

# Прогнозирование методом Дельфи

1. Основные положения метода Дельфи.
2. Формирование группы экспертов.
3. Вычисление оценок прогноза.
4. Оценка согласованности мнений экспертов.

# 1. Основные положения метода Дельфи

**Дельфийский метод** был разработан в 1950 -1960 годы в США для прогнозирования влияния будущих научных разработок на методы ведения войны (авторами считаются Olaf Helmer, Norman Dalkey, и Nicholas Rescher).

В гражданском приложении, метод Дельфи впервые был описан в «Докладе об изучении долгосрочного прогнозирования» в 1964 году.

Объектами исследования предлагались сделать:  
научные прорывы,  
прирост народонаселения и распределения ресурсов,  
автоматизацию,  
исследование космоса, возникновение и предотвращение войн,  
будущие перспективные системы вооружения.

**Метод Дельфи** - это метод прогноза.

Он является **методом экспертного оценивания**.

**Особенности:** заочность,  
многоуровневость,  
анонимность.

**Исходная предпосылка метода** - если грамотно обобщить и обработать индивидуальные оценки квалифицированных экспертов по поводу исследуемого объекта, то можно получить коллективное мнение, обладающее достаточной степенью достоверности и надежности.

**Конечная цель метода** - с помощью последовательных опросов, интервью – добиться максимального консенсуса для нахождения правильного решения.

Аналитика метода проводится в несколько этапов, а результаты обрабатываются статистическими методами.

Метод Дельфи имеет несомненные преимущества по сравнению с методами, основанными на обычной статистической обработке результатов индивидуальных опросов.

Метод позволяет **уменьшить погрешность по всей совокупности** индивидуальных ответов, ограничивает колебания внутри опрашиваемых групп.

При этом наличие менее квалифицированных экспертов оказывает менее сильное влияние на групповую оценку, чем простое усреднение результатов ответов, поскольку ситуация помогает им исправить ответы за счет получения новой информации от своей группы.

## **Достоинства метода**

Метод Дельфи способствует выработке независимости мышления членов группы.

Обеспечивает спокойное и объективное изучение проблем, которые требуют оценки.

## **Недостатки метода**

Чрезмерная субъективность оценок.

Требует достаточно много времени и организационных усилий.

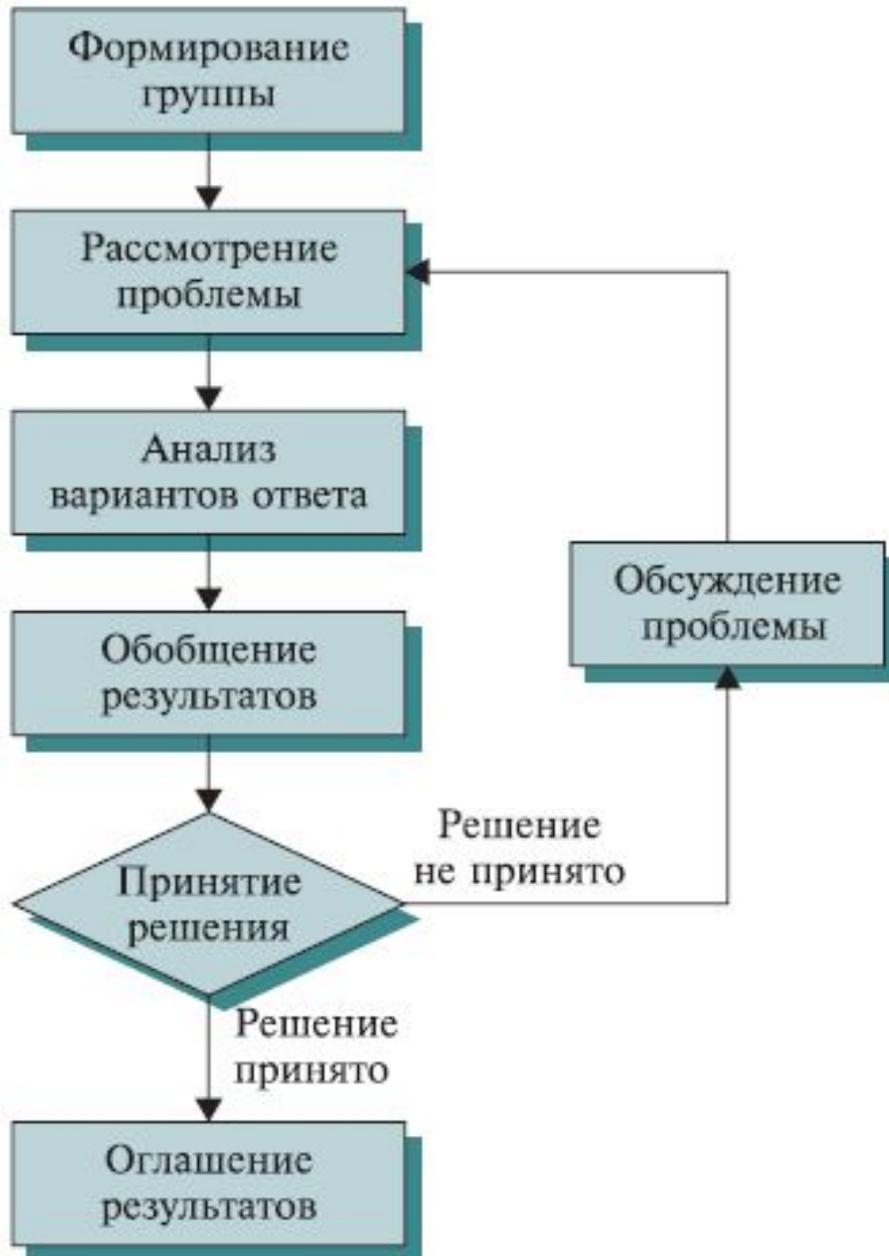
Метод Дельфи наиболее применим, если к работе привлекаются эксперты, компетентные не по всей проблеме, а по ее различным составляющим.

