

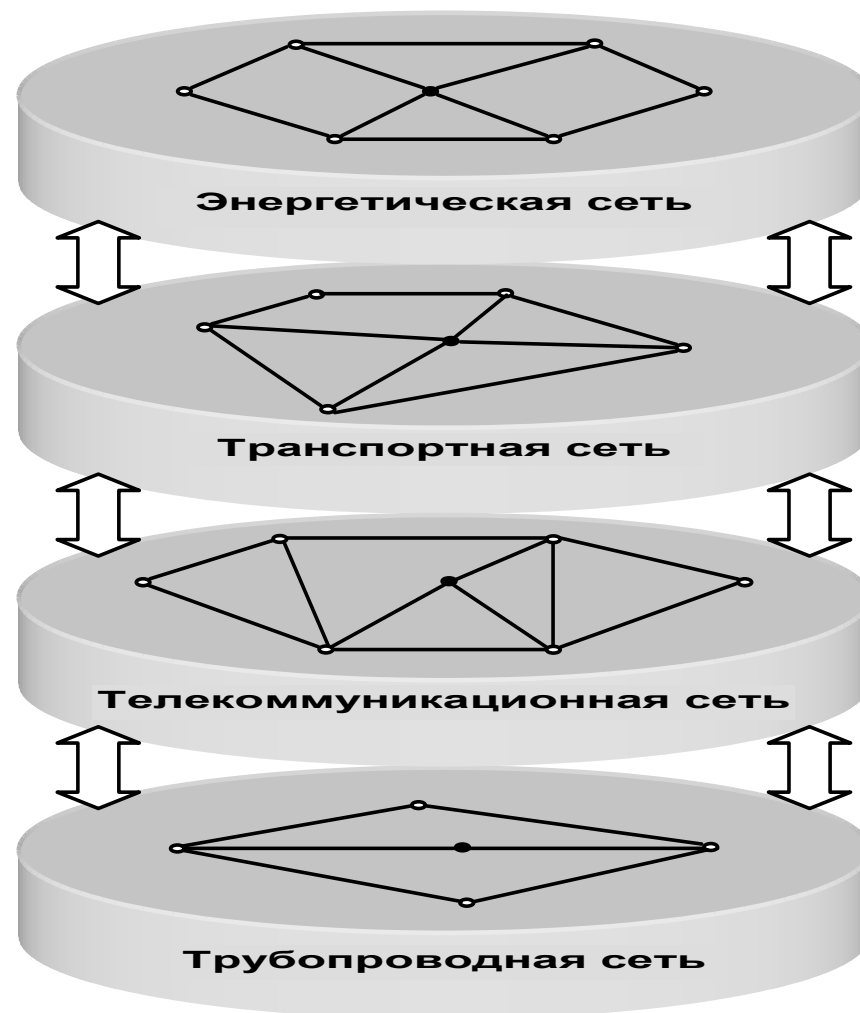


***Многокритериальный анализ
структурной надежности,
безопасности и живучести сложных
объектов***

кандидат технических наук, доцент Павлов А.Н.

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

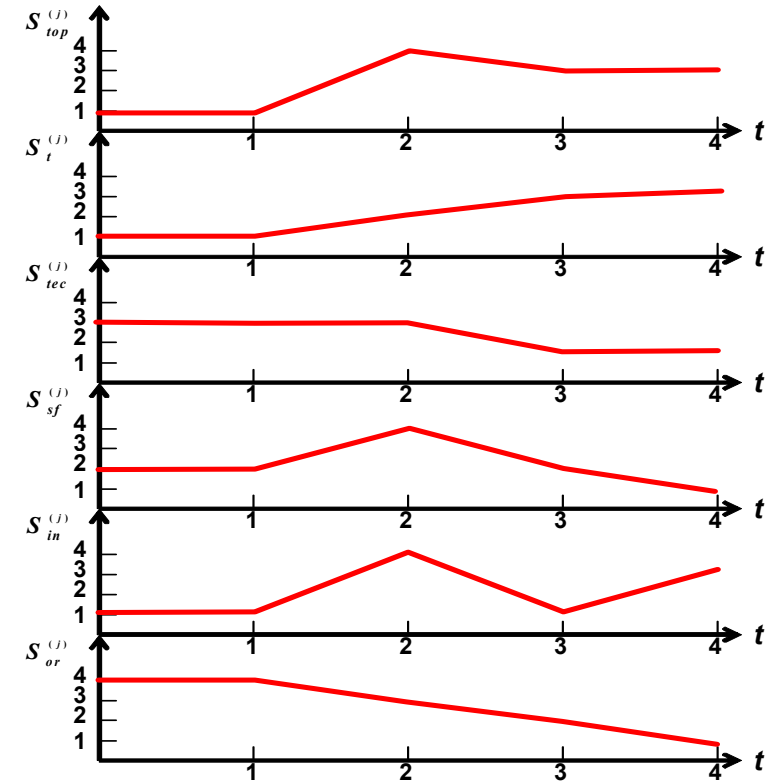
1. Примеры сложных объектов (СО)



