

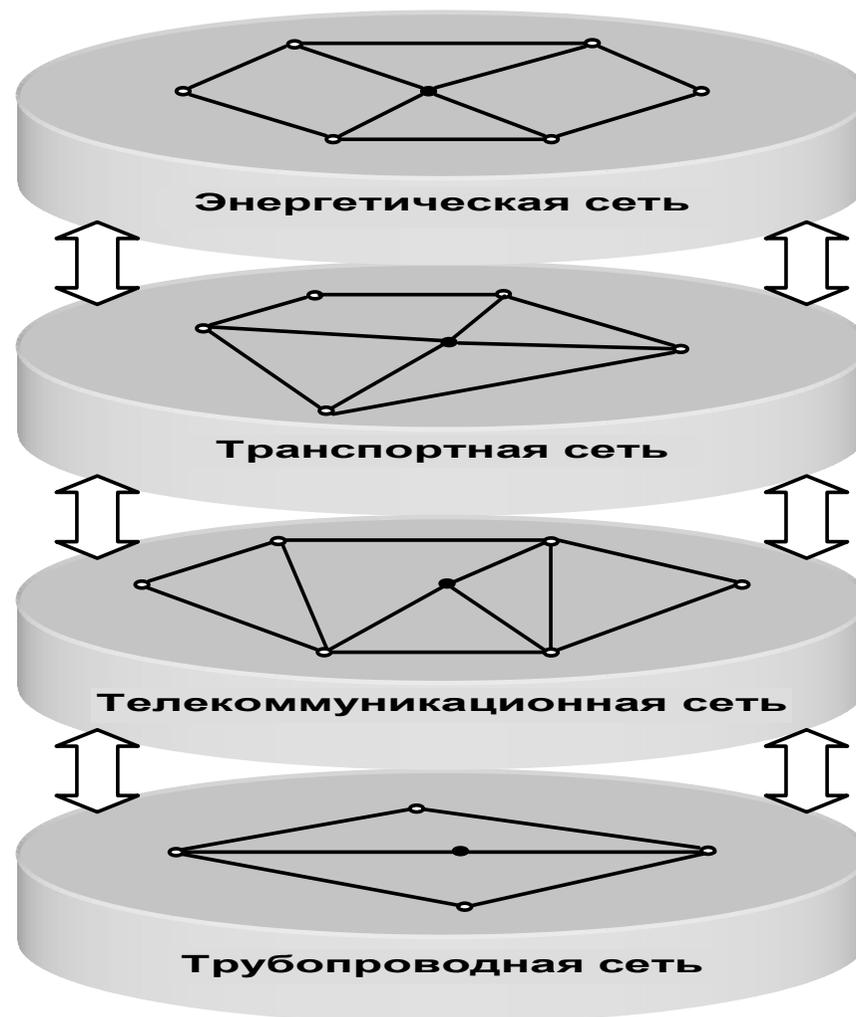


***Многокритериальный анализ
структурной надежности,
безопасности и живучести сложных
объектов***

кандидат технических наук, доцент Павлов А.Н.

***С.-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,
С.-Петербург,
14 линия ВО, 39, СПИИ РАН,***

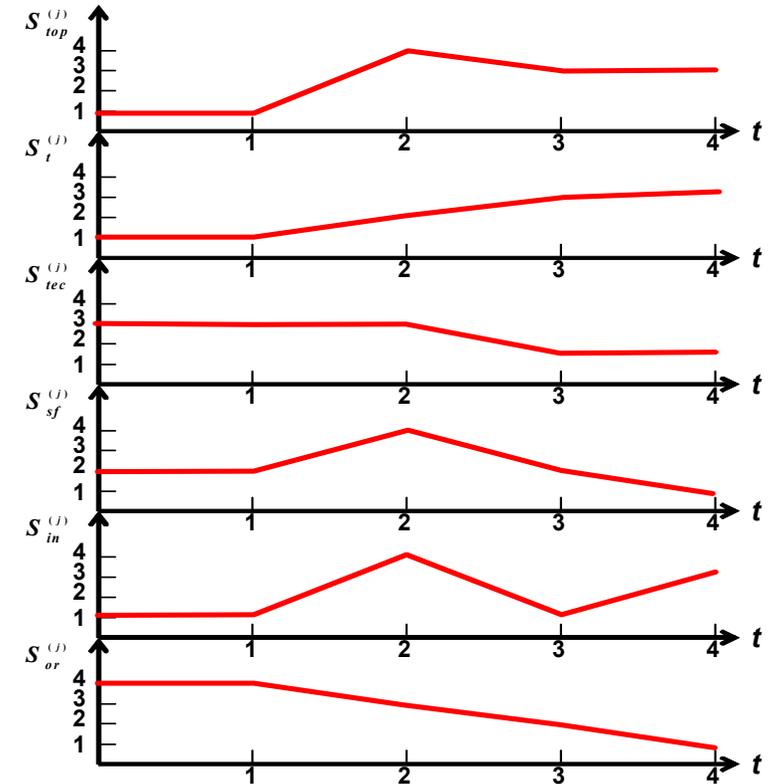
1. Примеры сложных объектов (СО)



2. Структуры сложных объектов

Макросостояния	<i>j</i> уровень ИС			
	$S_0^{(j)}$	$S_1^{(j)}$...	$S_K^{(j)}$
Варианты структур				
Топологическая структура $S_{top}^{(j)}$...	
Техническая структура $S_t^{(j)}$...	
Технологическая структура $S_{tec}^{(j)}$...	
Структура ПМО $S_{sf}^{(j)}$...	
Структура ИО $S_{in}^{(j)}$...	
Организационная структура $S_{or}^{(j)}$...	

Диаграммы структурной динамики ИС.



Графики изменения структурных состояний ИС

2. Структуры сложных объектов

- изменение способов, целей функционирования СТС, их содержания, последовательности выполнения в различных условиях,
- перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем СТС,
- перераспределение и децентрализация функций, задач, алгоритмов управления, информационных потоков между уровнями СТС,
- управление резервами,
- использование гибких и сокращенных технологий управления СТС,
- реконфигурация структур СТС при ее деградации

2. Структуры сложных объектов

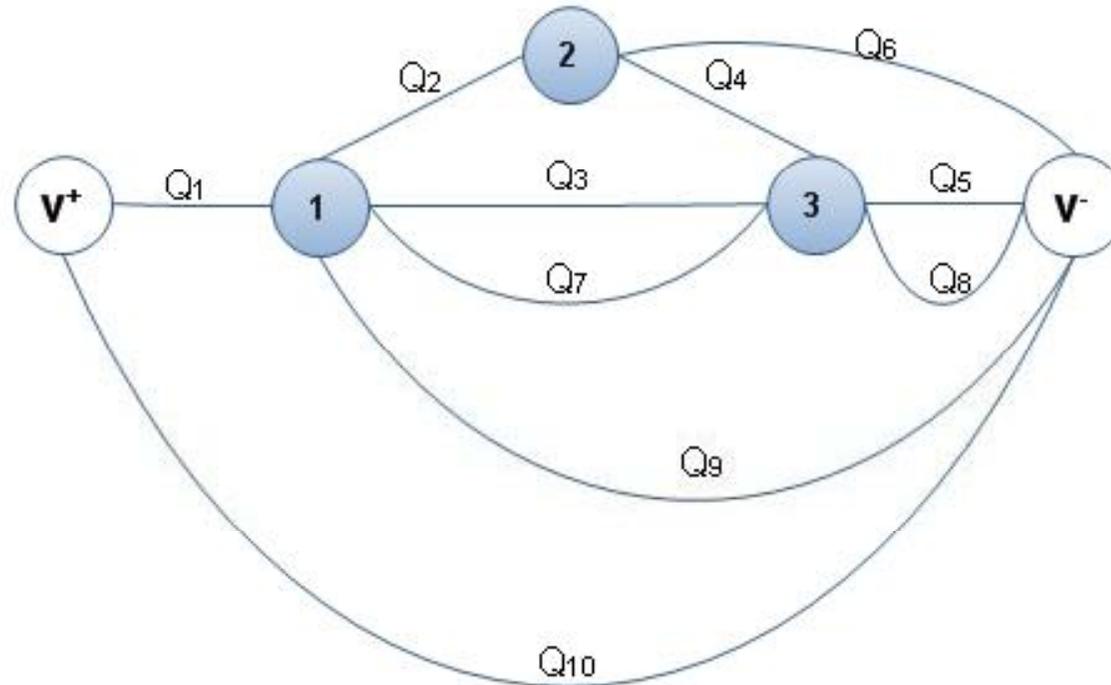
Проблема управления структурной динамикой СО предполагает решение трех классов задач:

