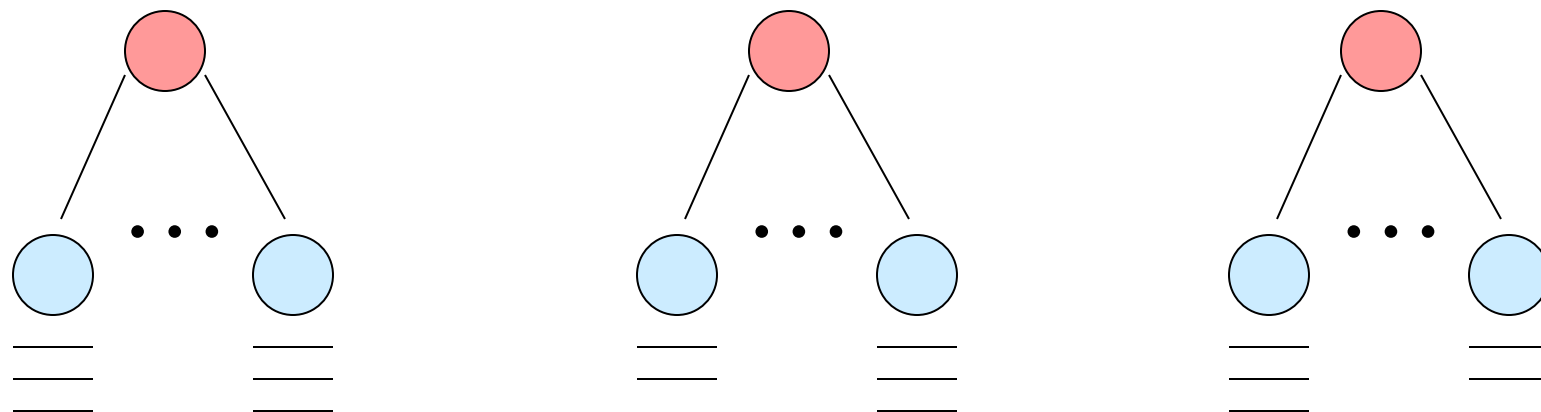
# СХЕМА 6: Многостадийное проектирование

## Траектория: цепочка

Верхний  
уровень:  
синтез



Нижний  
уровень:  
синтез  
(блочный  
рюкзак,  
ИММП)



Стадия 1

Стадия 2

Стадия 3

0

$t_1$

$t_2$

$t_3$

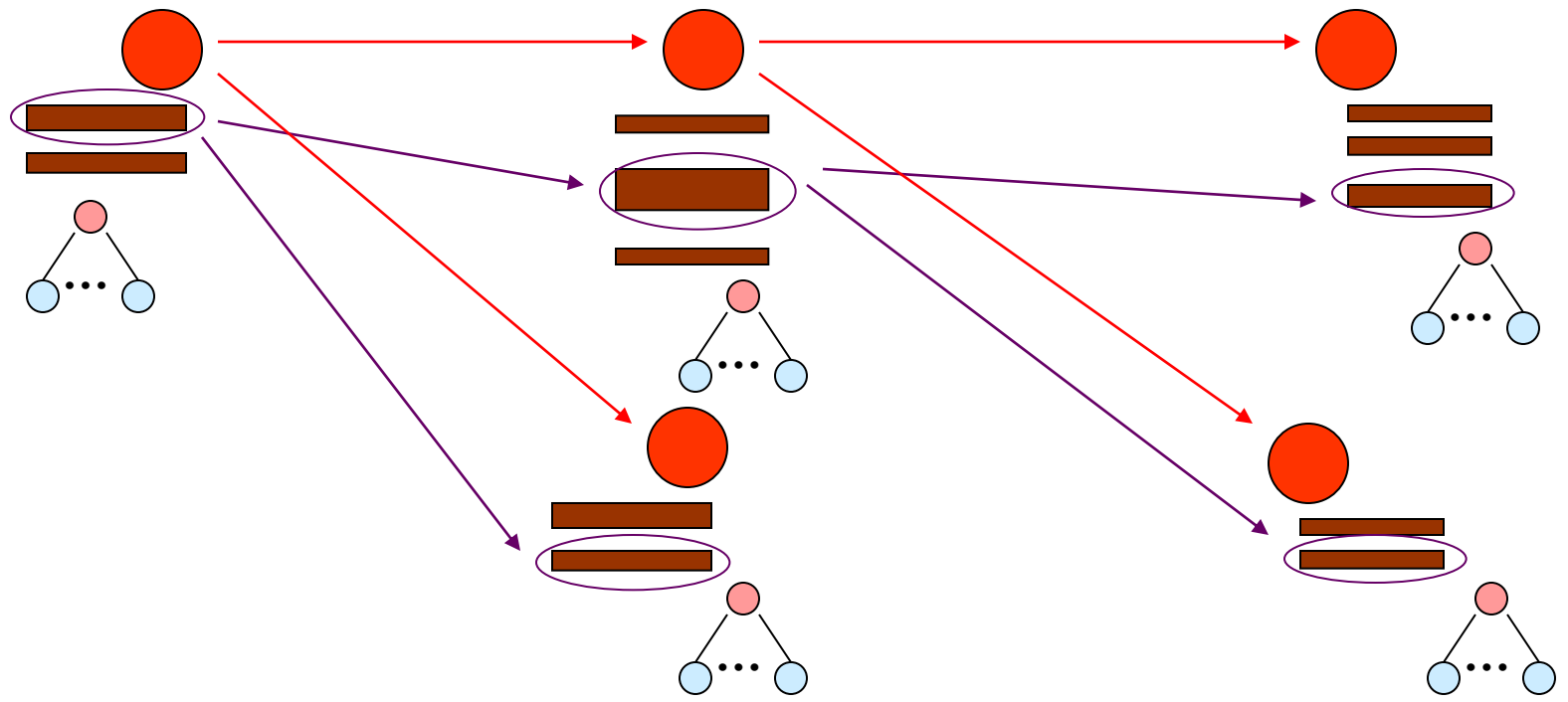
T

# СХЕМА 6: Многостадийное проектирование

## Траектория: дерево

Верхний  
уровень:  
синтез  
(ИММП)

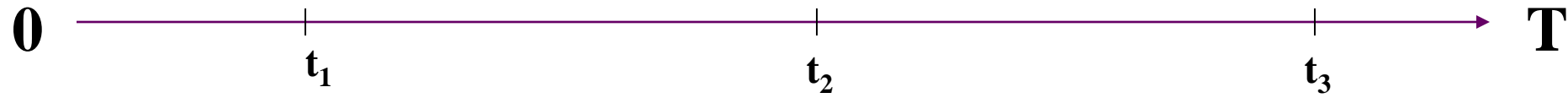
Нижний  
уровень:  
синтез  
(блочный  
рюкзак,  
ИММП)



Стадия 1

Стадия 2

Стадия 3



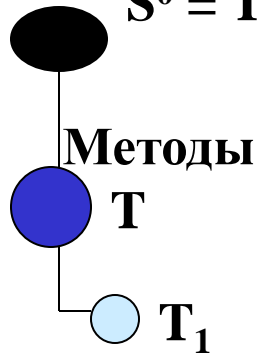
## Схема 7: комбинаторная эволюция и прогноз



Поколения СППР КОМБИ (1984...1993) [Levin, 1993]