2. Структуры сложных объектов

Макросостояния	j 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

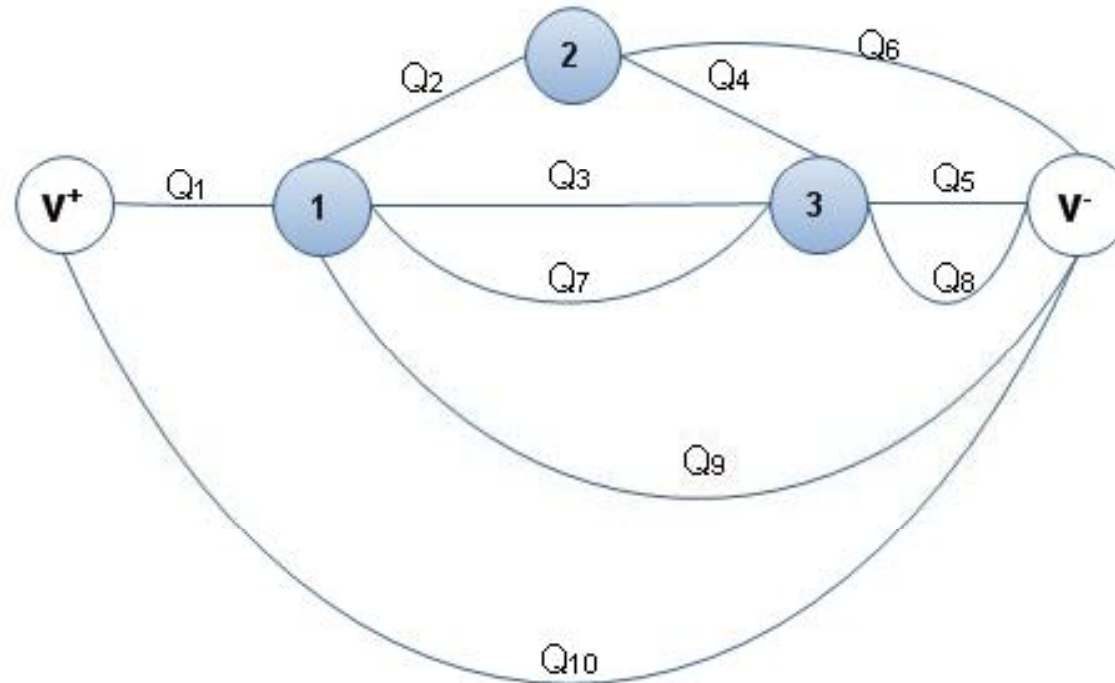
Проблема управления структурной динамикой СО предполагает решение трех классов задач:

- **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

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

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

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

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

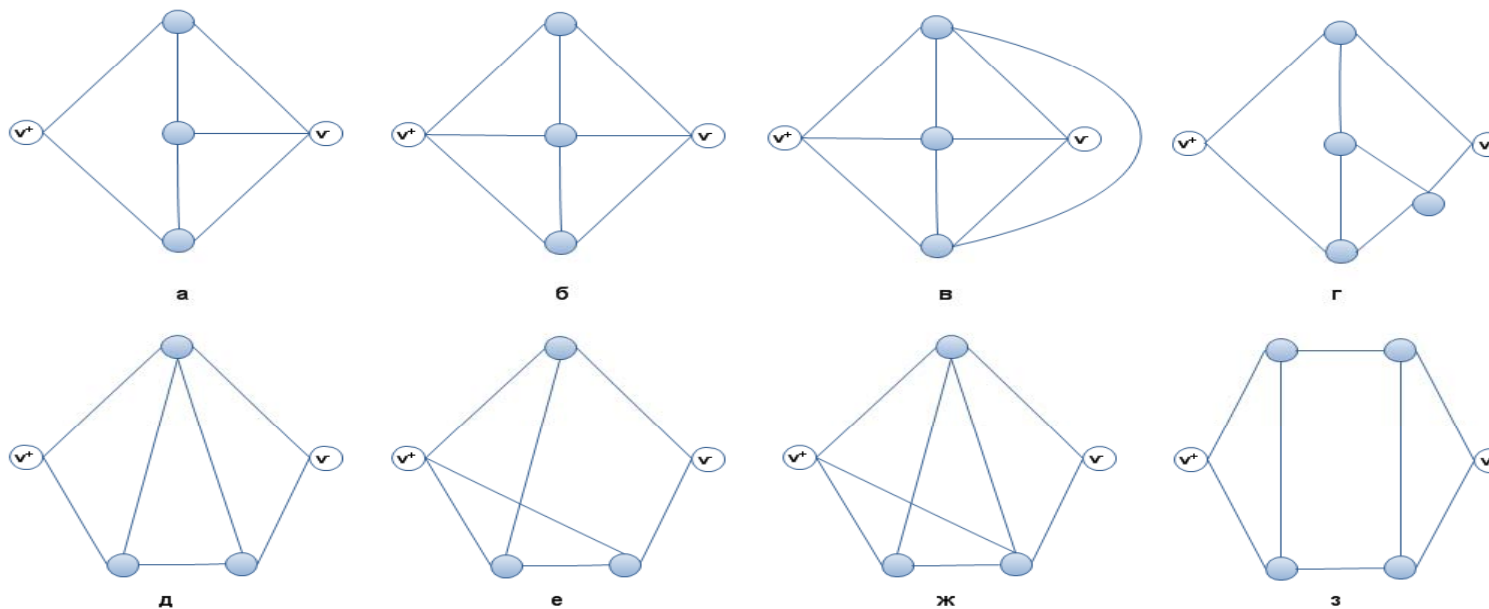
$$\vec{\chi} = (0, 0, 1, 0, 0, 2, 0, -4, -1, 5, -2)$$

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 зависящих друг от друга вершин, *либо* соединением внутренних вершин с полюсами так, чтобы *каноническое расщепление новой сети* состояло только из H-сети.



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

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

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

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)