- **задачи анализа структурной динамики СО;**
- **задачи наблюдения (контроля) структурных состояний СО, ситуаций, обстановки;**
- **задачи формирования, выбора и реализации программ управления структурной динамикой СО.**

3. Структурное состояние СО

Понятие генома сетевой структуры СО

$\Gamma(v^+, v^-)$



$$R_1 = \{Q_1, Q_{10}\}, R_2 = \{Q_2, Q_3, Q_7, Q_9, Q_{10}\}, R_3 = \{Q_3, Q_4, Q_6, Q_7, Q_9, Q_{10}\}, R_4 = \{Q_5, Q_6, Q_8, Q_9, Q_{10}\},$$

$$R_5 = \{Q_2, Q_4, Q_5, Q_8, Q_9, Q_{10}\}$$

$$T(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = P\left\{\bigvee_{i=1}^m R_i\right\} = \sum_i P(R_i) - \sum_{i,j} P(R_i \wedge R_j) + \sum_{i,j,k} P(R_i \wedge R_j \wedge R_k) - \dots + (-1)^{m-1} P(R_1 \wedge R_2 \wedge \dots \wedge R_m)$$

3. Структурное состояние СО

Понятие генома сетевой структуры СО

$$\begin{aligned}
 T(Q_1, Q_2, \dots, Q_{10}) = & Q_1 Q_{10} + Q_2 Q_3 Q_7 Q_9 Q_{10} + Q_3 Q_4 Q_6 Q_7 Q_9 Q_{10} + Q_5 Q_6 Q_8 Q_9 Q_{10} + Q_2 Q_4 Q_5 Q_8 Q_9 Q_{10} - \\
 & Q_1 Q_2 Q_3 Q_7 Q_9 Q_{10} - Q_1 Q_3 Q_4 Q_6 Q_7 Q_9 Q_{10} - Q_1 Q_5 Q_6 Q_8 Q_9 Q_{10} - Q_1 Q_2 Q_4 Q_5 Q_8 Q_9 Q_{10} - Q_2 Q_3 Q_4 Q_6 Q_7 Q_9 Q_{10} - \\
 & Q_2 Q_3 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} - Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} - Q_3 Q_4 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} - Q_2 Q_4 Q_5 Q_6 Q_8 Q_9 Q_{10} + \\
 & Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_6 Q_7 Q_9 Q_{10} + Q_1 Q_2 Q_3 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} + Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} + \\
 & Q_1 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} + Q_1 Q_2 Q_4 Q_5 Q_6 Q_8 Q_9 Q_{10} + Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} + Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} - \\
 & Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10} - Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6 Q_7 Q_8 Q_9 Q_{10}
 \end{aligned}$$

$$T(Q) = Q^2 + 2Q^5 - 4Q^7 - Q^8 + 5Q^9 - 2Q^{10}.$$

$$T(Q) = \chi_0 + \chi_1 Q^1 + \chi_2 Q^2 + \dots + \chi_n Q^n.$$

$$\chi_{\tilde{A}(v^+, v^-)} = (\chi_0, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n) - \tilde{a} \tilde{a} \tilde{i} \tilde{i} \tilde{A}(v^+, v^-)$$

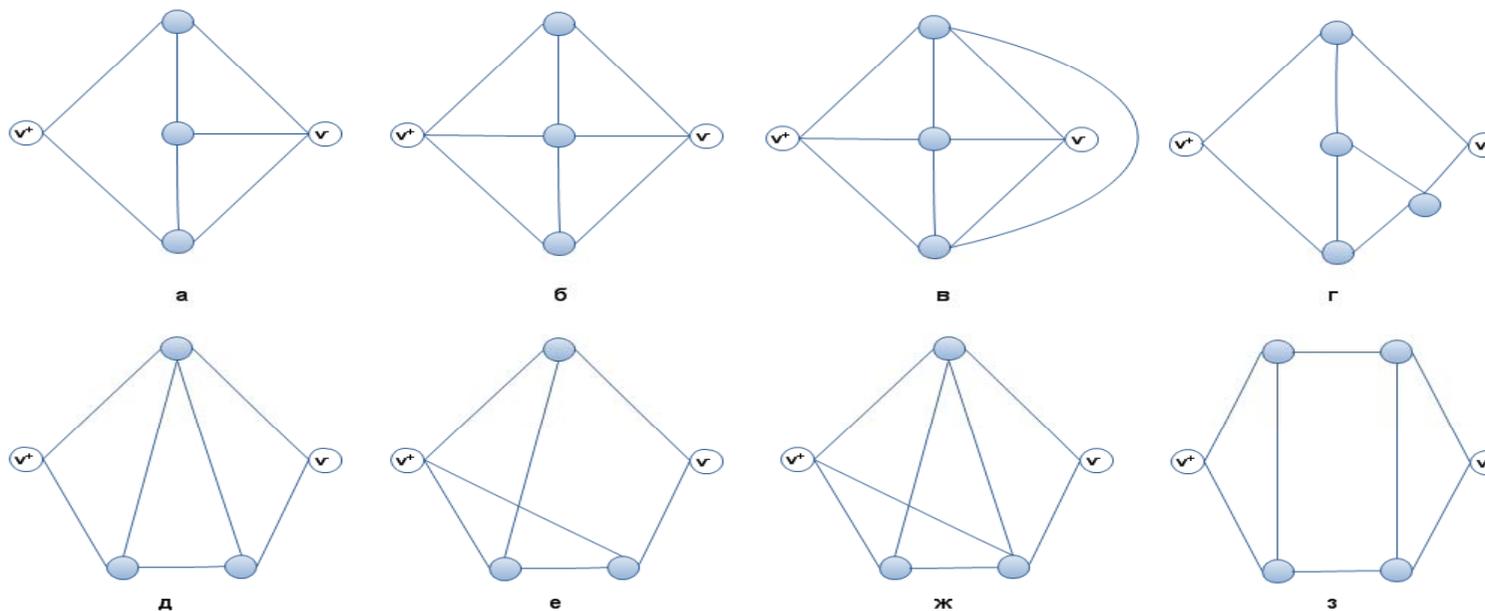
$$\vec{\chi} = (0, 0, 1, 0, 0, 2, 0, -4, -1, 5, -2)$$

3. Понятие генома сетевой структуры СО (свойства структуры СО)

- если $\chi_0 = 0$ и $\chi_0 + \chi_1 + \chi_2 + \dots + \chi_n = 1$, то структура монотонная;
- если $\chi_0 = 0$ и $\chi_0 + \chi_1 + \chi_2 + \dots + \chi_n = 0$, то структура немонотонная и $T(1) = 0$;
- если $\chi_0 = 1$, то структура немонотонная и $T(0) = 1$;
- номер первой не нулевой компоненты генома равен наименьшей мощности среди минимальных сечений отказов структуры ($l = \min\{i : i > 0 \text{ и } \chi_i \neq 0\}$);
- χ_l всегда положительна и численно равна числу минимальных сечений отказов;
- номер старшей компоненты генома равен числу связей в структуре;
- число чередований знаков «+» и «-» в геноме больше или равно количеству внутренних вершин сетевой структуры;
- если $|\chi_n| = 1$, то структура представляет собой П-сеть;
- если $|\chi_n| > 1$, то структура представляет собой Н-сеть.

