

ВЫБОР МАШИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Постановка задачи.

В производственном цехе есть комплекс оборудования. Каждая из машин **уникальна**, выполняет свою технологическую функцию.

Надежность каждой машины оценивается **набором показателей** (количество отказов, вероятность отказа, средняя наработка на отказ, среднее время восстановления и др.).

Объем материальных, трудовых и финансовых ресурсов в ремонтной службе для поддержания работоспособности оборудования **ограничен**.

Требуется между разнотипными машинами, оцениваемым разными показателями, **распределить приоритеты на повышение надежности**.

Для решения такого рода задач используется **метод экспертного оценивания**.

Для реализации метода приглашаются **эксперты** – специалисты в области механического оборудования и надежности.

Количество экспертов – **3 и более**.

Эксперты выполняют **ранжирование показателей** надежности, которыми оцениваются машины.

Ранжирование – это выставление **ранга** или **балла** каждому из показателей.

Принцип простановки рангов:

наиболее **важному, весоному показателю** (по мнению эксперта), в наибольшей степени характеризующему надежность объекта, выставляется **ранг равный 1**.

Далее ранги 2, 3, 4 и т.д. выставляются по мере убывания значимости показателя для оценке надежности.

После процедуры ранжирования показателей обязательно проводится **проверка согласованности** (согласия) их **мнений**.

В случае достаточной согласованности выполняются дальнейшие вычислительные этапы метода, в результате которых формируется **один количественный показатель**, позволяющий расставить **приоритеты между машинами** на повышение надежности.

Исходные данные

1. Список объектов, требующих принятия решения – N .
2. Список показателей для оценивания надежности объектов – m .
3. Список экспертов – Z .
4. Матрица ранжирования показателей экспертами - $\{r_{kj}\}$, $k=1 \dots Z$, $j=1 \dots m$.

Показатели	Эксперты				
	1	2	3	...	Z
1	r_{11}	r_{12}	r_{13}		r_{1Z}
2					
.....					
m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}		r_{mZ}

5. Таблица значений показателей объектов - $\{X_{ij}\}$, $i=1 \dots N$, $j=1 \dots m$.

Объект	Показатель				
	1	2	3	j	m
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{1j}	X_{1m}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{2j}	X_{2m}
<u>i</u>	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	<u>X_{ij}</u>	<u>X_{im}</u>
N	X_{N1}	X_{N2}	X_{N3}	<u>X_{Ni}</u>	<u>X_{Nm}</u>

Алгоритм метода экспертного оценивания

1. Определение суммы рангов для каждого показателя по результатам опроса экспертов:

$$Rs_j = \sum_{k=1}^Z r_{kj} \quad j=1..m,$$

Z - число экспертов.

Показатели	Эксперты				
	1	2	3	...	Z
1	r_{11}	r_{12}	r_{13}		r_{1Z}
2					
.....					
m	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}		r_{mZ}

Rs_j



Сложить баллы, в каждой строке

2. Вычисление **коэффициента конкордации** для оценки степени согласованности мнений экспертов:

$$W = 12 \frac{\sum_{j=1}^m [R_{s_j} - 0.5Z(m+1)]^2}{Z^2(m^3 - m)}$$

m - количество показателей;

Z - количество экспертов;

R_{s_j} - сумма рангов для показателя j .

Коэффициент конкордации изменяется в пределах
 $0 \leq W \leq 1$.

3. Нахождение **табличного значения** коэффициента конкордации W_a по таблицам распределения χ^2 при числе степеней свободы $(m-1)$ и вероятности ошибок $P_{ош}$ (обычно 0,01 - 0,05).

4. Проверка согласованности мнений экспертами.

Если $W \geq W_a$, то мнения согласованы. Переход к п.5.

Иначе необходимо изменить состав экспертов или набор показателей и провести повторную экспертизу по оценке показателей. Переход к п.1.

При отсутствии таблиц можно использовать **правило**.

Согласованность мнений экспертов считается

удовлетворительной, если $W \geq 0.5$;

если $W \geq 0.7$, то согласованность считают хорошей.

При полном согласии мнений экспертов $W=1$.