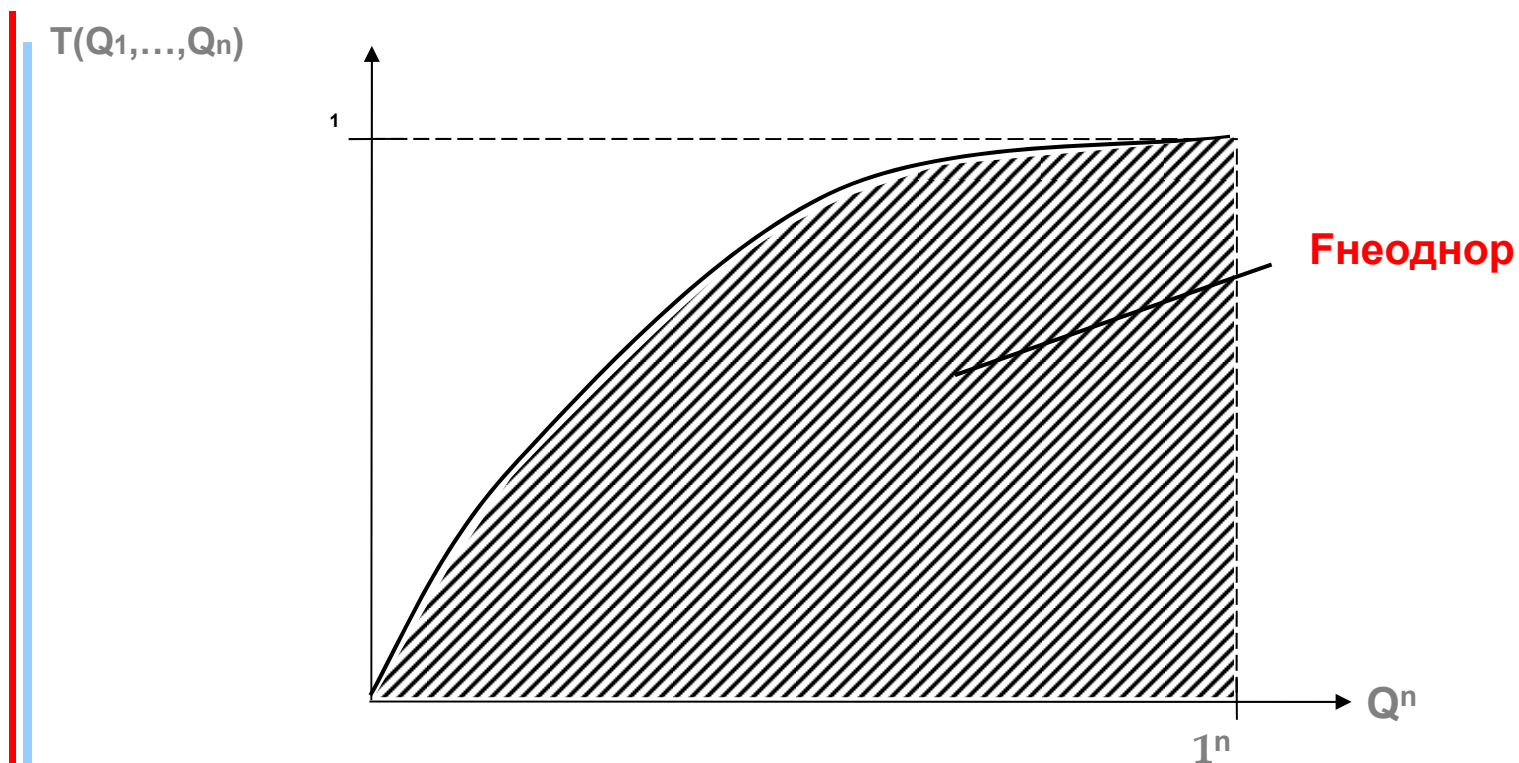
$$|\chi_{n+1}| = |\chi_n| + 2$$

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

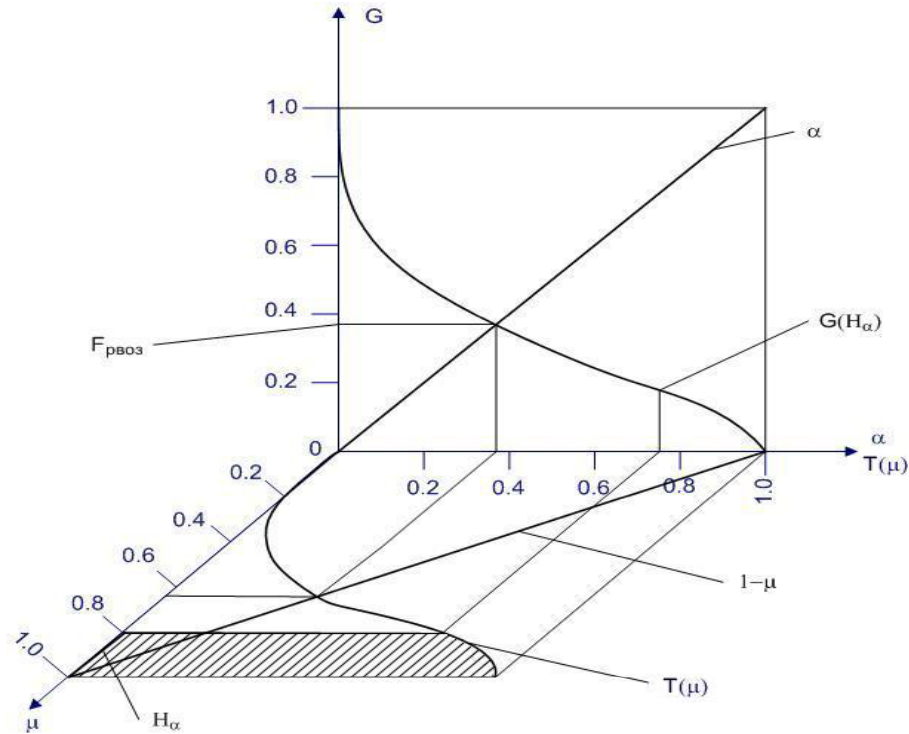
4. Интегральные показатели структурной надежности СО (логико-вероятностный подход)