**Прежде чем принимать решение об использовании метода Дельфи, необходимо задать ряд вопросов:**

- Кто будет проводить экспертизу, и где будут находиться ее участники?
- Какая должна поддерживаться связь с ними в процессе рассмотрения существующей проблемы?
- Какие существуют в наличии альтернативные методики, и какие результаты реально можно ожидать от их применения?

## **Проведение экспертизы по методу Дельфи**

1. Сформировать рабочую группу для сбора и обобщения мнений экспертов.
2. Сформировать экспертную группу из специалистов.
3. Подготовить анкету, указав в ней поставленную проблему, уточняющие вопросы.
4. Провести опрос экспертов в соответствии с методикой, предполагающей при необходимости повторение процедуры. Полученные ответы служат основой для формулирования вопросов для следующего этапа.
5. Обобщить экспертные заключения и выдать рекомендации по поставленной проблеме.



## 2. Формирование группы экспертов

Процедура формирования экспертной группы имеет важное значение.

Отбор производится из **специалистов соответствующей предметной области.**

Отбор можно формализовать с использованием **балльной оценки компетентности экспертов.**

По баллом можно оценить **рейтинг эксперта.**

При оценке можно учитывать уровень образования, наличие публикаций и цитирований, опыт работы в предметной области, наличие разработок и т.п.

Каждой компетентности целесообразно присвоить **вес (значимость).**

## **Критерии отбора экспертов**

Эксперты, привлекаемые к выполнению экспертно-аналитических исследований, должны соответствовать следующим критериям:

### **Компетентность:**

высокая квалификация в выбранной предметной области;

наличие ученой степени (кандидат, доктор наук) и звания (доцент, профессор);

публикации в высокорейтинговых российских и зарубежных изданиях монографий, учебников, патентов, авторских свидетельств и статей;

принадлежность к ведущим научным школам и другим сообществам ученых и др.

## **Опыт и кругозор:**

многолетний опыт ученого или практика;

опыт участия в российских и международных проектах по актуальным проблемам науки и технологий;

опыт проведения экспертиз;

опыт формирования тематик и заданий на проведение исследований и разработок;

системные знания о мировом развитии технологий и теоретических исследований по выбранным приоритетным направлениям.

## **Научные достижения:**

высокий индекс научного цитирования;

участие в научных и профессиональных сообществах;

## **Научные достижения:**

высокий индекс научного цитирования;

участие в научных и профессиональных сообществах;

полученные премии, награды, внедренные разработки.