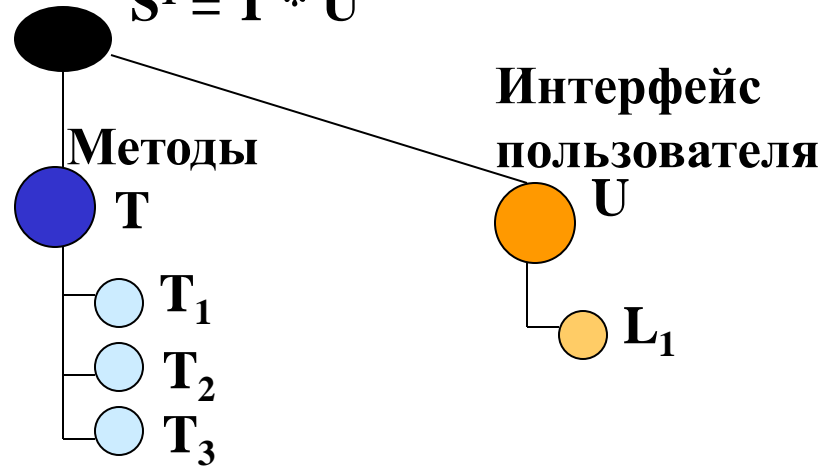
Система 0

$$S^0 = T$$



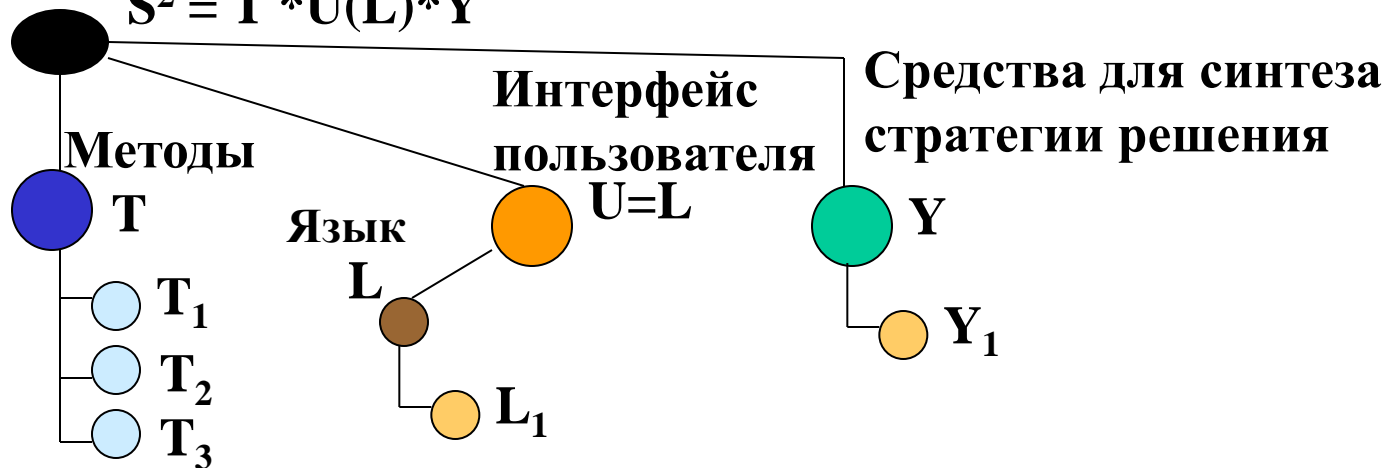
Система 1

$$S^1 = T * U$$



Система 2

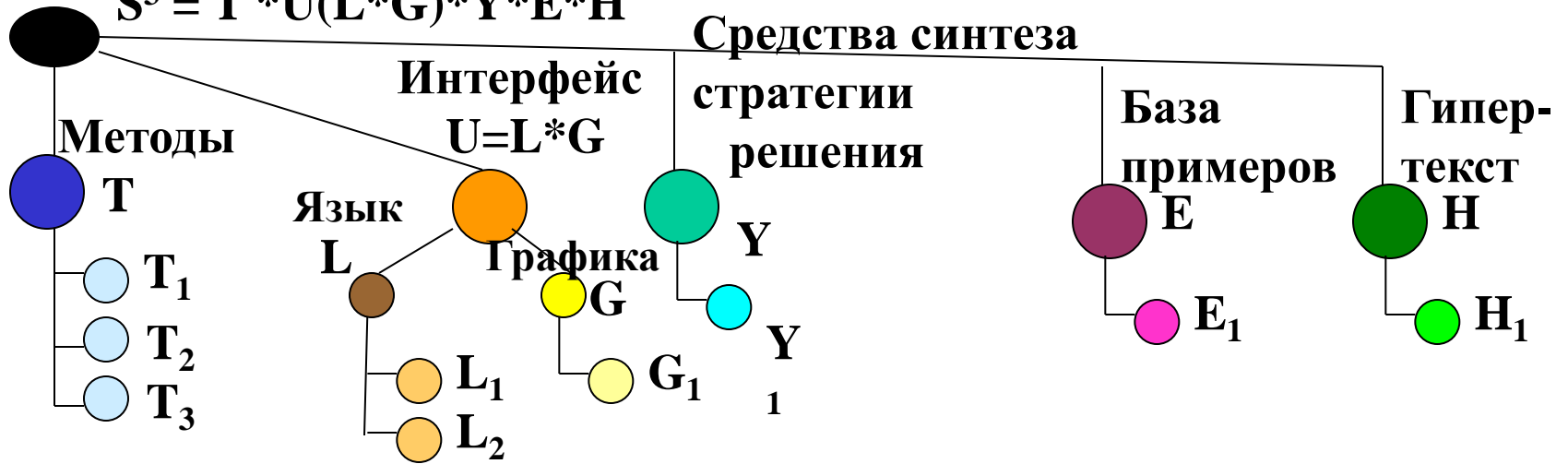
$$S^2 = T * U(L) * Y$$



Поколения СППР КОМБИ [Levin, 1993]