3. Понятие генома сетевой структуры CO (свойства структуры CO) H-сеть CO

Сложные H-сети можно получить из сети $\Gamma_5^H(v^+, v^-)$ путем подразделения ребер и *либо* соединением ребрами внутренних не зависимых друг от друга вершин, *либо* соединением внутренних вершин с полюсами так, чтобы *каноническое расщепление новой сети* состояло только из H-сети.



$$\vec{\chi}_a = (0,0,1,3,1,-12,11,-3) \quad \vec{\chi}_б = (0,0,0,2,4,-2,-13,14,-4) \quad \vec{\chi}_в = (0,0,0,2,0,4,-3,-13,16,-5)$$

$$\vec{\chi}_д = (0,0,2,2,-1,-9,10,-3) \quad \vec{\chi}_е = (0,0,1,3,2,-12,11,-3) \quad \vec{\chi}_ж = (0,0,1,1,3,-2,-11,13,-4)$$

$$\vec{\chi}_з = (0,0,2,4,-3,-19,32,-19,4) \quad \vec{\chi}_з = (0,0,3,4,-9,-10,27,-18,4)$$

3. Понятие генома сетевой структуры CO (свойства структуры CO) H-сеть CO

Гипотеза 1

При каждом соединении вновь образованной вершины с полюсом или с минимальной вершиной сети (рис. а, рис. д, рис.е) $|\chi_{n+1}| = |\chi_n| + 1$

Гипотеза 2

При каждом соединении минимальных вершин между собой или минимальной вершины с полюсом (рис.б, рис.в, рис.ж) $|\chi_{n+1}| = |\chi_n| + 1$

Гипотеза 3

При соединении ребром вновь образованных *не минимальных* вершин между собой (рис.г, рис.з)

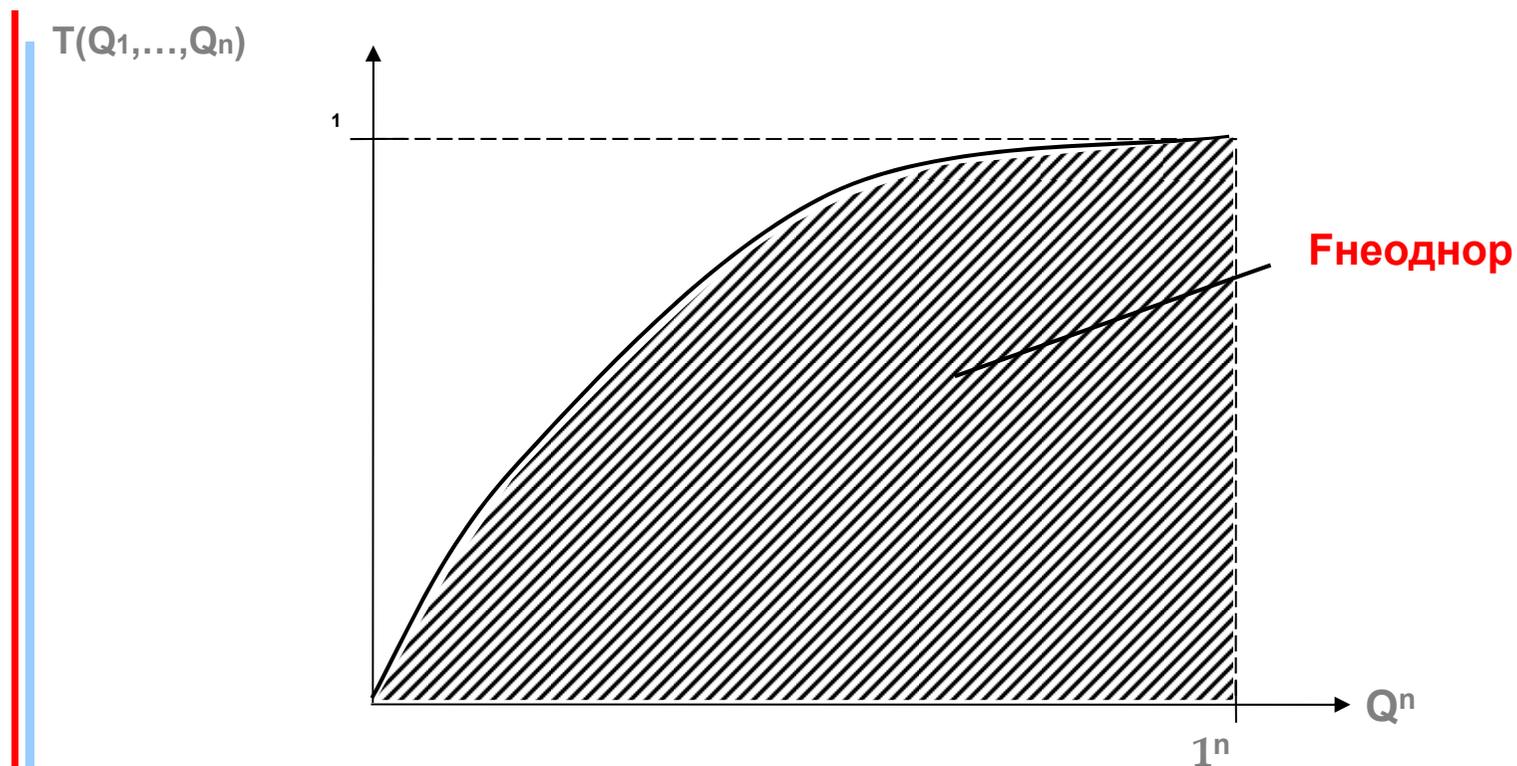
$$|\chi_{n+1}| = |\chi_n| + 2$$

3. Понятие генома сетевой структуры СО (свойства структуры СО) Н-сеть СО

Следствие. Если абсолютная величина старшей компоненты генома сильно связной двухполюсной сети $\Gamma(v^+, v^-)$, состоящей из n ребер, χ_n равна простому числу, то в каноническом расщеплении $\Gamma(v^+, v^-)$ имеется ровно одна **сложная** Н–сеть.

Следствие. Если абсолютная величина старшей компоненты генома сильно связной двухполюсной сети $\Gamma(v^+, v^-)$, состоящей из n ребер, χ_n разложима на множители, то в каноническом расщеплении $\Gamma(v^+, v^-)$ может быть либо одна **сложная** Н–сеть, либо несколько **сложных** Н–сетей, у которых абсолютные величины старших компонент геномов являются множителями χ_n исходной сети $\Gamma(v^+, v^-)$.

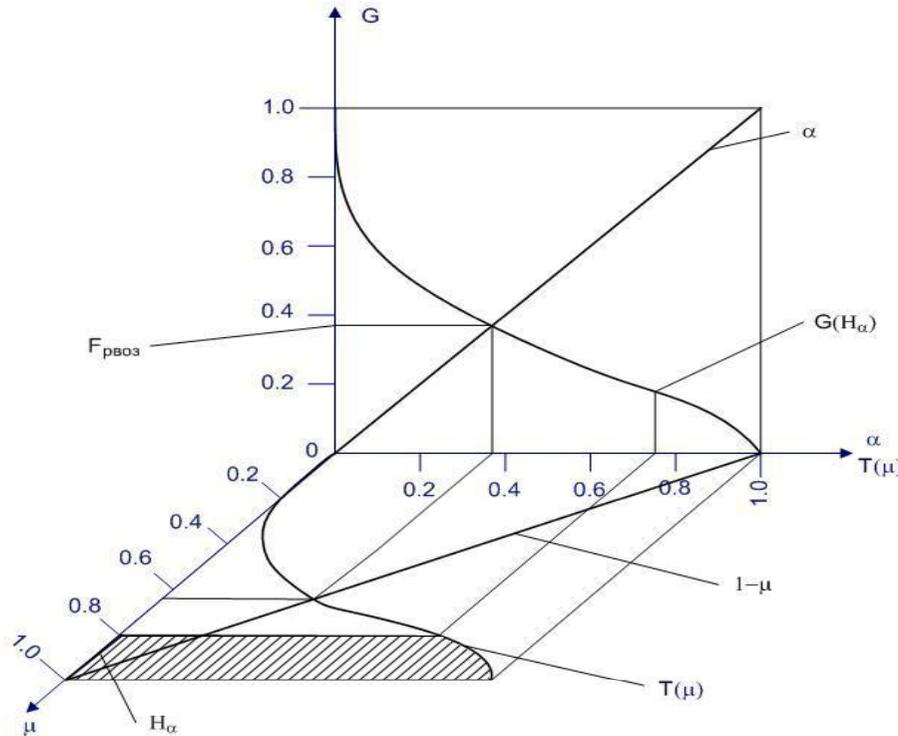
4. Интегральные показатели структурной надежности СО (логико-вероятностный подход)



$$F_{\text{неоднор}} = \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 T(Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_n) dQ_0 dQ_1 \dots dQ_n = \vec{\chi} \cdot \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots, \frac{1}{2^n}\right)$$

$$F_{\text{однор}} = \int_0^1 T(Q) dQ = \vec{\chi} \cdot \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{n+1}\right)$$