# Таблица баллов и весов для оценки экспертов

№ фактора	Факторы (компетенции)	Баллы	Вес	Нормированный вес
1	Образование		1	0,06
	Специальное	1		
	Высшее	2	=D4/\$D\$25	
	Ученая степень			
	Кандидат	3		
	Доктор и выше	4		
2	Число публикаций в год		2	0,12
	1	1		
	3	2		
	5 и больше	3		
3	Цитирование (индекс Хирша)		3	0,18
4	Опыт работы (стаж)		3	0,18
	3	1		
	5	2		
	10 и более	3		
5	Участие в экспертизах (количество)		3	0,18
6	Участие в конференциях (количество)		1	0,06
7	Участие в приемных комиссиях по сдаче объектов	=СУММ(D4:D23)	2	0,12
8	Уровень знаний по статистике проблемы (слабый/достаточный)	0/1	=СУММ(E4:E23)	0,06
9	Уровень знаний с нормативной документацией(слабый/достаточный)	0/1	1	0,06
	Общая сумма весов		17	1,00

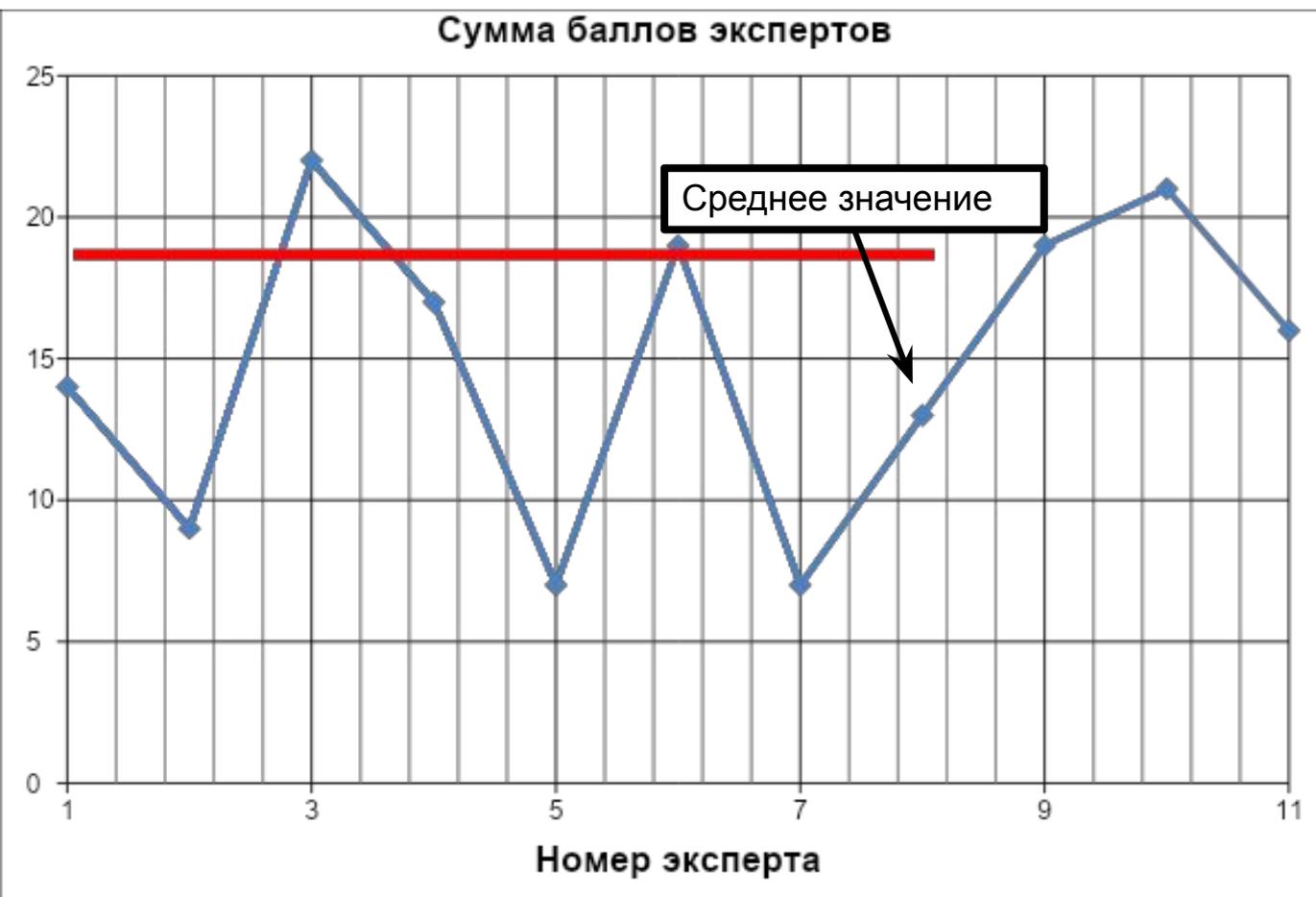
# Оценка рейтинга экспертов в группе

Номер эксперта	Факторы									Сумма баллов	Нормированная сумма	Ранг 1 эксперта	Ранг 2 эксперта
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