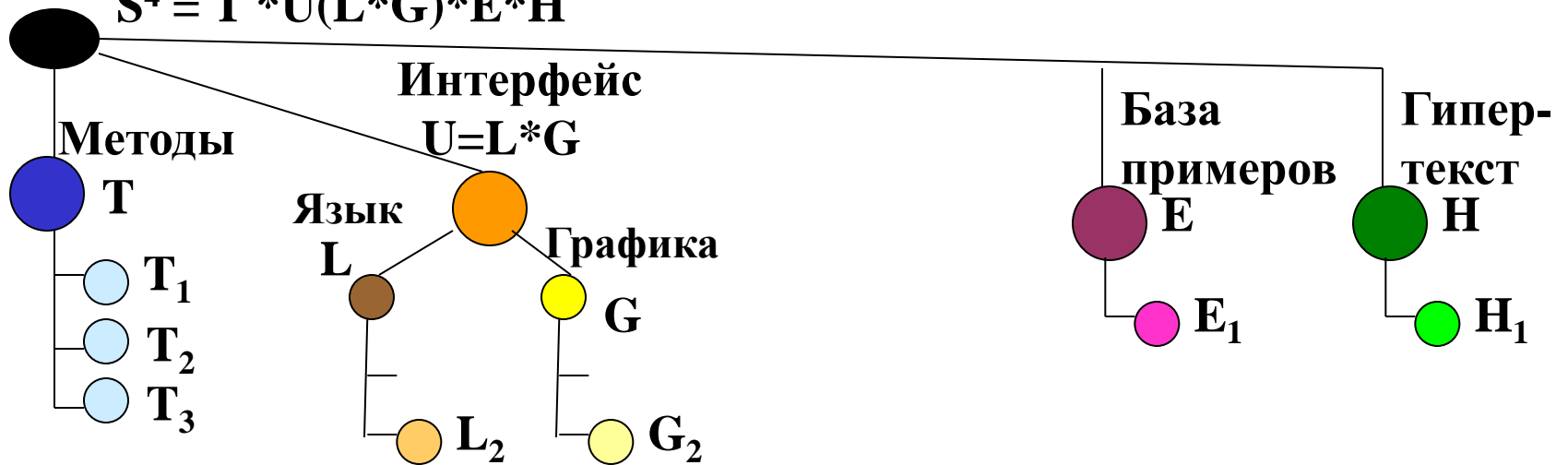
Система 3

$$S^3 = T * U(L * G) * Y * E * H$$

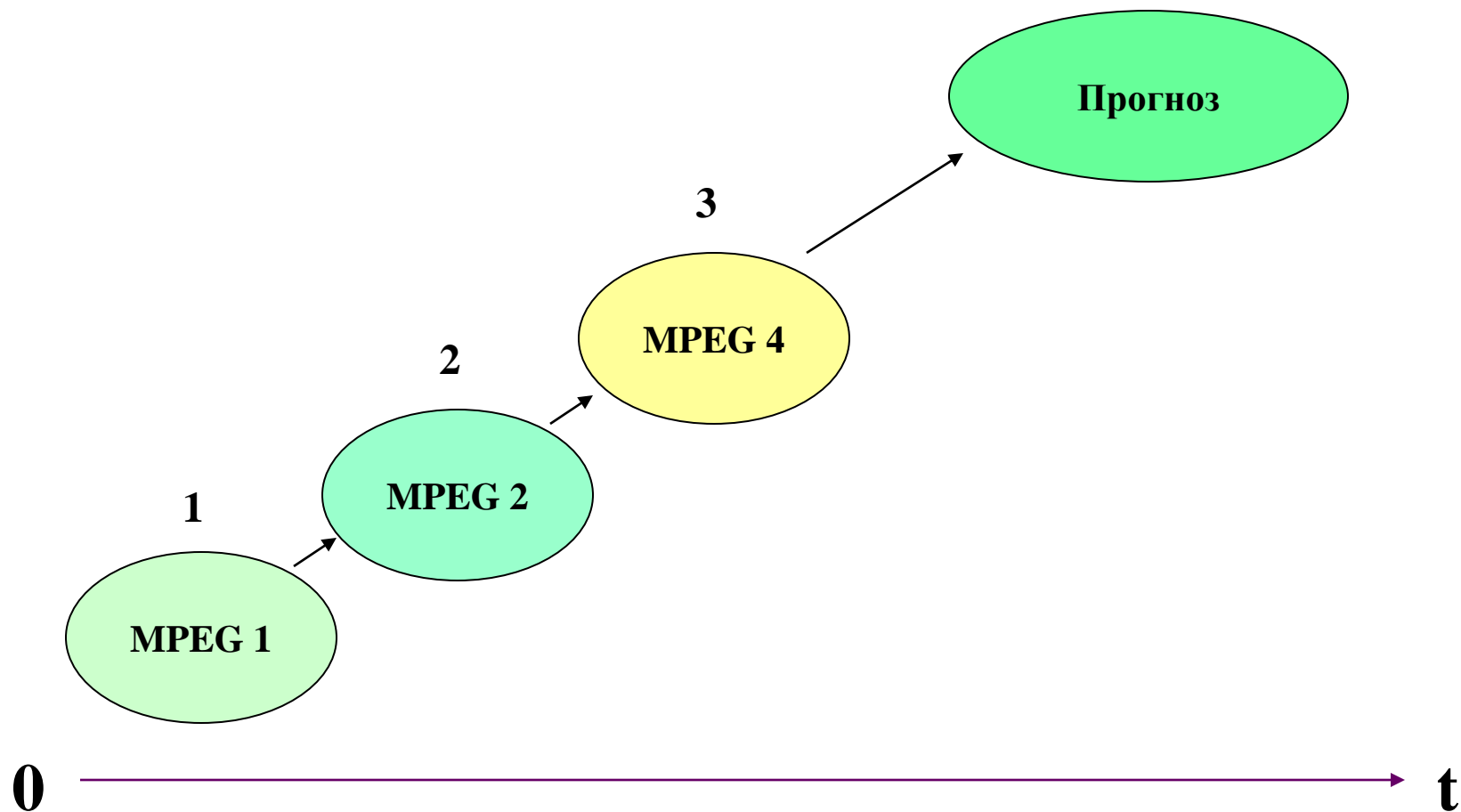


Система 4

$$S^4 = T * U(L * G) * E * H$$



# Стандарты типа MPEG [Levin et al., 2009]



# Эволюция устройства обработки изображения (Levin&Feldman,2000;Levin,2006)





## Общие операции изменения

**Типовые операции изменения:**

**I.Для DA's:**

**1.1.Изменение / улучшение DA's  $O_1: A_i \Rightarrow A'_i$**

**1.2.Удаление DA  $O_2$**

**1.3.Добавление DA  $O_3$**

**1.4.Агрегация DA's  $O_4: \{ A_i \} \Rightarrow A^a = A_1 \&A_2 \& \dots$**

**1.5.Стандартизация DA's  $O_5: \{ A_i \} \Rightarrow A^s$**

**II.Операции для подсистем (частей):**

**2.1.Изменение / улучшение части системы  $O_6$**

**2.2.