4. Интегральные показатели структурной надежности СО (нечетко-возможностный подход) (однородные монотонные и немонотонные структуры)



Монотонная структура

$$P(\{\mu | T(\mu) \geq \alpha\}) = P(H_\alpha) = \sup_{T(\mu) \geq \alpha} \{1 - \mu\}, \quad g(\mu) = 1 - \mu$$

Немонотонная структура ($T(0) = 1, T(1) = 0$)

$$P(\{\mu | T(\mu) \geq \alpha\}) = P(H_\alpha) = \sup_{T(\mu) \geq \alpha} \{\mu\}, \quad g(\mu) = \mu$$

Индикатор надежности

$$\vec{\chi} \cdot (1, \mu_*, \mu_*^2, \dots, \mu_*^n) = 1 - \mu_*$$

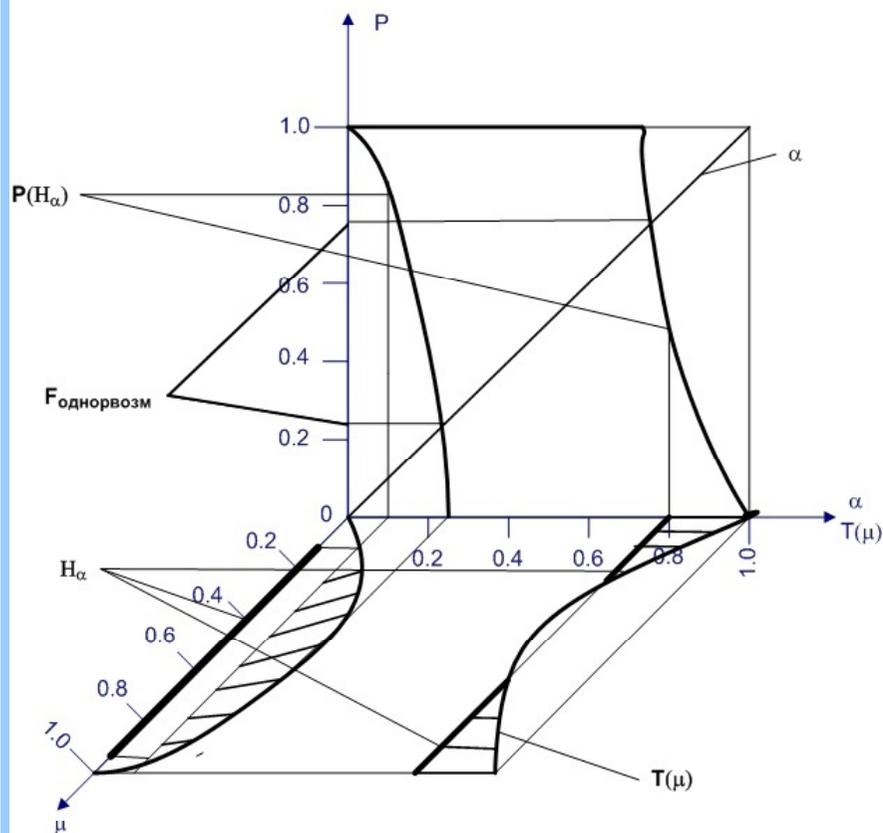
$$F_{\text{индикатор}} = 1 - \mu_*$$

Индикатор риска

$$\vec{\chi} \cdot (1, \mu_*, \mu_*^2, \dots, \mu_*^n) = \mu_*$$

$$F_{\text{индикатор}} = \mu_*$$

4. Интегральные показатели структурной надежности СО (нечетко-возможностный подход) (однородные немонотонные структуры)



Немонотонная структура ($T(0) = 1$).

$$P(\{\mu | T(\mu) \geq \alpha\}) = P(H_\alpha) = \sup\{1 - (\mu^{\max} - \mu^{\min})\},$$

где $\mu^{\max} = \sup\{\mu | T(\mu) \leq \alpha\}$ и $\mu^{\min} = \inf\{\mu | T(\mu) \leq \alpha\}$.

Немонотонная структура ($T(1) = 0$).

$$P(\{\mu | T(\mu) \geq \alpha\}) = P(H_\alpha) = \sup\{\mu^{\max} - \mu^{\min}\},$$

где $\mu^{\max} = \sup\{\mu | T(\mu) \geq \alpha\}$ и $\mu^{\min} = \inf\{\mu | T(\mu) \geq \alpha\}$.

4. Интегральные показатели структурной надежности СО (нечетко-возможностный подход) (однородные монотонные и немонотонные структуры)

Изучение полинома $2p^3+4p^4-2p^5-13p^6+14p^7-4p^8$

Файл Базы данных О программе

Старшая степень: 8

Коэффициенты

A1	0
A2	0
A3	2
A4	4
A5	-2
A6	-13
A7	14
A8	-4

График полинома

Р

Надежность Отказы

Изучить...

Приступить к изучению

Анализ ввода данных

Данные введены верно

Изучение полинома $2p^3+4p^4-2p^5-13p^6+14p^7-4p^8$

Полином: $2p^3+4p^4-2p^5-13p^6+14p^7-4p^8$
Тип: монотонный
Надежность однородной структуры: 0,415
Надежность неоднородной структуры: 0,328
Возможность структуры: 0,439

Текущая база: E:\Web-polinom\Base\Исеть-введение дуги.db

Добавить в базу Закреть

5. Ценность предлагаемого подхода

А. Вычисление значимости и вкладов элементов СО в структурный отказ

Полином для вычисления значимости i -го элемента в структурный отказ СО

$$\xi_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = T(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)/(Q_i = 1) - T(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)/(Q_i = 0)$$

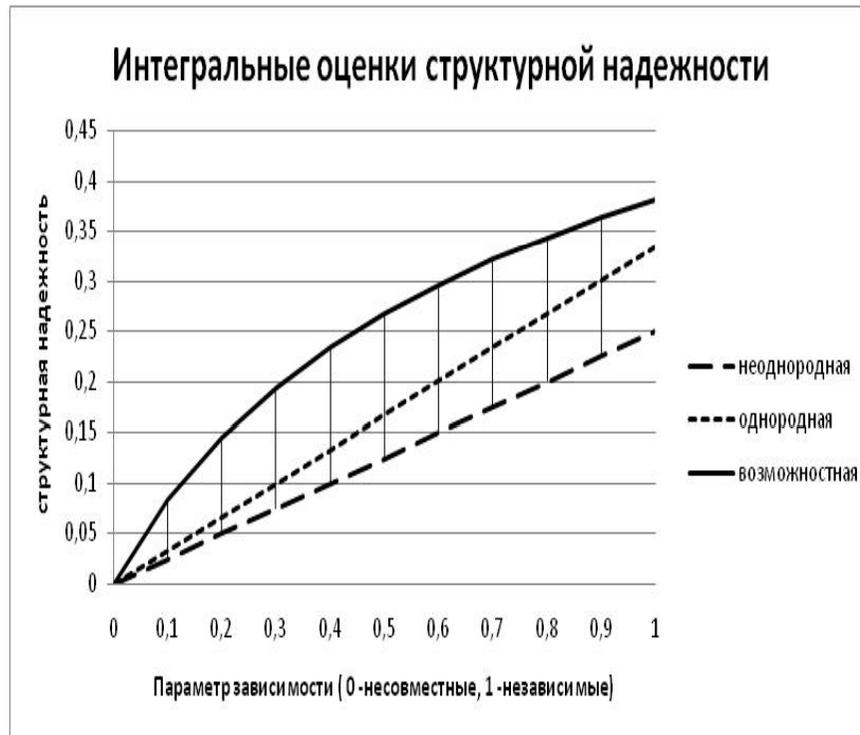
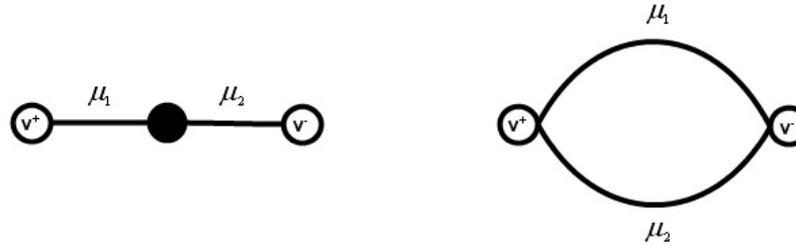
Полином для вычисления положительного вклада i -го элемента в структурный отказ СО

$$B_i^+(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = T(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)/(Q_i = 1) - T(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