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

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

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

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

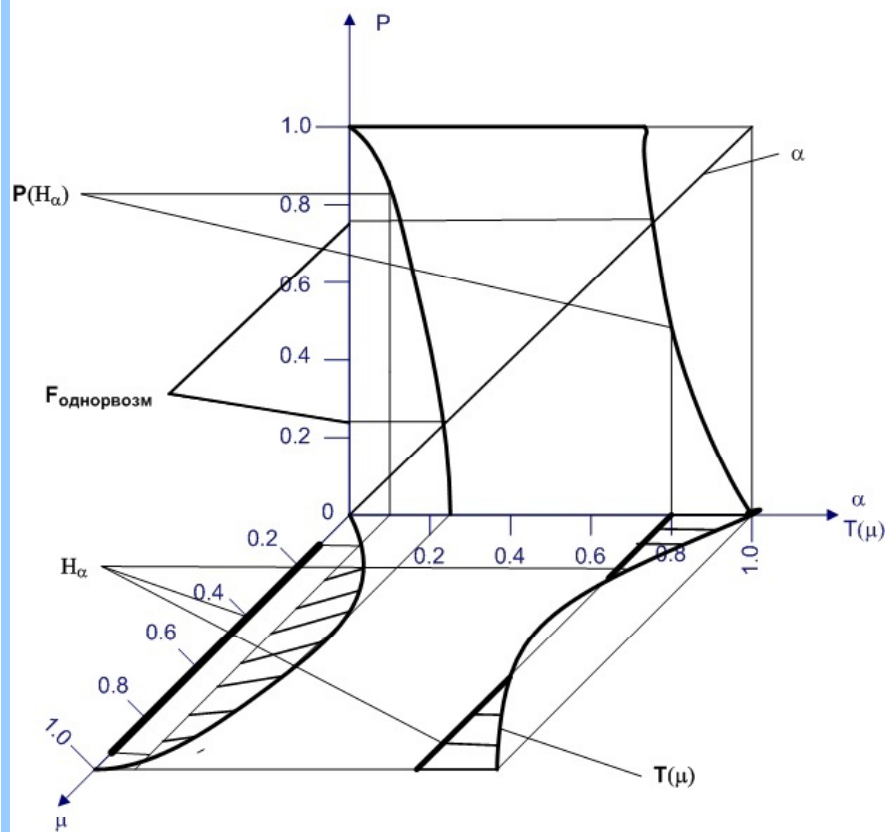
$$F_{\text{индикатор}} = 1 - \mu_*$$

Индикатор опасности

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

$$F_{\text{индикатор}} = \mu_*$$

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

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

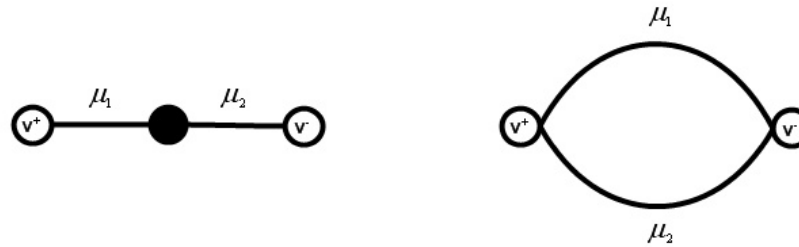
Полином для вычисления положительного вклада i -го элемента в структурный отказ СО

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

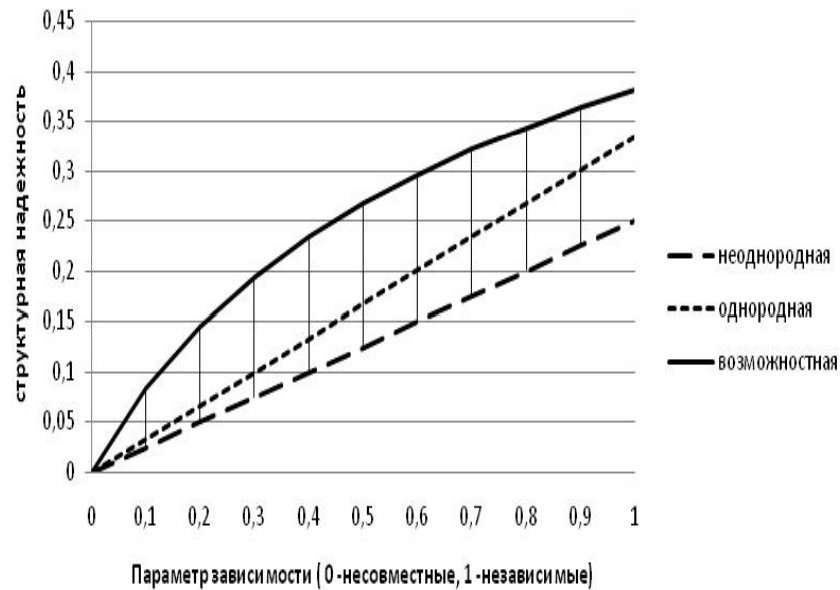
Полином для вычисления отрицательного вклада i -го элемента в структурный отказ СО

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

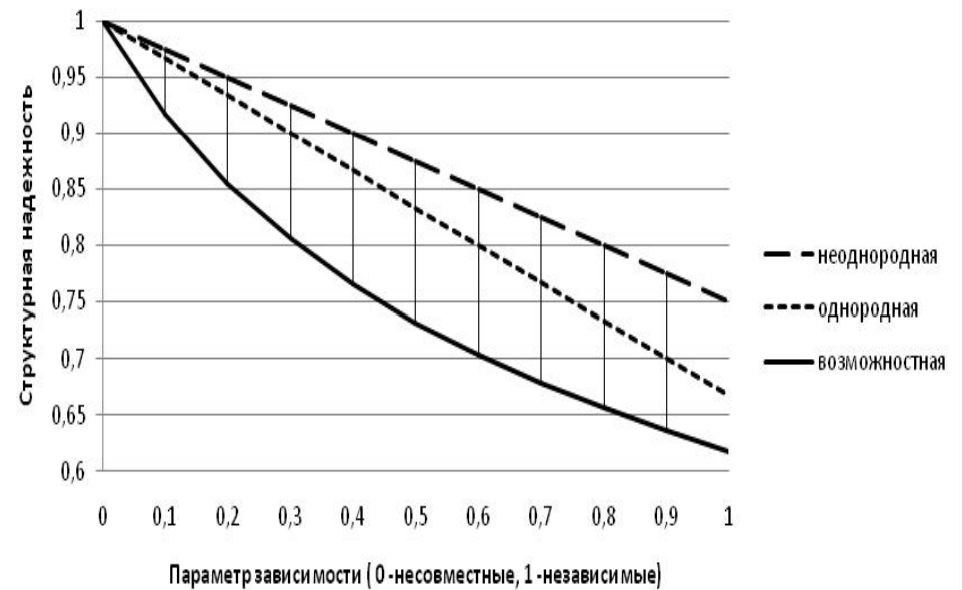
5. Ценность предлагаемого подхода В. Независимость событий