Удаление  $O_7$**

**2.3.Добавление  $O_8$**

**2.4.Агрегация  $O_9$**

## Процесс

### **I. Характеристики операций изменения:**

- 1. Требуемый ресурс (стоимость)**
- 2. Возможная польза**
- 3. Др.**

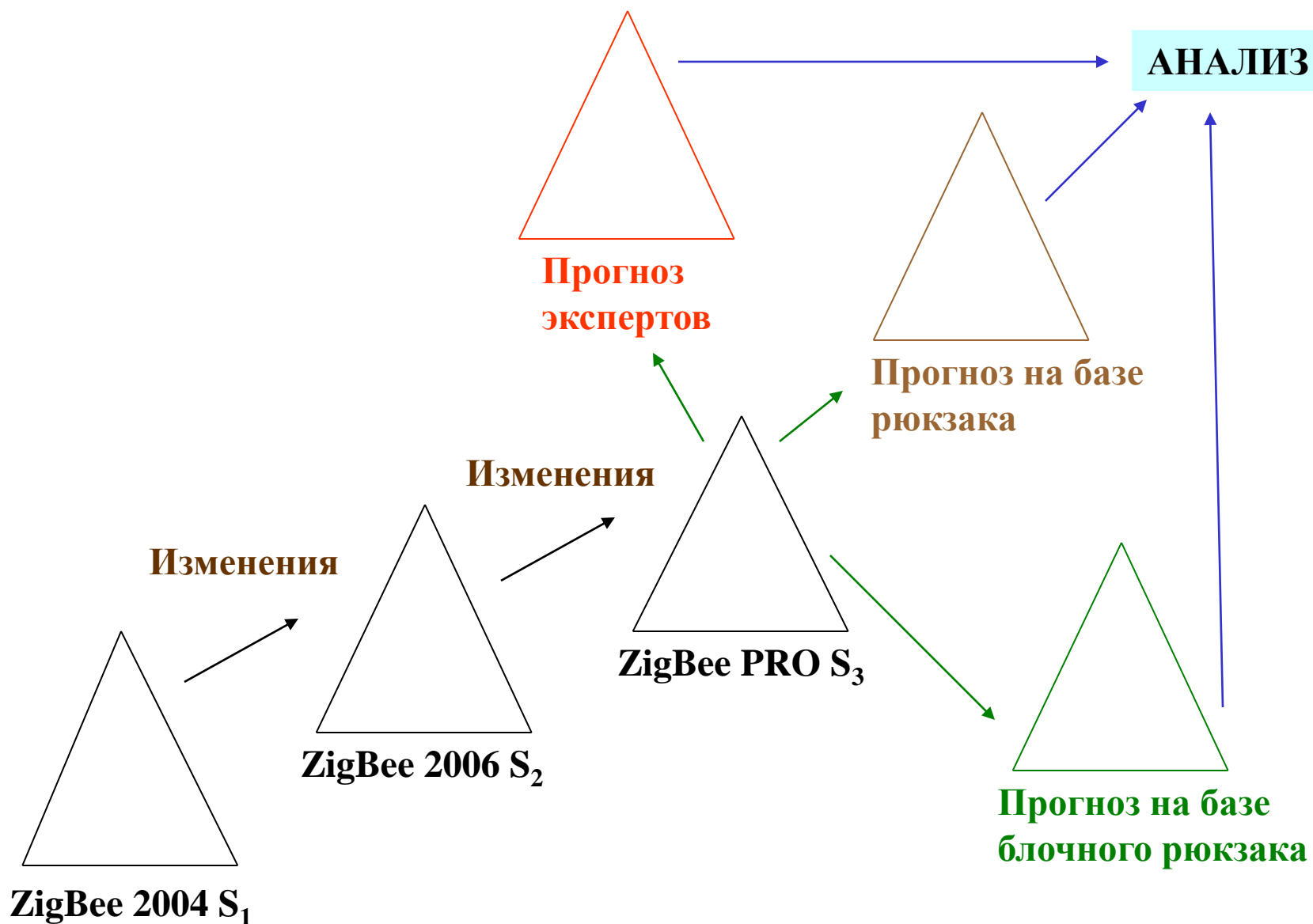
### **II. Бинарные отношения над операциями:**

- 1. Предшествование (  $O_i \Rightarrow O_j$  )**
- 2. Эквивалентность**
- 3. Дополнительность**

### **Комбинаторные задачи:**

- **1. Многокритериальное ранжирование**
- **2. Рюкзак**
- **3. Блочный рюкзак**
- **4. Многокритериальный рюкзак**
- **5. Многокритериальный блочный рюкзак**
- 6. Планирование (расписание)**
- 7. ИММП**

# Эволюция протокола ZigBee (для сенсорных сетей)

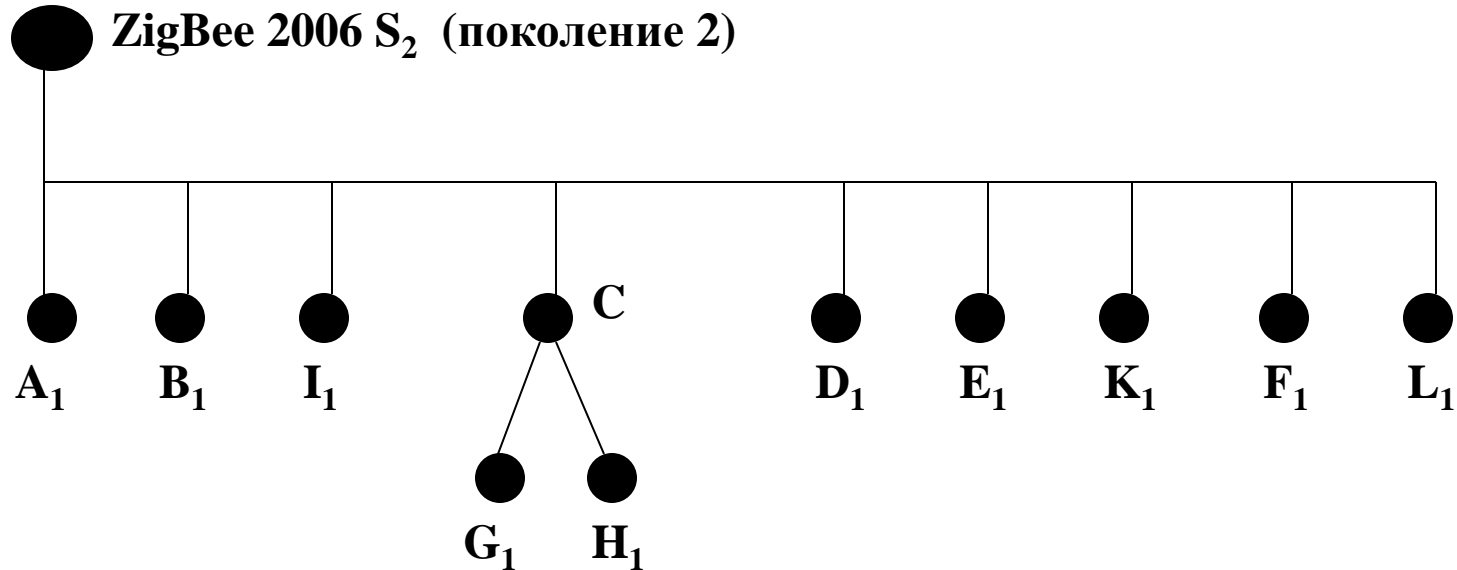
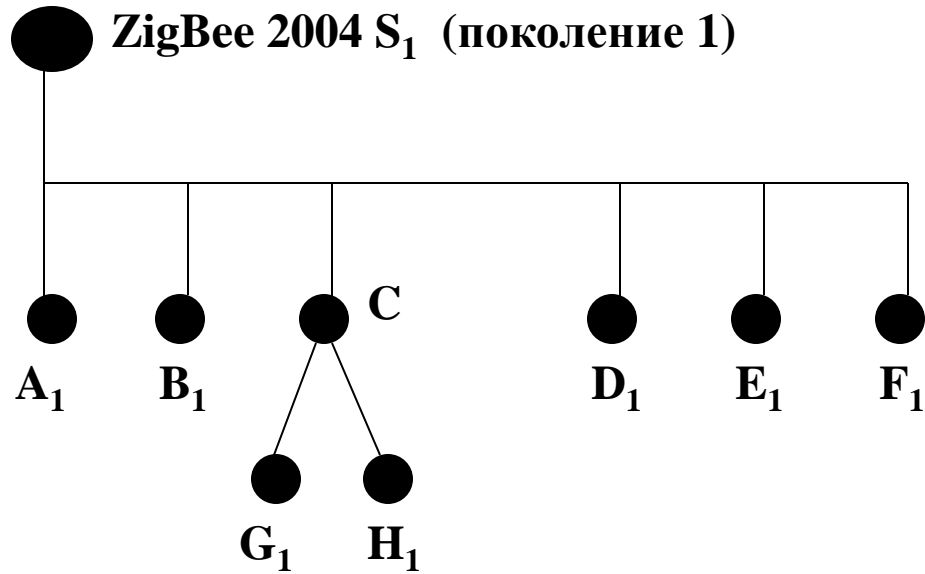