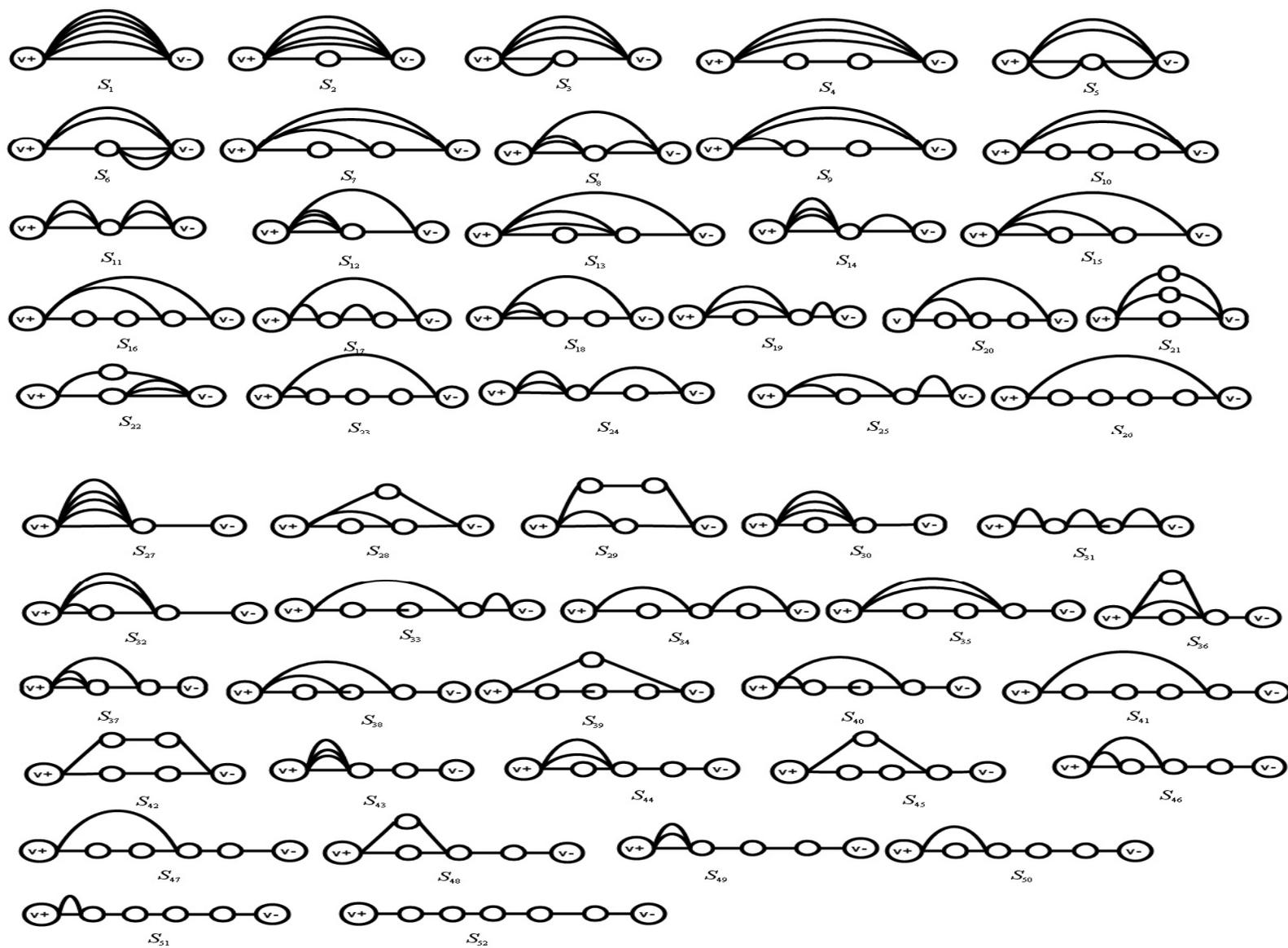
Полином для вычисления отрицательного вклада i -го элемента в структурный отказ СО

$$B_i^-(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = -(T(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) - T(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)/(Q_i = 0))$$

5. Ценность предлагаемого подхода В. Независимость событий



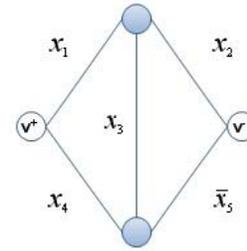
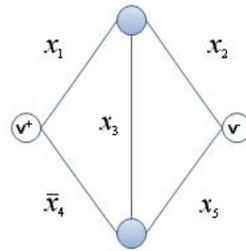
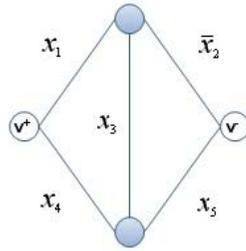
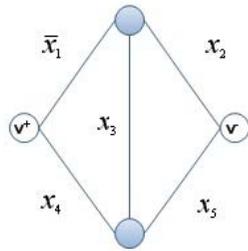
5. Ценность предлагаемого подхода В. Независимость событий



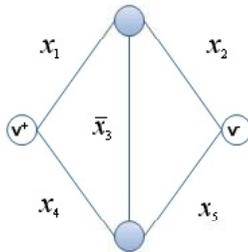
5. Ценность предлагаемого подхода В. Независимость событий



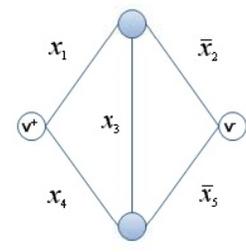
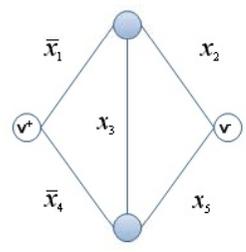
5. Ценность предлагаемого подхода С. Немонотонные структуры 1 рода (инверсные элементы)



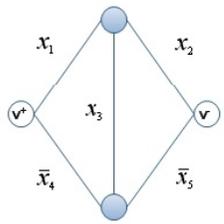
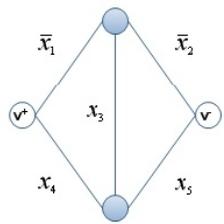
- вариант 1



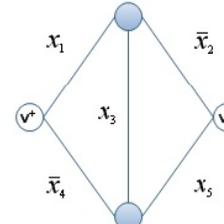
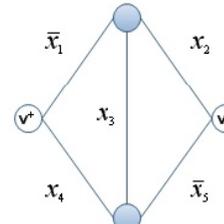
- вариант 2



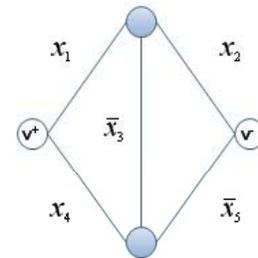
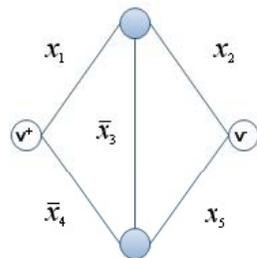
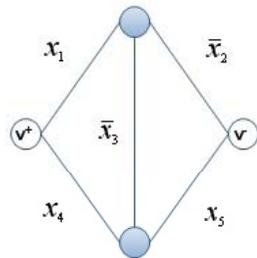
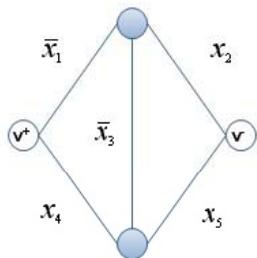
- вариант 3