1	2	3	2	3	1	0	2	0	1	14	1,824	7	5
2	1	0	0	2	3	0	3	0	0	9	1,294	9	9
3	4	2	1	1	5	5	2	1	1	22	2,353	1	3
4	3	4	2					1	1	17	1,824	5	5
5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	7	0,706	10	10
6	1	3					3	1	1	19	2,529	3	1
7	2	1	0	2	0	1	0	0	1	7	0,706	10	10
8	2	2	1	2	1	2	1	1	1	13	1,412	8	8
9	3	3	1	3	3	2	2	1	1	19	2,235	3	4
10	3	1	3	3	3	3	3	1	1	21	2,529	2	1
11	1	3	0				2	1	1	16	1,706	6	7
Среднее значение										15	2	6	6

## Отбор экспертов

Можно отобрать экспертов с рейтингом выше среднего значения.

Но при этом их число не обеспечит качество прогноза.



Попадают  
только 6

## Определение числа экспертов

При отборе экспертов необходимо обеспечить их минимальное число в группе.

Достаточное число экспертов можно вычислить только после обработки результатов экспертизы.

Число экспертов в группе обычно лежит в диапазоне от 5 до 20-25.

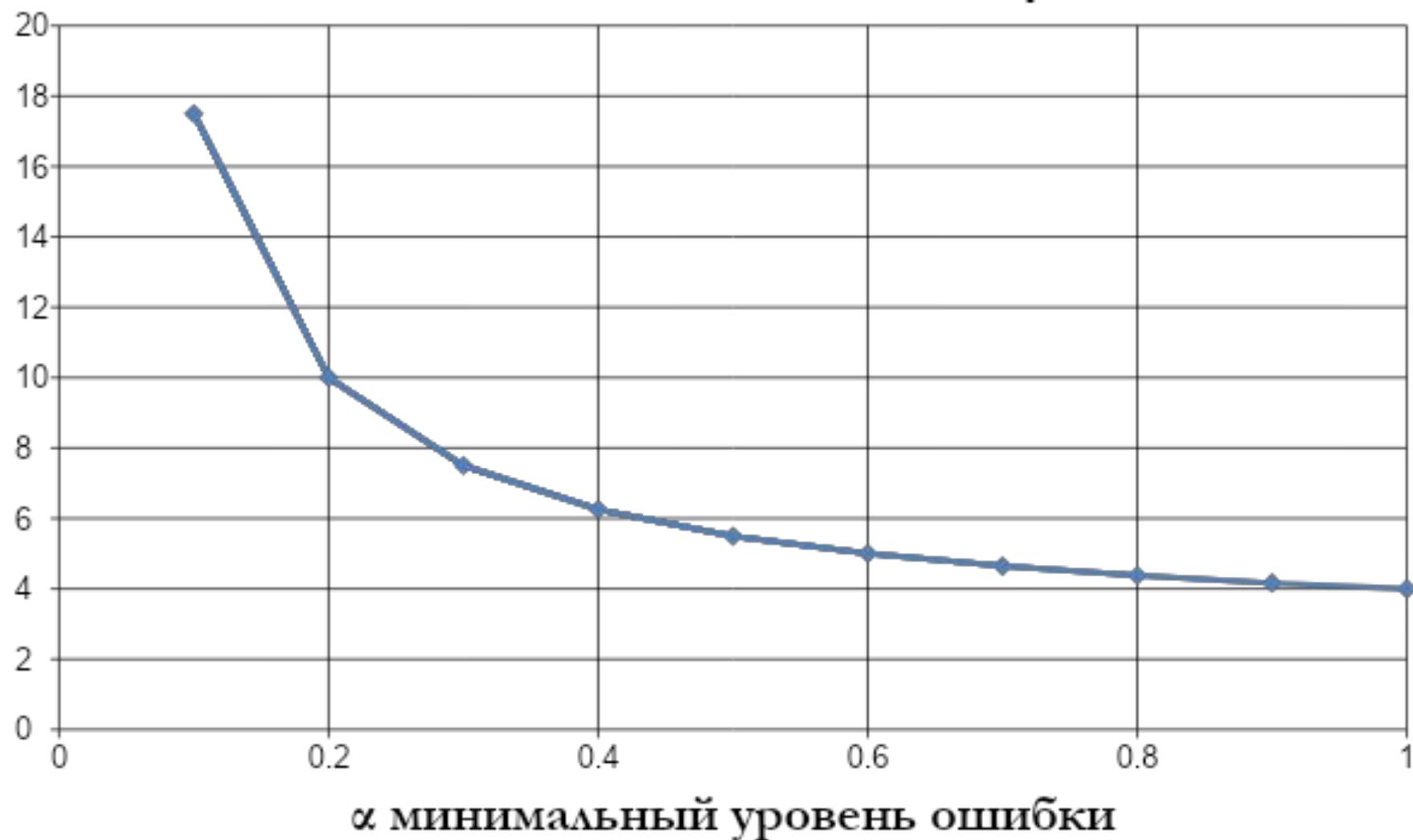
Минимальное количество экспертов предлагается определять по формуле