## Общая структура протокола ZigBee

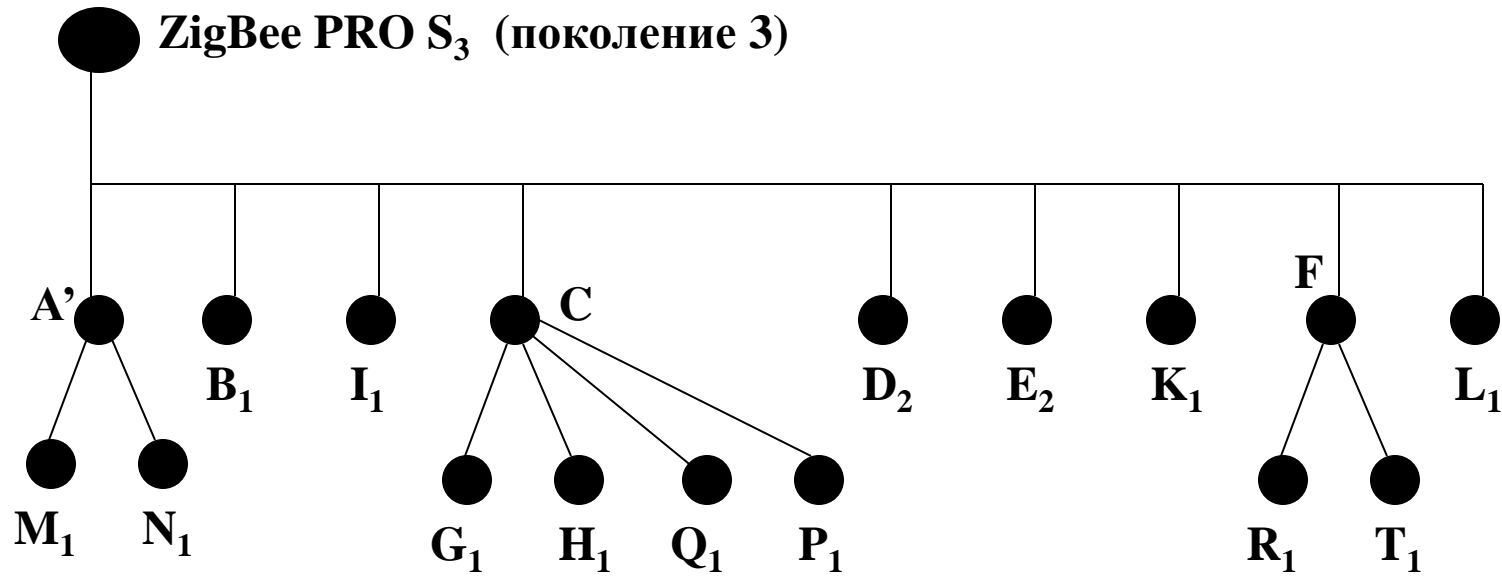
### Части системы:

- 1. Interference avoidance A**
- 2. Automated/distributed address management B**
- 3. Group addressing I**
- 4. Centralized data collection C**
- 5. Network scalability D**
- 6. Message size E**
- 7. Standardized commissioning K**
- 8. Robust mesh networking F**
- 9. Cluster library support L**
- 10. Web services support W**

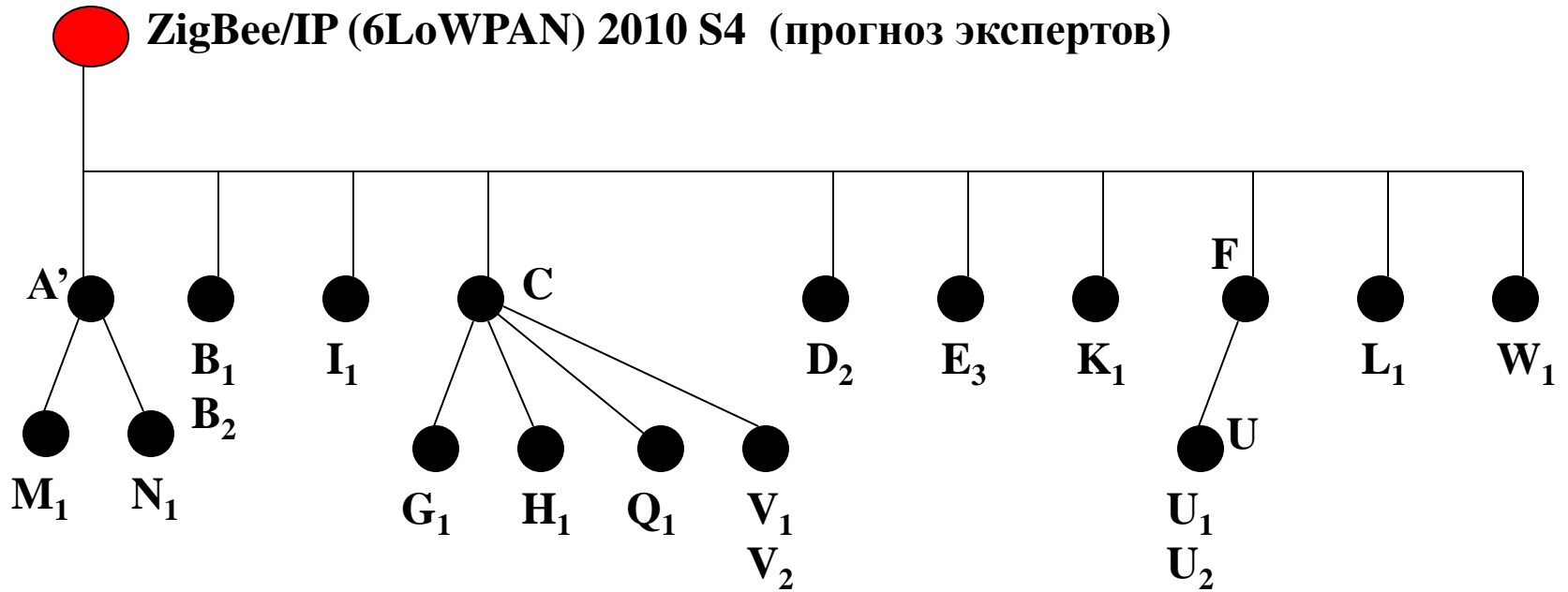
# Структуры поколений ZigBee



# Структуры поколений протокола ZigBee



# Прямой экспертный прогноз для ZigBee



## Операции изменения и оценки

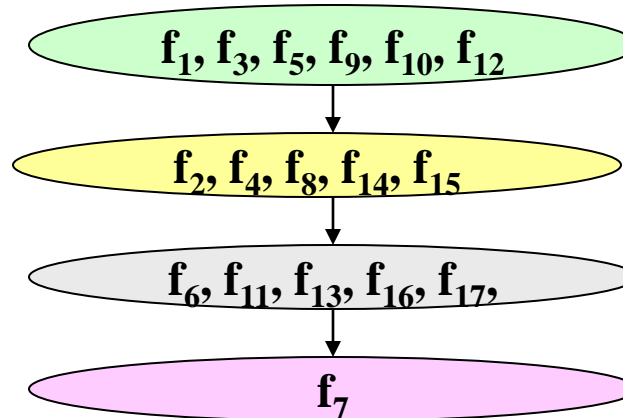
Стадия 1. Операции изменения:

$f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9, f_{10}, f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{15}, f_{16}, f_{17}$

Стадия 2. Оценивание по 8 критериям

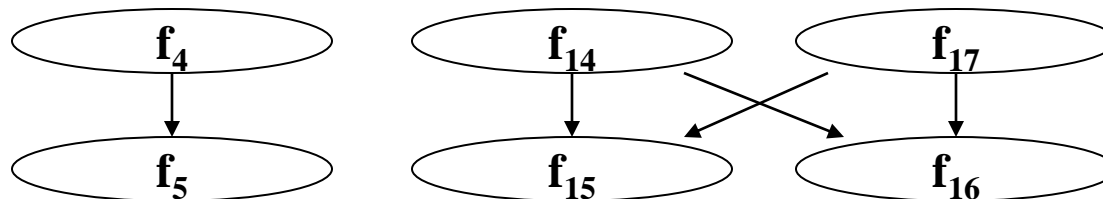
(требуемое время, эффективность, масштабируемость, надежность, полезность и др.)