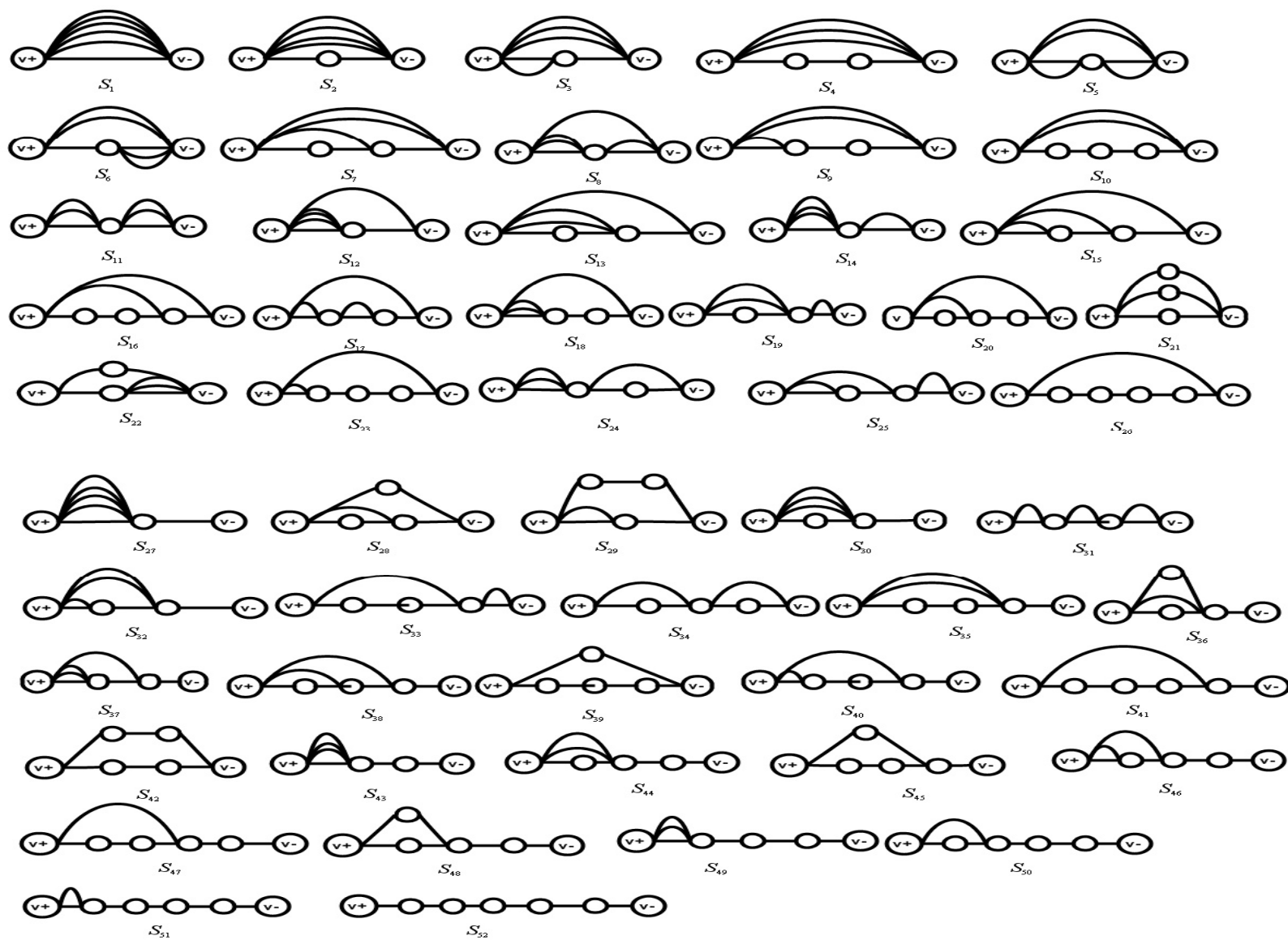
Интегральные оценки структурной надежности



Интегральная оценка структурной надежности



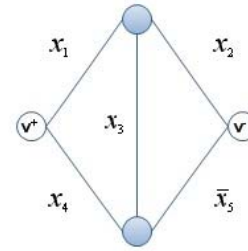
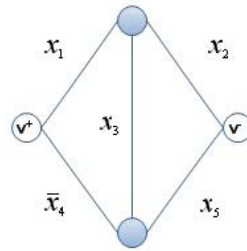
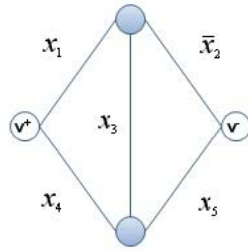
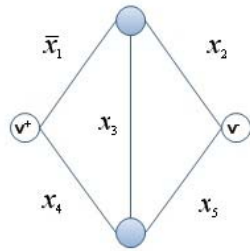
5. Ценность предлагаемого подхода В. Независимость событий



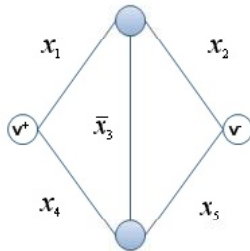
5. Ценность предлагаемого подхода В. Независимость событий



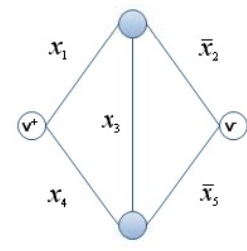
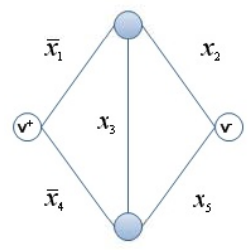
5. Ценность предлагаемого подхода С. Немонотонные структуры 1 рода (инверсные элементы)



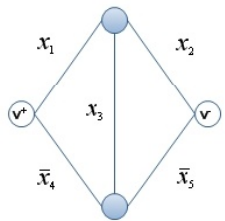
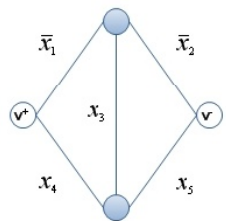
- вариант 1



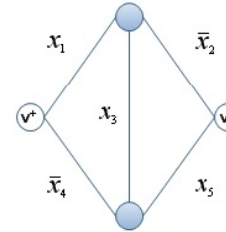
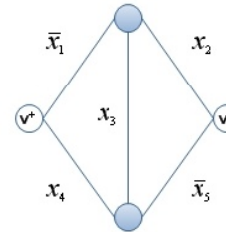
- вариант 2