$$N = 0,5 (3/\alpha + 5),$$

где  $0 < \alpha \leq 1$  – параметр, задающий минимальный уровень ошибки экспертизы.

При  $\alpha = 1$  минимальное количество экспертов равно 4.

## N минимальное число экспертов



Минимальное число экспертов после экспертизы можно оценить по формуле

$$N = 0,5 (3/\alpha + 5),$$

где  $\alpha = (b - b_1)/b_{\max}$  - относительное изменение среднего значения ответов экспертов при добавлении еще одного эксперта;

$b$  – среднее значение ответов экспертов;

$b_1$  - среднее значение ответов экспертов при добавлении еще одного эксперта;

$b_{\max}$  – максимальное значение в ответах экспертов.

## Определение доверительного интервала для отбора экспертов

Дисперсия не известна и объем выборки небольшой ( $n \leq 30$ ).

Среднее генеральной совокупности, имеющей нормальный закон распределения с доверительной вероятностью  $1-\alpha$  находится в доверительном интервале:

$$\bar{x} - E < \mu < \bar{x} + E$$

Точность интервальной оценки находится по формуле:

$$E = t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

где  $t_{\alpha/2}$  - значение для доверительной вероятности  $1 - \alpha$  и числа степеней свободы  $df = n - 1$ ;  
 $S$  – СКО.

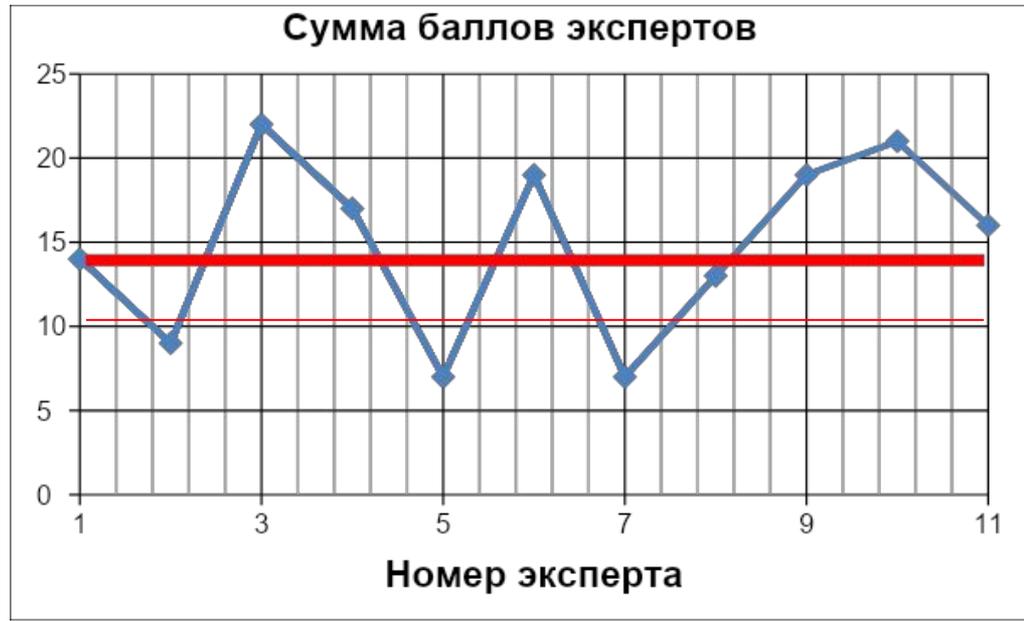
$=\text{CPЗНАЧ}(Q5:Q15)$	2	1	1	16	1,706	6	7
Среднее значение	15	2	6	6			
СКО	5,3936						
t для $1-\alpha=0,95$ и $n=11$	2,228						
E	3,6232						
Нижняя граница отбора	11						