Стадия 3. Многокритериальное ранжирование



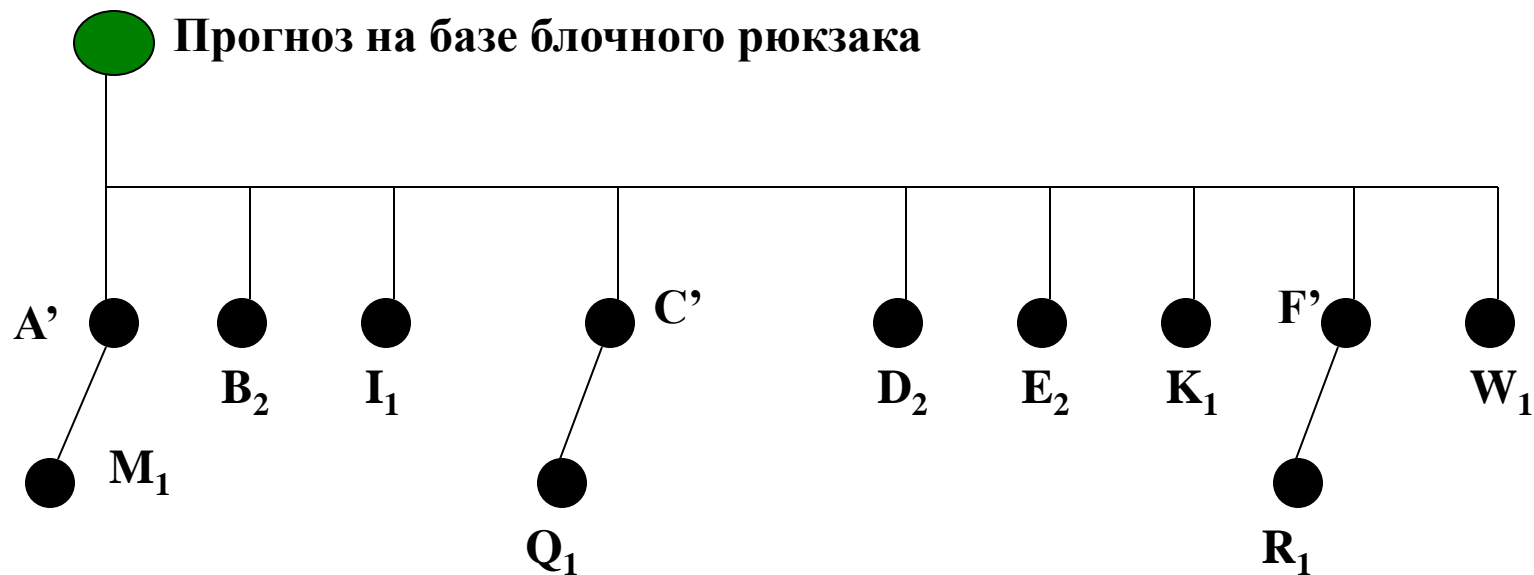
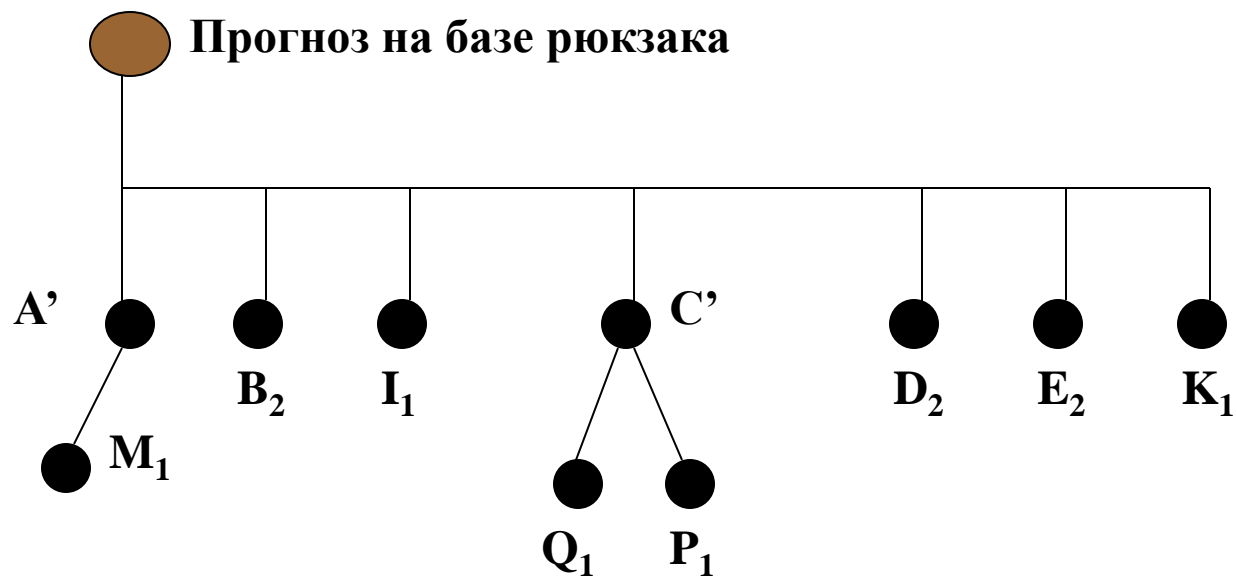
Стадия 4. Построение бинарных отношений над операциями

(эквивалентность, дополненность, предшествование)