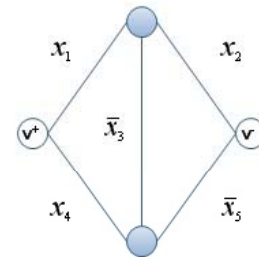
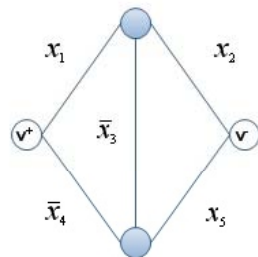
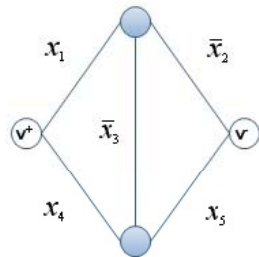
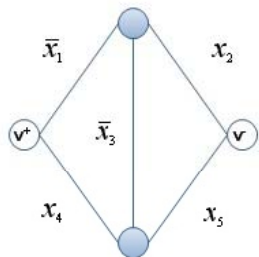
- вариант 3



- вариант 4



- вариант 5

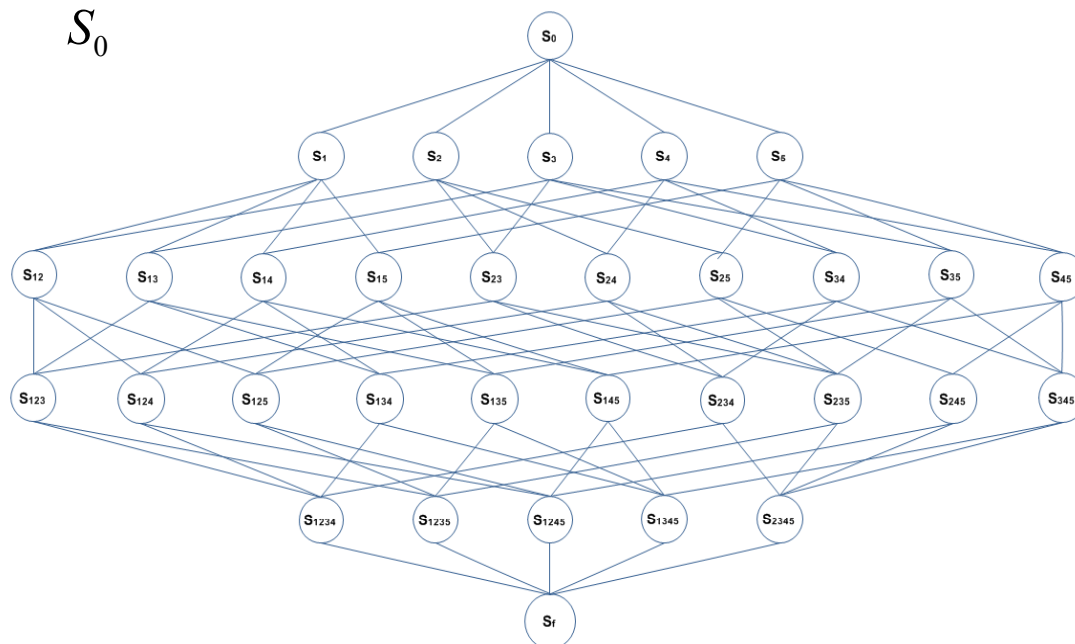
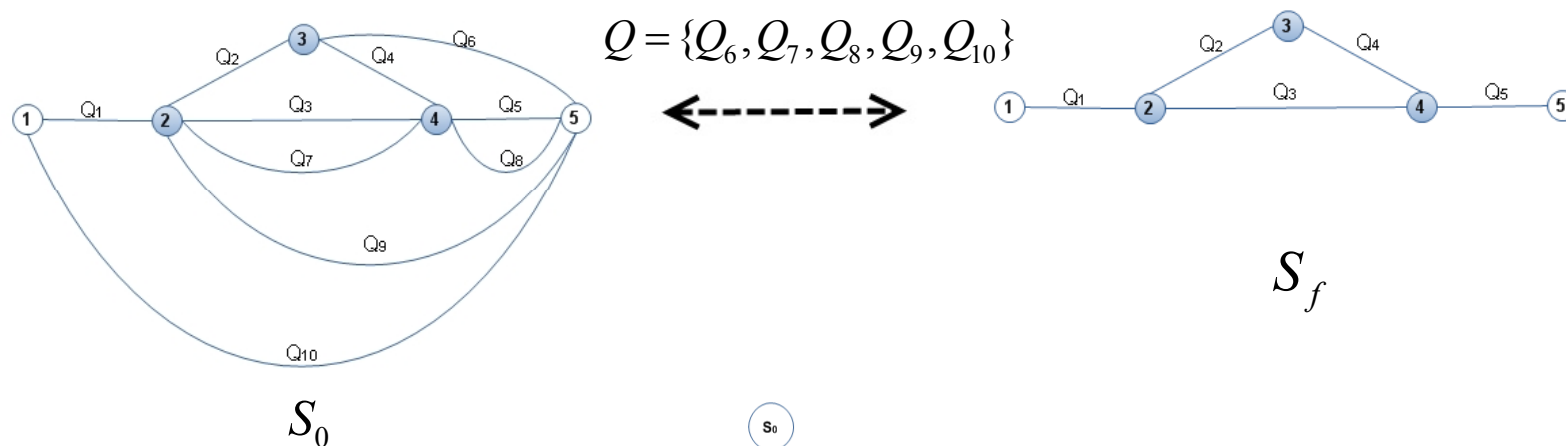