$=\text{СТАНДОТКЛОН}(Q5:Q15)$

2,228  
находим по таблице

$=Q19*Q18/G15^{0,5}$

$=Q17-Q20$



Таким образом, в группу попадают 8 экспертов.

Число степеней свободы $f = n - 1$	<b>n</b>	Доверительная вероятность			
		0.90	0.95	0.99	0.999
1	2	6.3137515148	12.7062047364	63.6567411629	636.619249432
2	3	2.91998558036	4.30265272991	9.92484320092	31.599054577
3	4	2.3533634348	3.18244630528	5.84090929976	12.9239786366
4	5	2.13184678134	2.7764451052	4.60409487142	8.61030158138
5	6	2.01504837267	2.57058183661	4.03214298356	6.86882663987
6	7	1.94318028039	2.44691184879	3.70742802132	5.95881617993
7	8	1.89457860506	2.36462425101	3.49948329735	5.40788252098
8	9	1.85954803752	2.30600413503	3.35538733133	5.04130543339
9	10	1.83311293265	2.26215716274	3.24983554402	4.78091258593
10	11	1.81246112281	2.22813885196	3.16927266718	4.5868938587
11	12	1.7958848187	2.20098516008	3.10580651322	4.43697933823
12	13	1.78228755565	2.17881282966	3.05453958834	4.31779128361
13	14	1.77093339599	2.16036865646	3.01227583821	4.22083172771
14	15	1.76131013577	2.14478668792	2.97684273411	4.14045411274
15	16	1.75305035569	2.13144954556	2.94671288334	4.0727651959
16	17	1.74588367628	2.11990529922	2.92078162235	4.0149963326
17	18	1.73960672608	2.10981557783	2.89823051963	3.96512626361
18	19	1.73406360662	2.10092204024	2.87844047271	3.92164582001
19	20	1.72913281152	2.09302405441	2.86093460645	3.88340584948
20	21	1.72471824292	2.08596344727	2.84533970978	3.84951627298
21	22	1.72074290281	2.07961384473	2.83135955802	3.81927716303
22	23	1.71714437438	2.0738730679	2.8187560606	3.79213067089
23	24	1.71387152775	2.06865761042	2.80733568377	3.76762680377
24	25	1.71088207991	2.06389856163	2.79693950477	3.74539861893
25	26	1.70814076125	2.05953855275	2.78743581368	3.72514394948
26	27	1.70561791976	2.05552943864	2.77871453333	3.70661174331
27	28	1.70328844572	2.05183051648	2.77068295712	3.68959171334
28	29	1.70113093427	2.0484071418	2.76326245546	3.67390640062

### 3. Вычисление оценок прогноза

Важно получить оценки точечного и интервального прогнозов с учетом мнения экспертов.

**Среднее значение** прогнозируемой величины можно определить по формуле:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

где:

$n$  – число экспертов;

$V_i$  – значение прогнозируемой величины, данной  $i$ -ым экспертом.

**Дисперсия** прогнозируемой величины вычисляется по формуле:



## Оценка доверительного интервала прогноза:



где:

**t** – коэффициент Стьюдента для заданного уровня значимости и числа степеней свободы **n-1**.

Табличные значения коэффициента Стьюдента для односторонних ( $\alpha$ ) и двусторонних ( $\alpha/2$ ) гипотез при заданном числе степеней свободы  $df (n-1)$ :

$\alpha/2$	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
$\alpha$	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
<b><math>df (n-1)</math></b>	SixSigmaOnline.ru										
1	0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819

**Доверительные границы** прогнозируемой величины определяются как

$$\bar{y} \pm t_{\alpha/2} \cdot s_{\bar{y}}$$

## 4. Оценка согласованности мнений экспертов

В настоящее время известны две меры согласованности мнений группы экспертов:

дисперсионный и  
энтропийный  
коэффициенты конкордации.