# Вычисленные прогнозы



## Сравнение прогнозов

Методы сравнения/анализа : 1. эксперты 2.Парето-подход

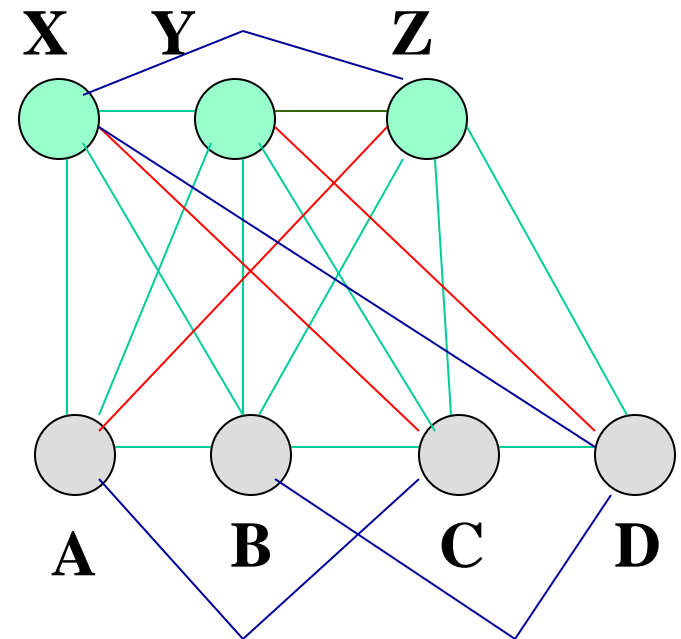
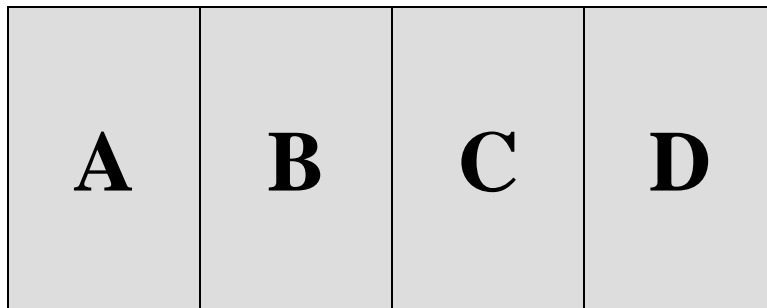
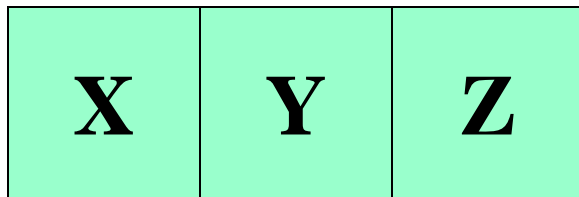
Общая полезность



ИММП для задачи размещения: пример

**ПРИКЛАДНАЯ ЗАДАЧА:**

Размещение сотрудников по комнатам  
(из немецкого исследовательского проекта)



Близость: (a) малая, (b) средняя, (c) большая



Источник:

M.Sh. Levin, *Combinatorial Engineering of Decomposable Systems*, Kluwer/Springer, 1998.

## СОТРУДНИКИ

- $P_1$     Лидер крупного проекта     $R_1$**
- $P_2$     Лидер крупного проекта     $R_2$**
- $P_3$     Менеджер крупного проекта     $R_1$**
- $P_4$     Исследователь, проекты:  $R_1$  и  $R_3$**
- $P_5$     Исследователь, проект:  $R_2$**
- $P_6$     Исследователь, проекты:  $R_1$  и  $R_4$**
- $P_7$     Исследователь, проекты:  $R_1$  и  $R_2$**
- $P_8$     Секретарь, проект:  $R_1$**
- $P_9$     Секретарь, проекты: Все**

## ОПИСАНИЕ СОТРУДНИКОВ

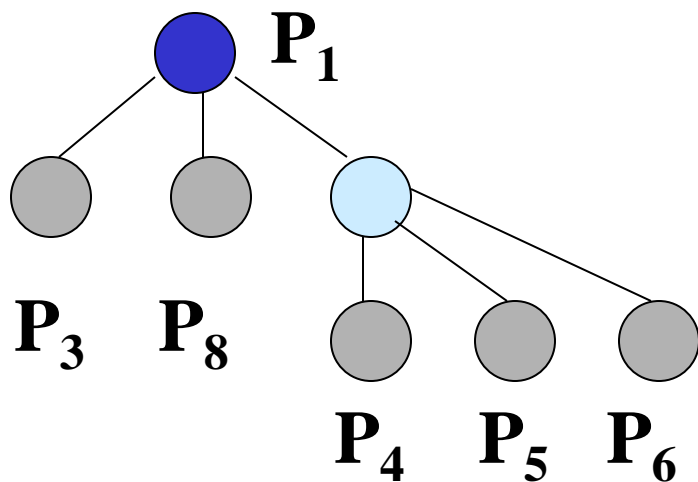
КУРЕНИЕ ДРУЖБА

КОМНАТЫ

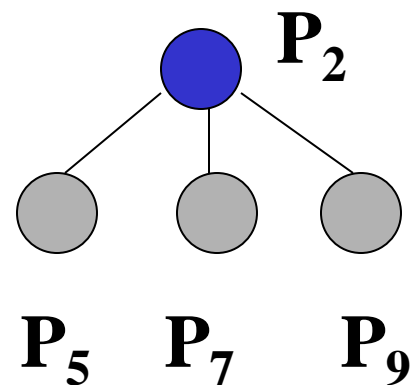
$P_1$	Да	$P_2, P_3$	A, B, C, D
$P_2$	Нет	$P_1$	A, B, C, D
$P_3$	Да	$P_1, P_5$	A, B, C, D, X, Y, Z
$P_4$	Нет	$P_1, P_3, P_8$	A, B, C, D, X, Y, Z
$P_5$	Да	$P_3, P_8$	A, B, C, D
$P_6$	Нет	$P_4$	A, B, C, D, X, Y, Z
$P_7$	Да	$P_5, P_9$	A, B, C, D
$P_8$	Да	$P_3, P_5$	A, B, C, D, X, Y, Z
$P_9$	Да	$P_7$	A, B, C, D, X, Y, Z