- вариант 6

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

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

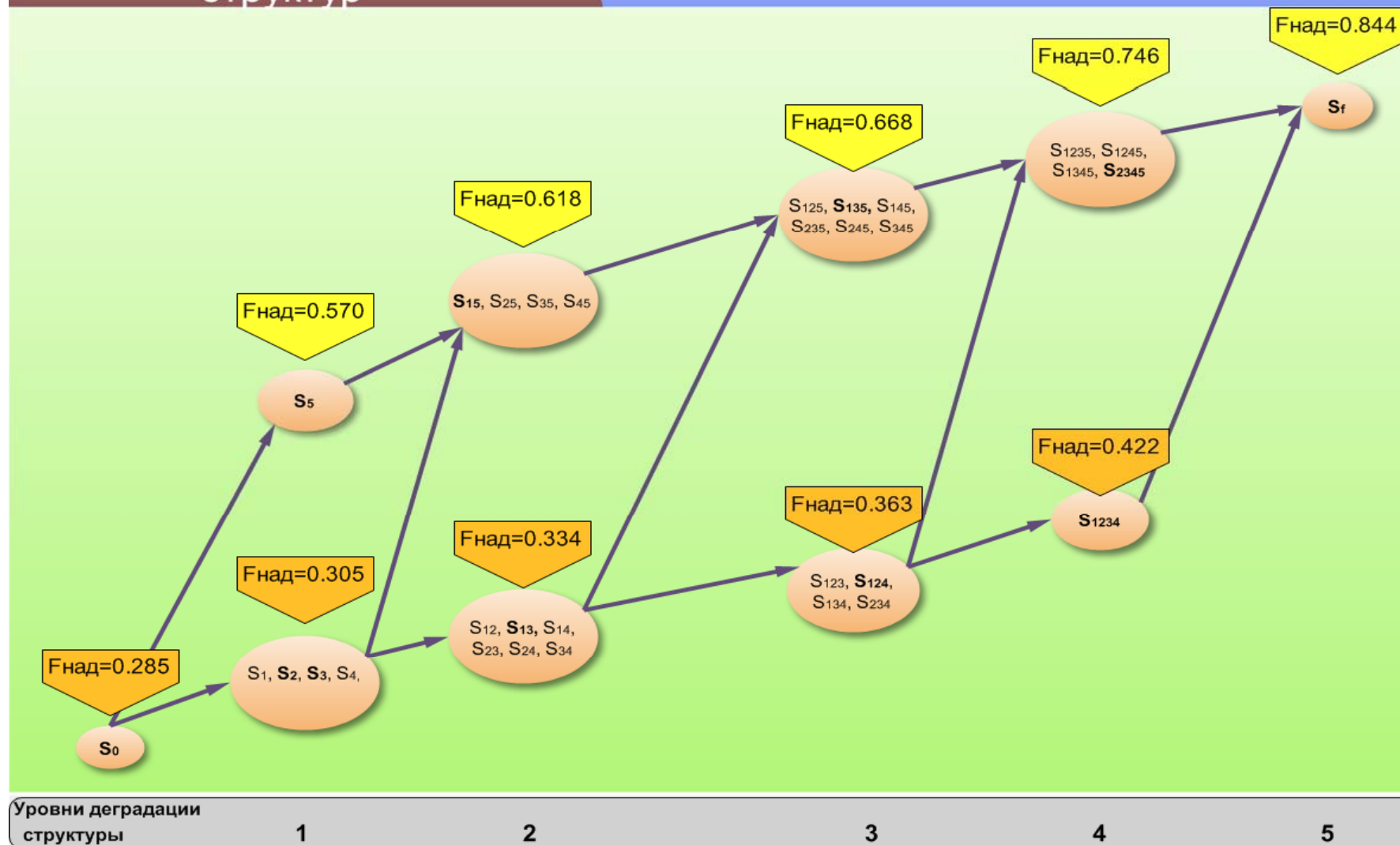
6. Моделирование, оценивание и анализ деградации (восстановления) структуры СО

Кластеризации множества структурных состояний СО

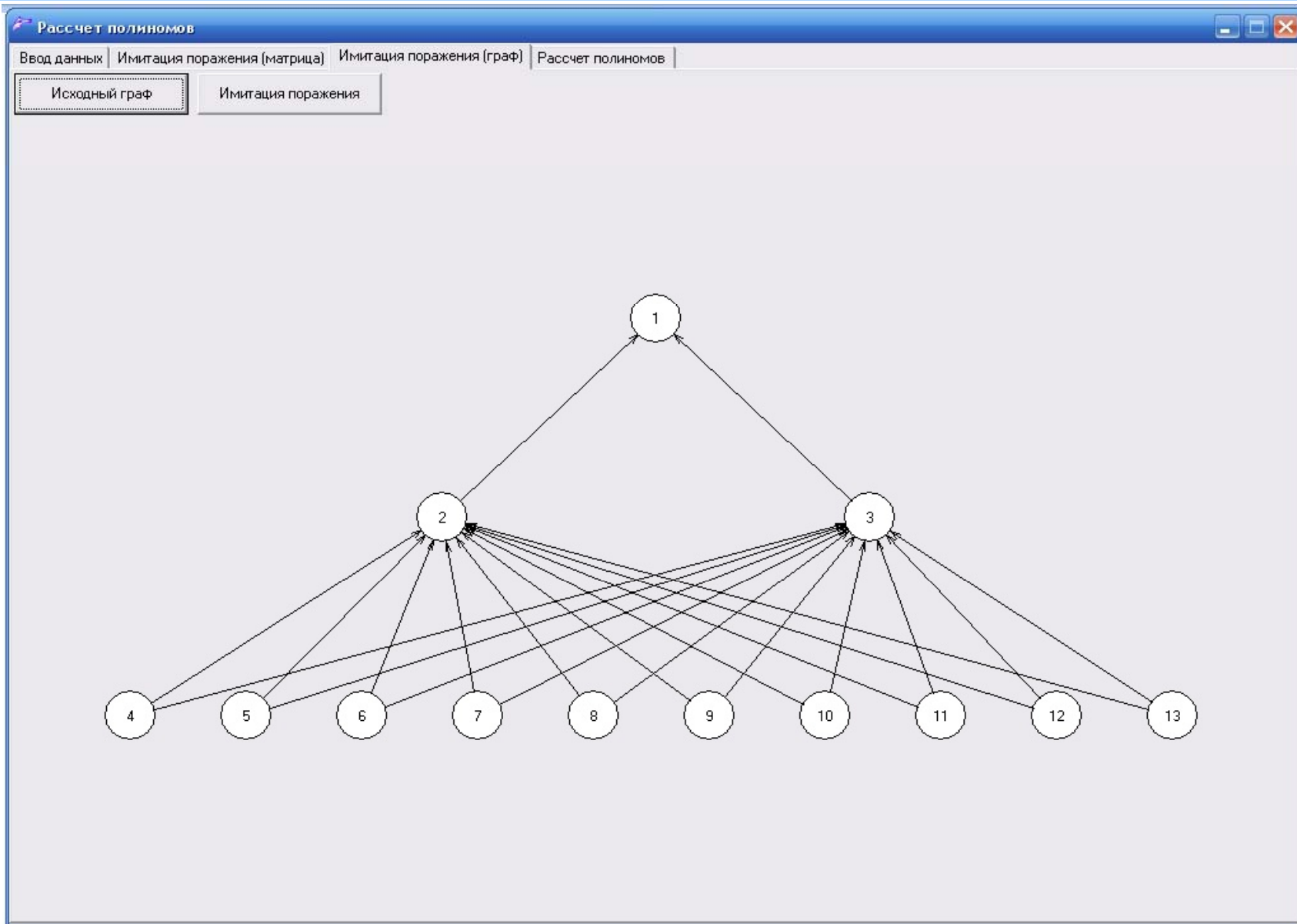
№ п/п	Название меры сходства	Формула
1	Чекановского-Серенса ($\lambda=0$)	$C(S_l, S_k) = \frac{2\mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_l) + \mu(S_k)}$
2	Жаккара ($\lambda=1$)	$C(S_l, S_k) = \frac{2\mu(S_l \cap S_k)}{\mu(S_l) + \mu(S_k)}$
3	Сокала-Снита ($\lambda=3$)	$C(S_l, S_k) = \frac{\mu(S_l \cap S_k)}{2\mu(S_l) + 2\mu(S_k) - 3\mu(S_l \cap S_k)}$
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 >>