## Оценка согласованности мнений экспертов

Для определения тесноты связи между произвольным числом ранжированных признаков применяется множественный коэффициент ранговой корреляции (коэффициент конкордации Кендала).

**Коэффициент конкордации Кендала используется для определения согласованности оценок экспертов.**

Значение коэффициента конкордации может находиться в диапазоне от 0 до 1.

**Если  $W=0$ , считается, что мнения экспертов не согласованны.**

**Если  $W=1$ , то оценки экспертов полностью согласованны.**

Можно выделить 2 ограничения в использовании коэффициента конкордации Кендала:

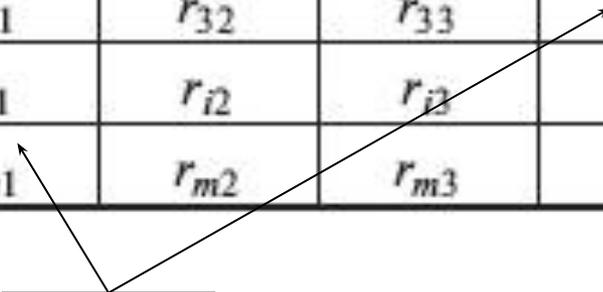
- невозможность рассчитать согласованность мнений экспертов по каждой переменной в отдельности.
- коэффициент измеряет согласованность мнений в смысле их коррелированности, но не совпадения.

Эксперты дают оценки от 1 до  $m$ .

Определяют места признаков или объектов экспертизы от 1 до  $m$ .

Признаки или объект оценки	Эксперты					
	1	2	3	4	$s$	$d$
$X_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$	$r_{14}$	$r_{1s}$	$r_{1d}$
$X_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$	$r_{24}$	$r_{2s}$	$r_{2d}$
$X_3$	$r_{31}$	$r_{32}$	$r_{33}$	$r_{34}$	$r_{3s}$	$r_{3d}$
$X_i$	$r_{i1}$	$r_{i2}$	$r_{i3}$	$r_{i4}$	$r_{is}$	$r_{id}$
$X_m$	$r_{m1}$	$r_{m2}$	$r_{m3}$	$r_{m4}$	$r_{ms}$	$r_{md}$

Ранги



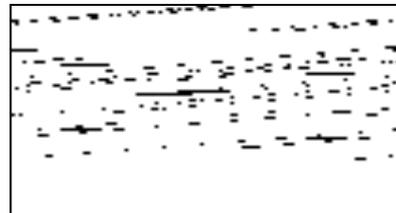
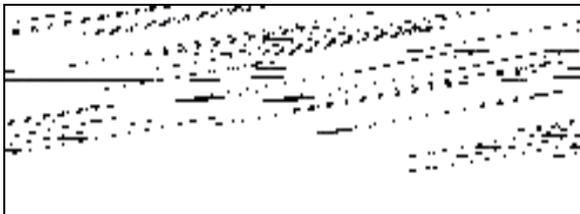
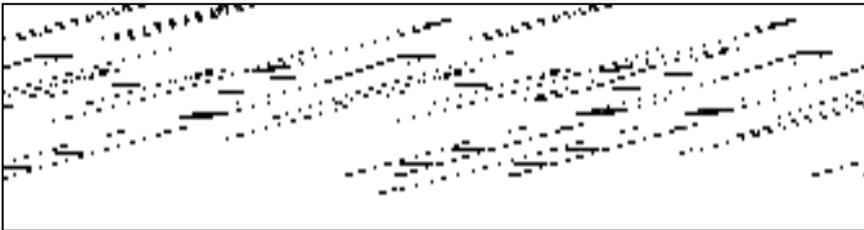
Коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 (n^3 - n)},$$