- вариант 4



- вариант 5

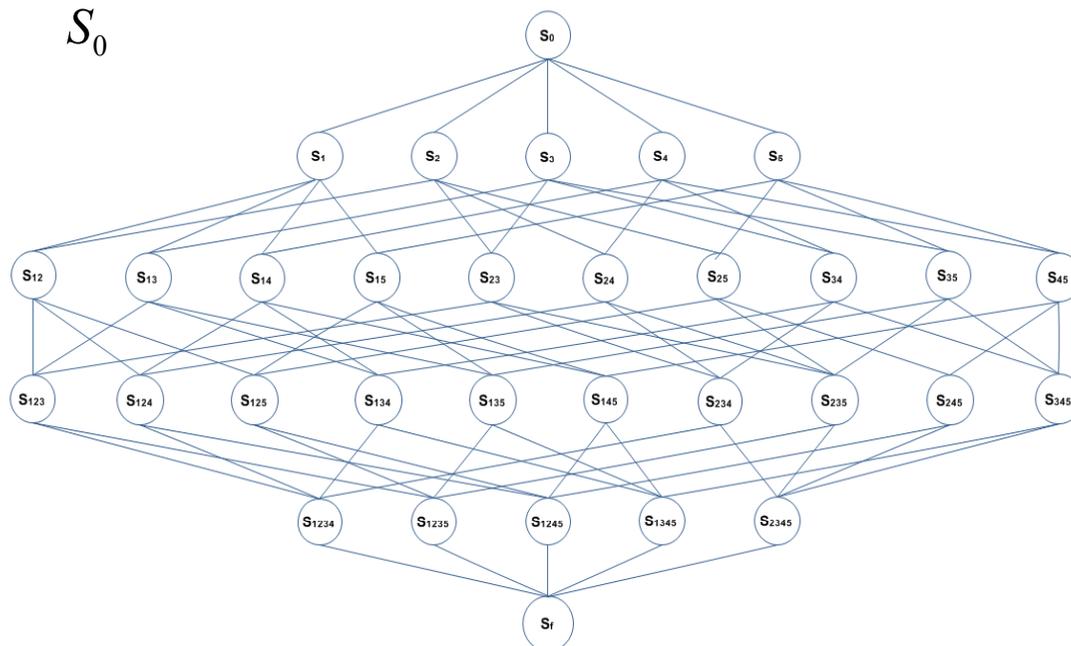
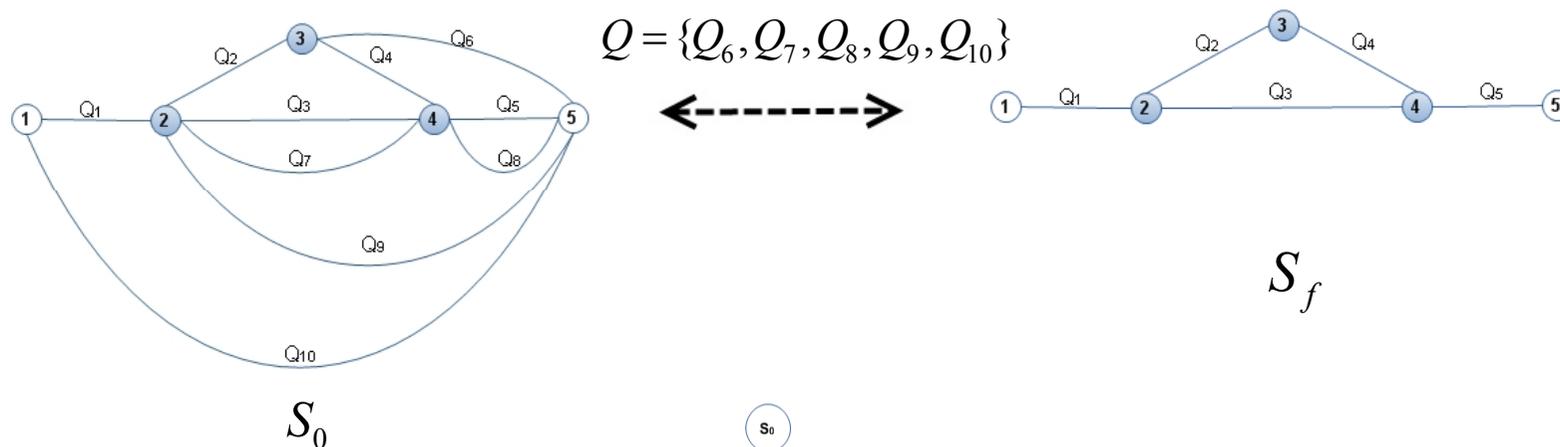


- вариант 6

5. Ценность предлагаемого подхода С. Немонотонные структуры 1 рода (инверсные элементы)

Инверсные элементы	Полином	Вероятностная оценка		Возможностная оценка	
		<i>Однородная</i>	<i>Неоднородная</i>	<i>Однородная</i>	<i>Неоднородная</i>
вариант 1, 2 вариант 5 вариант 6	монотонная функция	0.5	0.5	0.5	0.5
вариант 3	немонотонная функция	0.667	0.5	0.586	0.5
вариант 4	немонотонная функция	0.333	0.5	0.414	0.5

6. Моделирование, оценивание и анализ деградации (восстановления) структуры СО



Дерево возможных сценариев деградации (восстановления) СО

6. Моделирование, оценивание и анализ деградации (восстановления) структуры СО

$X(\vec{\chi}) = \{ \vec{\chi}_\alpha \mid \exists Q_i \in Q: \vec{\chi} \xrightarrow{Q_i} \vec{\chi}_\alpha \}$ - множество состояний, непосредственно достижимых из $\vec{\chi}$.

Сценарий деградации структуры

$$\vec{\chi}_{\alpha_0} \xrightarrow{Q_{i_1}} \vec{\chi}_{\alpha_1} \xrightarrow{Q_{i_2}} \vec{\chi}_{\alpha_2} \xrightarrow{Q_{i_3}} \dots \xrightarrow{Q_{i_{k-1}}} \vec{\chi}_{\alpha_{k-1}} \xrightarrow{Q_{i_k}} \vec{\chi}_{\alpha_k},$$

где $\vec{\chi}_{\alpha_0} = \vec{\chi}_0$, $\vec{\chi}_{\alpha_k} = \vec{\chi}_f$, $\{ Q_{i_1}, Q_{i_2}, \dots, Q_{i_k} \} = Q$

$$\sum_{j=0}^k F_{отказ}(\vec{\chi}_{\alpha_j}) \rightarrow \min$$

$$\begin{aligned} & \vec{\chi}_{\alpha_j} \in X(\vec{\chi}_{\alpha_{j-1}}) \\ & \vec{\chi}_{\alpha_0} = \vec{\chi}_0, \vec{\chi}_{\alpha_k} = \vec{\chi}_f, P(\vec{\chi}_{\alpha_j}) \leq b \\ & \{ Q_{i_1}, Q_{i_2}, \dots, Q_{i_k} \} = Q \end{aligned}$$

$$T_{\alpha_j}(Q_1, Q_2, \dots, Q_{j-1}, Q_{j+1}, \dots, Q_{10}) = T_\alpha(Q_1, Q_2, \dots, Q_{j-1}, 0, Q_{j+1}, \dots, Q_{10}) + \frac{\partial T_\alpha(Q_1, Q_2, \dots, Q_{10})}{\partial Q_j}$$

ИЛИ $\vec{\chi}_{\alpha_j} = \vec{\chi}_{\alpha_j}^{(-)} + \nabla \vec{\chi}_{\alpha_j}$

$$F_{разн}(\vec{\chi}_{\alpha_j}) = \vec{\chi}_{\alpha_j}^T \cdot \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2^2}, \dots, \frac{1}{2^n} \right) = \vec{\chi}_{\alpha_j}^{T(-)} \cdot \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2^2}, \dots, \frac{1}{2^n} \right) + \nabla \vec{\chi}_{\alpha_j}^T \cdot \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2^2}, \dots, \frac{1}{2^n} \right)$$

6. Моделирование, оценивание и анализ деградации (восстановления) структуры СО

Кластеризации множества структурных состояний СО

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ - множество структурных состояний СО