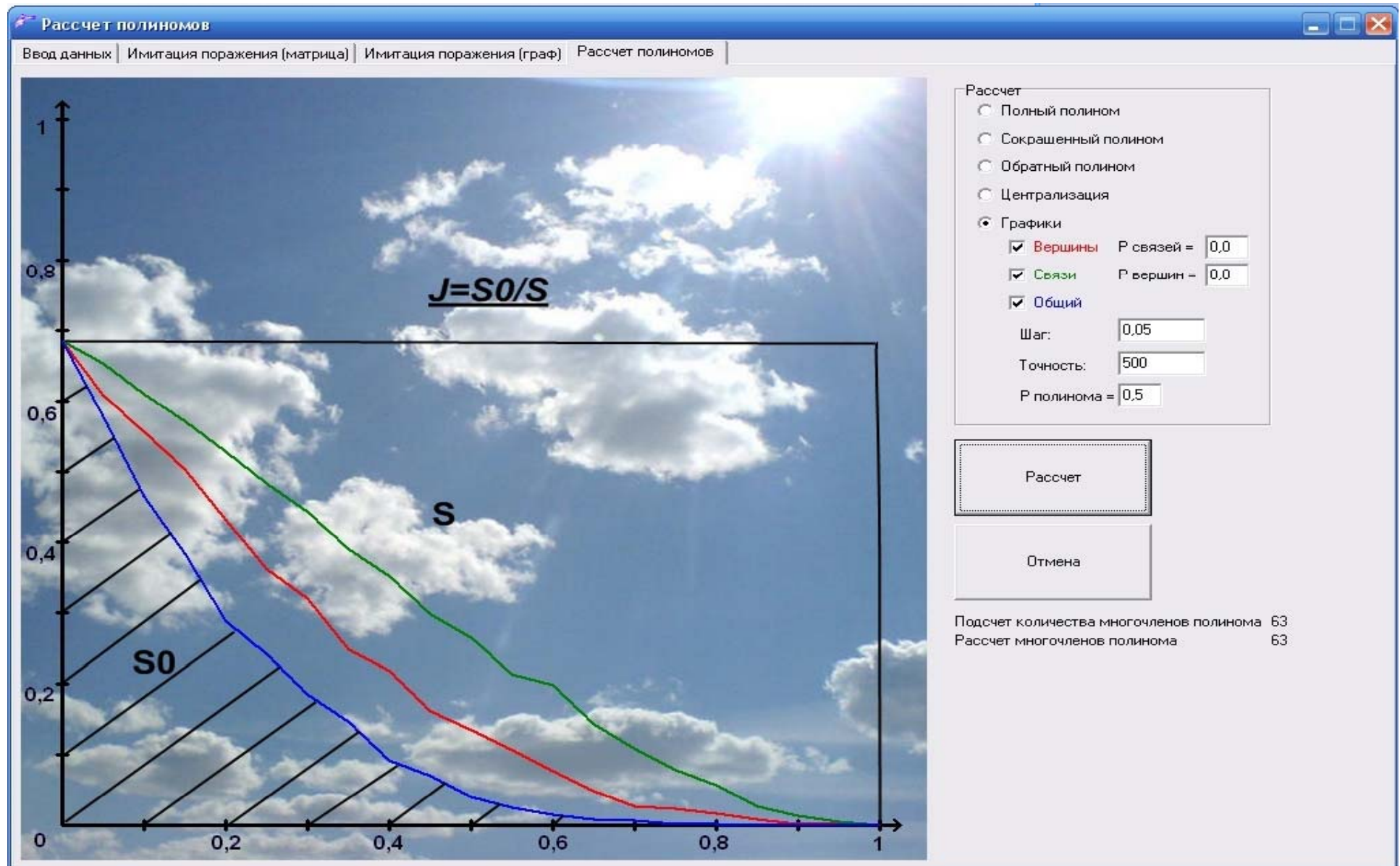
1	0,3
2	0,3
3	0,3
4	0,3
5	0,3
6	0,3
7	0,3
8	0,3
9	0,3
10	0,3
11	0,3
12	0,3
13	0,3

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.spiras-grom.ru>

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