## СТРУКТУРА ПРОЕКТОВ

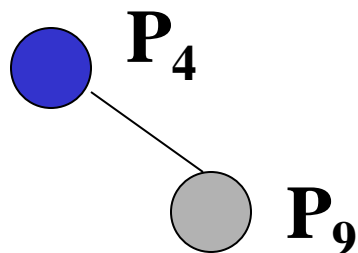
Проект  $R_1$



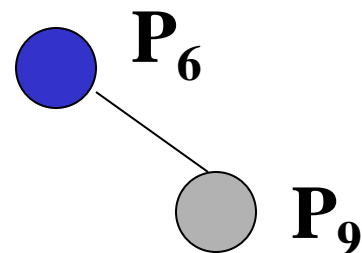
Проект  $R_2$



Проект  $R_3$



Проект  $R_4$



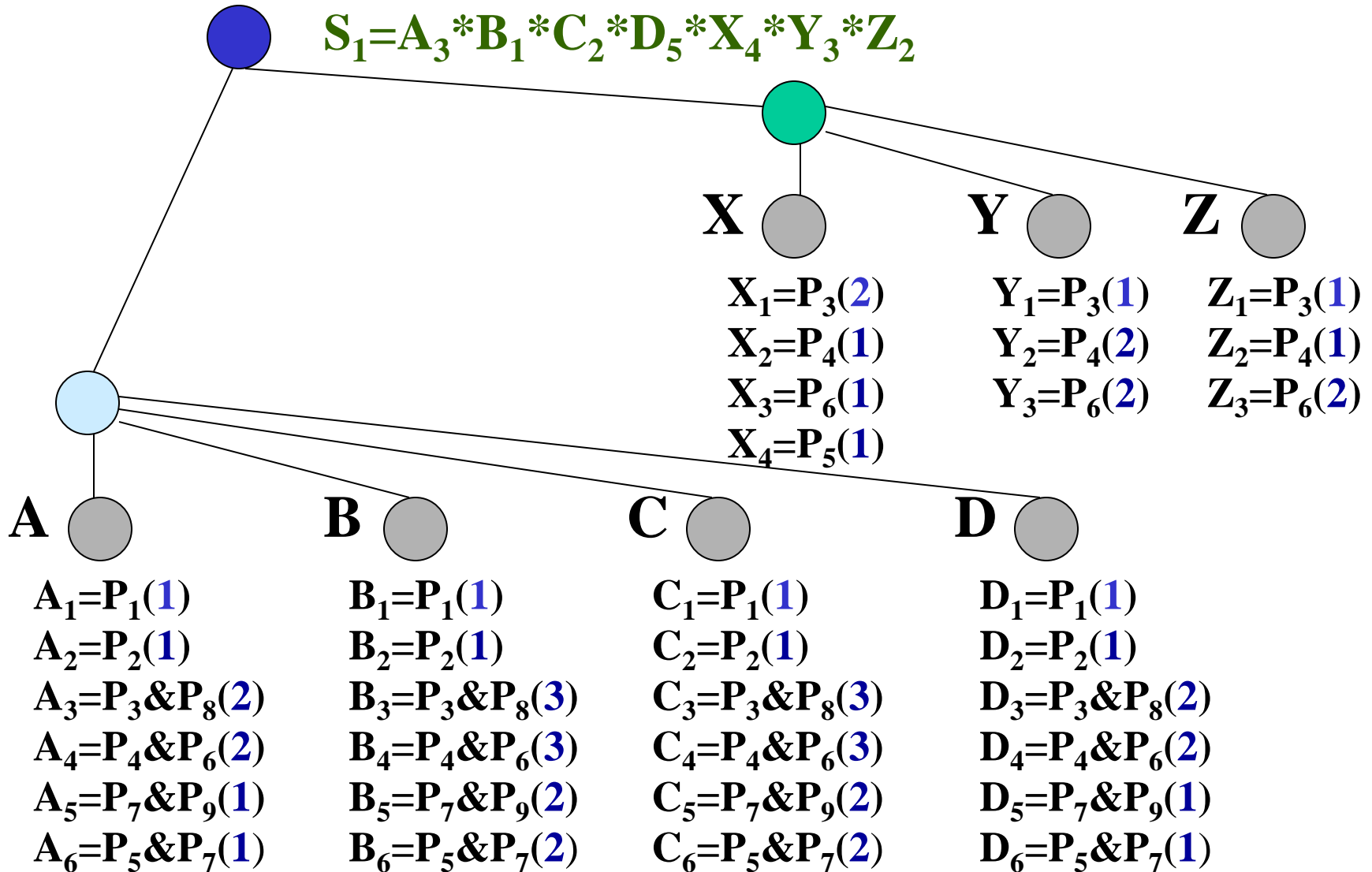
## ПРАВИЛА

- ПРАВИЛО 1:** Лидер проекта должен быть близко ко всем членам проекта
- ПРАВИЛО 2:** Лидер проекта должен располагаться в большой комнате (один)
- ПРАВИЛО 3:** Менеджер проекта должен быть близко к лидеру и секретарю
- ПРАВИЛО 4:** Менеджер проекта должен располагаться в маленькой комнате (один) или в большой комнате (вдвоем)
- ПРАВИЛО 5:** Исследователь (руководитель проекта) должен располагаться в маленькой комнате (один) или в большой комнате (вдвоем)
- ПРАВИЛО 6:** Сотрудники одного проекта должна размещаться в одной комнате или близких комнатах
- ПРАВИЛО 7:** Секретари могут размещаться в большой комнате (вдвоем) или в маленькой комнате (вдвоем)
- ПРАВИЛО 8:** Курящие и некурящие не должны размещаться в одной комнате
- ПРАВИЛО 9:** Друзья должны размещаться в одной комнате или близких комнатах

# ИММП для задачи размещения

$$S = A * B * C * D * X * Y * Z$$

$$S_1 = A_3 * B_1 * C_2 * D_5 * X_4 * Y_3 * Z_2$$





## ИММП для задачи размещения

$$S_1 = A_3 * B_1 * C_2 * D_5 * X_4 * Y_3 * Z_2$$

<b>X:</b> <b>P<sub>5</sub></b>	<b>Y:</b> <b>P<sub>6</sub></b>	<b>Z:</b> <b>P<sub>4</sub></b>
-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

<b>A:</b> <b>P<sub>3</sub>&amp;P<sub>8</sub></b>	<b>B:</b> <b>P<sub>1</sub></b>	<b>C:</b> <b>P<sub>2</sub></b>	<b>D:</b> <b>P<sub>7</sub>&amp;P<sub>9</sub></b>
---	-----------------------------------	-----------------------------------	---

**I.Компьютерные системы:**

(а)синтез модульного пакета

(б)человеко-машинный интерфейс (СППР КОМБИ)

(в)оверлейная структура модульной программы

(г)последовательно-параллельные стратегии многокритериального ранжирования (на примере СППР КОМБИ)

**II.Биомедицина:** (а)план лечения (б)иммунологический анализ

**III.Строительство:** (а)здание (б)технология бетона

**IV.Системы связи, сенсорные сети, телеметрия:**

(а)подключение пользователей (задача «последняя миля»)

(б)стандарты передачи мультимедийной информации типа MPEG

(в)протоколы для сенсорных сетей ZigBee

(г)радио сенсор

(д)телеметрическая система

(е)региональная сеть связи

**V.Управление и менеджмент:**

(а)модульная система управления умным домом

(б)планирование в геологии (в) планирование маркетинга

**VI.Образование:** (а)синтез учебного курса (б)синтез плана студента

## **I.СИСТЕМНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

**1.Систематизация процесса поддержки решений на этапах  
жизненного цикла модульных систем  
с морфологической моделью  
и исследование-разработка типовых комбинаторных  
схем поддержки решений (7+1)**

**2.Новый морфологический синтез  
(модульное проектирование)  
«Иерархическое Морфологическое  
Многокритериальное Проектирование» ИММП**

**3.Библиотека прикладных задач-прототипов (базовых аналогов)**

## **II. Постановка задач, формализация математических моделей, алгоритмы**

**1. Новая модель комбинаторной оптимизации  
«морфологическая клика»**

**2. Новая иерархическая задача о рюкзаке и новый  
полиномиальный приближенный алгоритм с гарантированной  
погрешностью по целевой функции и ограничению**

**3. Новая векторная мера близости для ранжировок**

**4. Построение параллельно-последовательных  
стратегий решения (на основе ИММП, на примере СППР КОМБИ)**

**5. Новая схема решения для задачи размещения (на основе ИММП)**

**6. Новый тип интервальной оценки в виде мультимножества,  
операции над нами**

**7. Новый тип задач комбинаторной оптимизации с целевой функцией  
в виде «максимизации» медианы**

**(блочный рюкзак, рюкзак, морфологическая клика)**

**8. Новый подход к интеграции данных на основе клики  
над потоками графов**

**9. Новый подход в виде «реструктуризации» решений для задач  
комбинаторной оптимизации (постановка, формализация)**

## **III. ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ СИСТЕМ**

**1. Компьютерные системы**

**2. Информационные системы**

**3. Биомедицина**

**4. Коммуникационные системы**

**5. Стандарты передачи информации, протоколы**

**6. Строительство и материалы**

**7. Управление и экономика**

## **IV. ПРИМЕНЕНИЕ В ОБРАЗОВАНИИ**

### **1. Учебные курсы на основе ИММП (и их реализация)**

#### **2. Базовые задачи:**

- (\*) проектирование курса,**
- (\*) планирование карьеры студента**
- (\*) проектирование учебной среды**

**ОКОНЧАНИЕ**

**СПАСИБО**  
**за внимание!**

1. Levin M.Sh., Modular System Design and Evaluation.  
Springer, 2015.

2. Левин М.Ш.,  
Технология Поддержки Решений для Модульных Систем.  
Электр. книга, 341 р. 2013.

<http://www.mslevin.iitp.ru/Levin-bk-Nov2013-071.pdf>