$\vec{F} = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ - совокупность показателей (признаков), характеризующие свойства структурных состояний СО

$C(S_l, S_k) = \frac{2\mu(S_l \cap S_k)}{(1 + \lambda)[\mu(S_l) + \mu(S_k)] - 2\lambda\mu(S_l \cap S_k)}$ - меры сходства структур СО

$V(S_l, S_k) = \frac{\mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_k)}$, $V(S_k, S_l) = \frac{\mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_l)}$ - меры включения структур СО

$-1 \leq \lambda < \infty$ - параметр меры

$\mu(S_l)$ - мощность множества признаков l -ой структуры

$$\mu(S_l) = \sum_{j=1}^m F_{lj}, \quad \mu(S_l \cap S_k) = \sum_{j=1}^m \min\{F_{lj}, F_{kj}\}, \quad \mu(S_l \cup S_k) = \sum_{j=1}^m \max\{F_{lj}, F_{kj}\}.$$

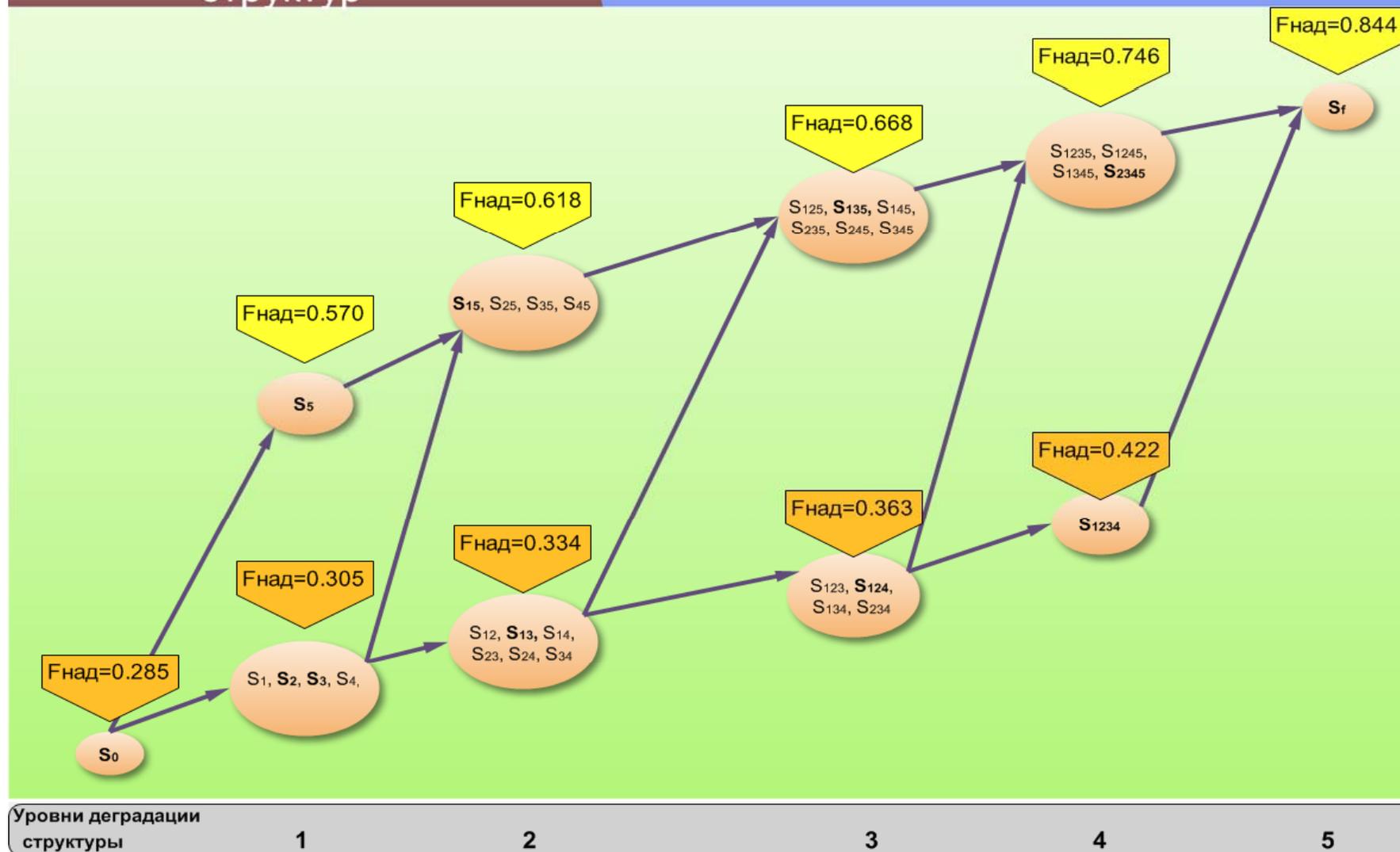
6. Моделирование, оценивание и анализ деградации (восстановления) структуры СО

Классификации множества структурных состояний СО

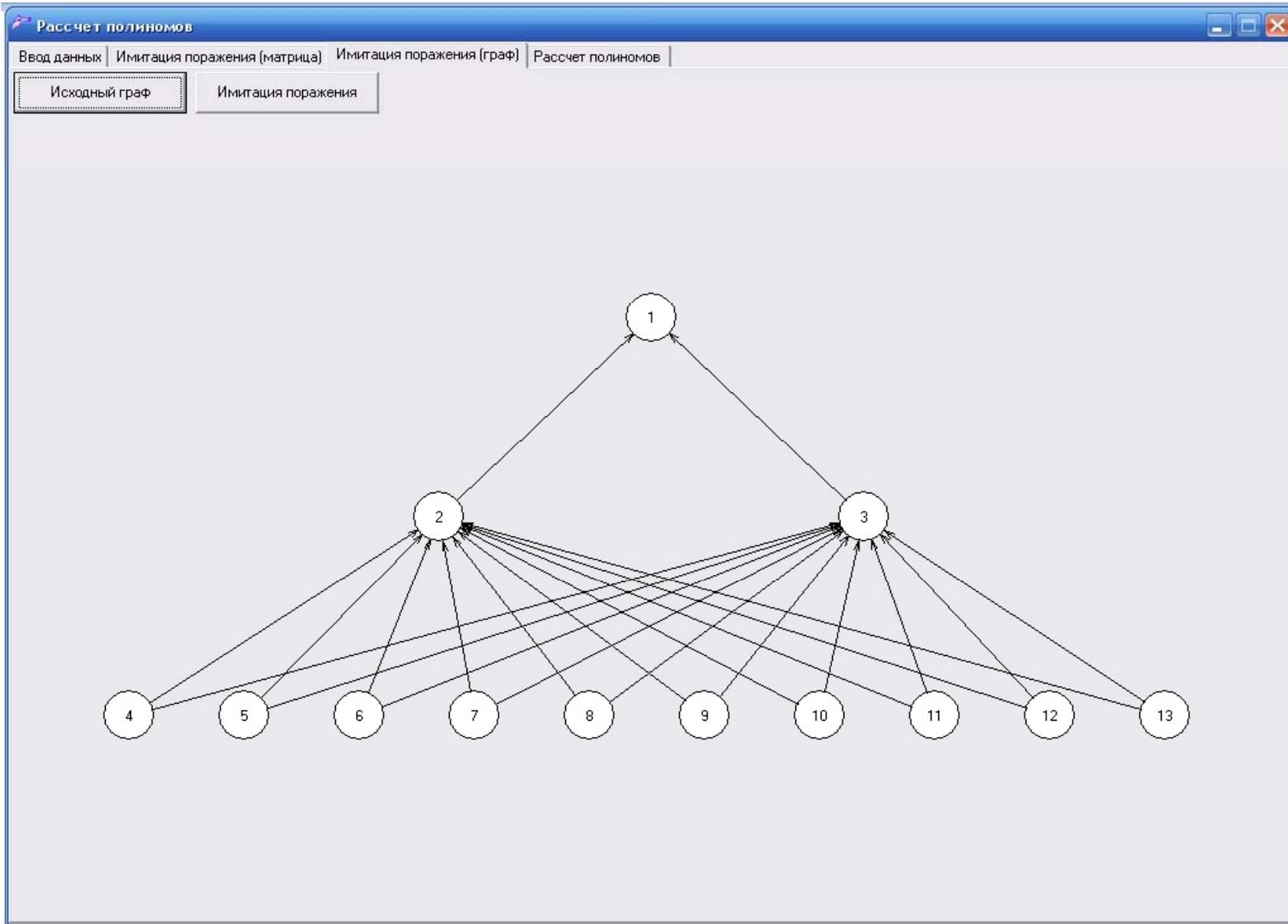
№ п/п	Название меры сходства	Формула
1	Чекановского-Серенса ($\lambda=0$)	$C(S_l, S_k) = \frac{2\mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_l) + \mu(S_k)}$
2	Жаккара ($\lambda=1$)	$C(S_l, S_k) = \frac{2\mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_l) + \mu(S_k)}$
3	Сокала-Снита ($\lambda=3$)	$C(S_l, S_k) = \frac{\mu(S_l \cap S_k)}{2\mu(S_l) + 2\mu(S_k) - 3\mu(S_l \cap S_k)}$
4	Андреева ($\lambda= -0.5$)	$C(S_l, S_k) = \frac{4\mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_l) + \mu(S_k) + 2\mu(S_l \cap S_k)}$
5	Кульчинского	$C(S_l, S_k) = \frac{1}{2} \mu(S_l \cap S_k) \left[\frac{1}{\mu(S_l)} + \frac{1}{\mu(S_k)} \right]$
6	Половинкина	$C(S_l, S_k) = 1 - \frac{\mu(S_l \cup S_k) - \mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_l \cup S_k)}$