где  $m$  – число экспертов,

$n$  – число объектов экспертизы,

$S$  - сумма квадратов отклонений всех оценок рангов каждого объекта экспертизы от среднего значения.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Оценка согласованности мнений экспертов по рангам									
2		Номер эксперта m	Оценки успешности предприятий в следующем году от 1 до 7 n							Сумма	
3			1	2	3	4	5	6	7	=СУММ(I4:I8)	
4		1	1	2	3	4	5	6	7		
5		2	2	1	3	4	6	5	7	=СУММ(C9:I9)	
6		3	1	3	2	4	5	7	6		
7		4	1	2	3	5	4	7	6	=J9/7	
8		5	1	3	2	4	5	6	7		
9		Сумма рангов(оценок)	6	11	13	21	25	31	33	140	Средняя сумма
10		Отклонение от средней суммы	-14	-9	-7	1	5	11	13		20
11		Квадраты отклонений	196	81	49	1	25	121	169	642	
12											
13		Коэффициент конкордации				0,9					
14											
15											

№	Значение коэффициента <u>конкордации</u> по шкале Марголина	Оценка степени согласованности мнений экспертов
1	$0 \leq W \leq 0,1$	Согласованность отсутствует
2	$0,1 < W \leq 0,3$	Согласованность очень слабая
3	$0,3 < W \leq 0,5$	Согласованность слабая
4	$0,5 < W \leq 0,7$	Согласованность умеренная
5	$0,7 < W \leq 0,9$	Согласованность высокая
6	$0,9 < W \leq 1,0$	Согласованность очень высокая

№	Значение коэффициента <u>конкордации</u> по шкале Харрингтона	Оценка степени согласованности мнений экспертов
1	$0 \leq W \leq 0,2$	Согласованность очень низкая
2	$0,2 < W \leq 0,37$	Согласованность низкая
3	$0,37 < W \leq 0,64$	Согласованность средняя
4	$0,64 < W \leq 0,8$	Согласованность высокая
5	$0,8 < W \leq 1,0$	Согласованность очень высокая

**Ранжирование** – это расположение объектов в порядке возрастания или убывания какого-либо присущего им свойства. Ранжирование позволяет выбрать из исследуемой совокупности факторов наиболее существенный.

Предварительно нужно ранжировать оценки экспертов по признакам (объектам) для вычисления коэффициента конкордации.

	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1		Ранжирование мнений экспертов при оценках от 1 до 10								
2		m	n							
3			1	2	3	4	5	6	7	Сумма
4		1	5	4	10	6	1	8	3	37
5		2	8	6	9	7	4	3	1	38
6		3	10	7	8	9	3	1	5	43
7		4	9	10	7	8	5	2	3	44
8		5	2	3	5	7	10	1	9	37
9		Сумма	34	30	39	37	23	15	21	
10			1	2	3	4	5	6	7	Сумма
11		1	4	5	1	3	7	2	6	28
12		2	2	4	1	2	5	6	7	28
13		3	1	4			6	7	5	28
14		4	2	1	4	3	5	7	6	28
15		5	6	5	4	3	1	7	2	28
16		Сумма	15	19	13	14	24	29	26	

=РАНГ(O4;\$O\$4:\$U\$4)

Коэффициент конкордации вводится как отношение «реального» к «идеальному». На этот принцип опирается целый ряд математических конструкторов (формул). Под «реальным» понимается значение вариации в *матрице рангов*, а под идеальным – возможно максимальное значение вариации (полная согласованность ранжировок). Нетрудно доказать [9, с. 101], что максимальное значение равно:

$$S_{\max} = \frac{1}{12} m^2 (n^3 - n). \quad (2)$$

Отметим, что наличие связанных рангов приводит к появлению дробных значений.

Коэффициент конкордации при отсутствии связанных рангов находится по достаточно простой формуле:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} * m^2 (n^3 - n)}. \quad (3)$$

Известно, что величина  $m(n-1)W$  (для  $n > 7$ ) имеет  $\chi^2$  распределение [7, с. 115; 8, с. 441] с числом степеней свободы  $f = n - 1$ .

Тогда, если окажется, что

$$\chi^2_p = m(n-1)W > \chi^2_T, \quad (4)$$

можно сделать вывод о том, что ранжировки согласованы при заданном уровне значимости. Даже малое значение коэффициента

## **Задание**

- 1. Создать свою таблицу баллов и весов для оценки экспертов.**
- 2. Оценить экспертов по таблице и отобрать в группу прогноза.**