6. Моделирование, оценивание и анализ деградации (восстановления) структуры СО

Сценарии динамики структур



7. Анализ структурной живучести СО



7. Анализ структурной живучести СО

Рассчет полиномов

Ввод данных | Имитация поражения (матрица) | Имитация поражения (граф) | Рассчет полиномов

Размер матрицы = 13

Нулевая вершина

Загрузить матрицу Сохранить матрицу Очистить матрицу

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	4	13	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	5	14	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	6	15	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	7	16	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	8	17	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	9	18	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	10	19	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	11	20	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	12	21	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Вершины

P= 0,3 >>

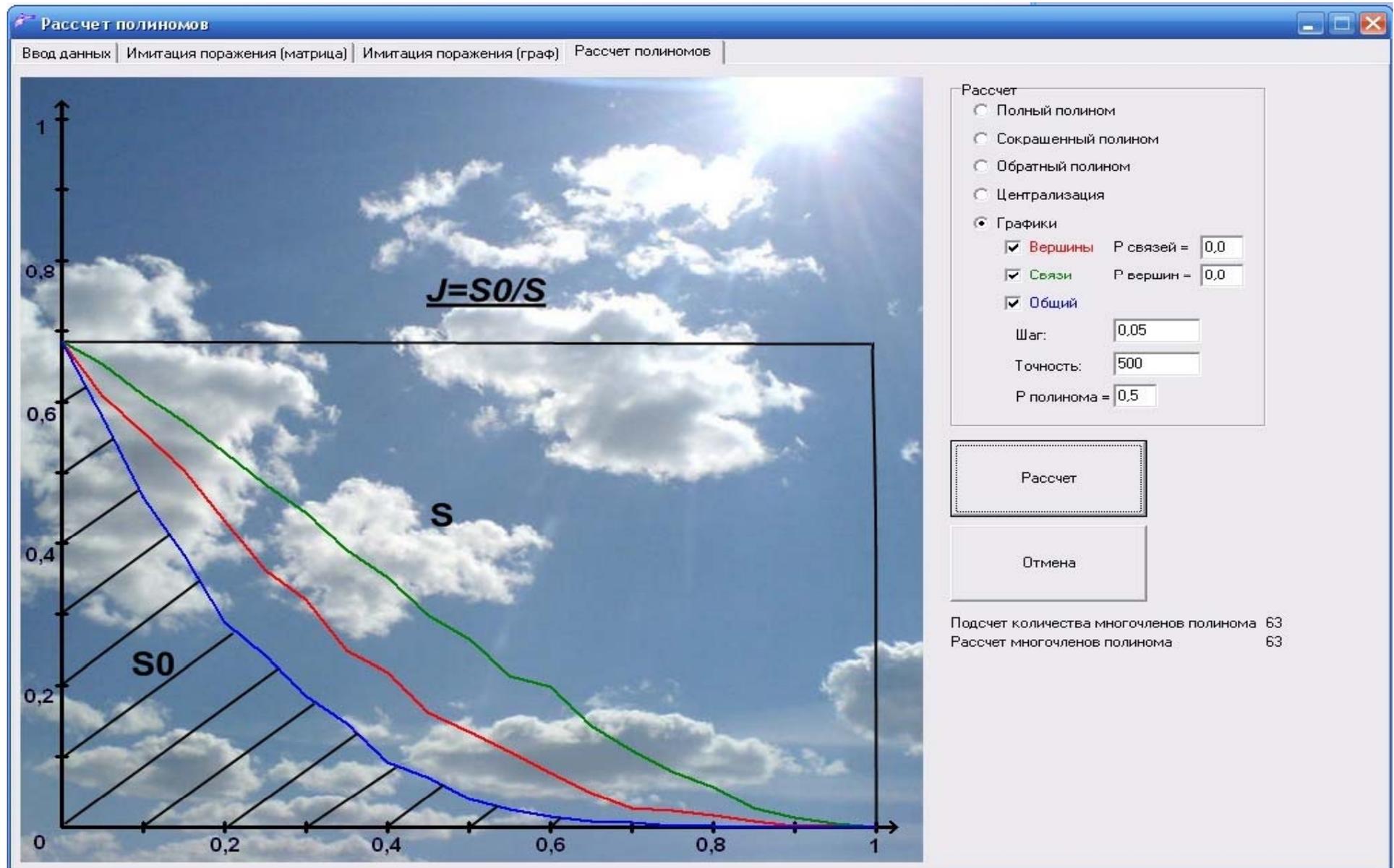
1	0,3
2	0,3
3	0,3
4	0,3
5	0,3
6	0,3
7	0,3
8	0,3
9	0,3
10	0,3
11	0,3
12	0,3
13	0,3

Связи

P= 0,24 >>

1	0,24
2	0,24
3	0,24
4	0,24
5	0,24
6	0,24
7	0,24
8	0,24
9	0,24
10	0,24
11	0,24
12	0,24
13	0,24
14	0,24
15	0,24
16	0,24
17	0,24
18	0,24
19	0,24
20	0,24
21	0,24
22	0,24

7. Анализ структурной живучести CO



7. Заключение

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемый подход , в основе которого лежит концепция генома структуры, позволяет описать и выявлять свойства структурных состояний монотонных и немонотонных (однородных, неоднородных) систем, проводить оценивание и анализ структурной надежности, безопасности и живучести СО.
2. Предлагаемый подход позволяет решать задачу идентификации синтезируемых структур СО, отнесения ее к тому или иному кластеру, и с помощью типовых элементов (ядер) кластеров предварительно определять свойства синтезируемых структур.
3. Предлагаемый подход позволяет решать задачи моделирования, оценивания и анализа сценариев деградации (восстановления) структурных состояний СО, при которых переход из начального структурного состояния в финальное сопровождался бы пребыванием системы в наиболее безотказных состояниях .

Области применения предлагаемого подхода

1. Территориально-распределенные системы охраны
2. Адаптивные цепи поставок (логистика)
3. Катастрофоустойчивые информационные системы
4. Теория управления структурной динамикой
5. Синтез структур с требуемым уровнем надежности
6. Компьютерные сети и сетевые технологии
7. Полиструктурный анализ надёжности и живучести
НКУ КА
8. Сетецентрические войны

8. Благодарности

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (гранты 08–08–00346, 08–08–00403, 09-08-00259, 10-08-90027), Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект №О-2.3/03)

Контактная информация

Павлов Александр Николаевич

❖ **Phone:** +7 812 328-01-03;

❖ **Fax:** +7 812 328-44-50;

E-mail: pavlov62@list.ru;

Web: <http://www.spiiras-grom.ru>

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