5. Расчет коэффициентов значимости показателей (значение среднего ранга)

$$K_j = r_{j_{cp}} = Rs_j / Z$$

Показатели	Эксперты					Rs _j	K _j
	1	2	3	...	Z		
1	r ₁₁	r ₁₂	r ₁₃		r _{1Z}		
2							
.....							
m	r _{m1}	r _{m2}	r _{m3}		r _{mZ}		

**Сумму
рангов
разделить
на
количество
экспертов**

6. Расчет функции выбора по каждому показателю (принимается среднее значение):

$$(X_0)_j = \sum_{i=1}^N x_{ji} / N$$

X_{ji} - значение показателя j для детали i ;
 N - общее количество объектов.

Объект	Показатель				
	1	2	3	j	m
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{1j}	X_{1m}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{2j}	X_{2m}
i	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{ij}	X_{im}
N	X_{N1}	X_{N2}	X_{N3}	X_{Ni}	X_{Nm}
$(X_0)_j$					

В каждом столбце вычисляется среднее значение показателя

7. Предварительный отбор объектов по **правилу**:

если $X_{ij} > (X_0)_j$, то объект остается в списке для принятия решения;

если **для всех** $X_{ji} < (X_0)_j$, то **объект исключается** из списка и не требует повышения надежности.

Объект	Показатель				
	1	2	3	j	m
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{1j}	X_{1m}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{2j}	X_{2m}
\underline{i}	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{ij}	X_{im}
N	X_{N1}	X_{N2}	X_{N3}	X_{Ni}	X_{Nm}
$(X_0)_j$	$(X_0)_1$				

В каждом столбце сравниваем значение показателя и его функцию выбора

8. Для оставшихся в списке объектов (количество N_1) рассчитываются **коэффициенты весомости показателей**

$$a_{ij} = X_{ij} / (X_0)_j, \quad i=1..N_1, \quad j=1..m$$

Объект	Показатель				
	1	2	3	j	m
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{1j}	X_{1m}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{2j}	X_{2m}
<u>i</u>	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{ij}	X_{im}
N	X_{N1}	X_{N2}	X_{N3}	X_{Nj}	X_{Nm}
$(X_0)_j$	$(X_0)_1$				

В каждом столбце делим значение показателя на его функцию выбора и формируем новую таблицу с коэффициентами весомости

Объект	Показатель			
	1	2	j	m
1	a_{11}	a_{12}	a_{1j}	a_{1m}
2	a_{21}	a_{22}	a_{2j}	a_{2m}
<u>i</u>	a_{i1}	a_{i2}	a_{ij}	a_{im}
N	a_{N1}	a_{N2}	a_{N1j}	a_{Nm}

9. Составление **обобщенной характеристики** объектов:

$$\beta_i = a_1 K_1 + a_2 K_2 + \dots + a_j K_j, \quad i = 1 \dots N_1$$

Коэффициенты весомости

Средний ранг

Объект	Показатель			
	1	2	j	m
1	a_{11}	a_{12}	a_{1j}	a_{1m}
2	a_{21}	a_{22}	a_{2j}	a_{2m}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
i	a_{i1}	a_{i2}	a_{ij}	a_{im}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
N	a_{N1}	a_{N2}	a_{Nj}	a_{Nm}

Показатель	Эксперты				Rs_j	K_j
	1	2	k	Z		
1	a_{11}	a_{12}	a_{1j}	a_{1m}	Rs_1	K_1
2	a_{21}	a_{22}	a_{2j}	a_{2m}	Rs_2	K_2
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
j	a_{j1}	a_{j2}	a_{jj}	a_{jm}	Rs_j	K_j
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
m	a_{m1}	a_{m2}	a_{mj}	a_{mm}	Rs_m	K_m

Для каждого объекта умножаем значение коэффициента весомости для соответствующего показателя на его средний ранг. Формируем обобщенную характеристику для каждого объекта.

Объект	β_i
1	β_1
2	β_2
\dots	\dots
i	β_i
\dots	\dots
N	β_N

10. Вычисление **средневзвешенной характеристики** объектов:

$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \beta_i}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^m a_{ij}}$$

N_1 - число объектов, отобранных предварительно.

Обобщенная характеристика

Объект	β_i
1	β_1
2	β_2
i	β_i
N	β_N

Весовые коэффициенты

Объект	Показатель			
	1	2	j	m
1	a_{11}	a_{12}	a_{1j}	a_{1m}
2	a_{21}	a_{22}	a_{2j}	a_{2m}
i	a_{i1}	a_{i2}	a_{ij}	a_{im}
N	a_{N1}	a_{N2}	a_{N1j}	a_{Nm}

Делим сумму значений обобщенной характеристики для всех объектов на сумму всех весовых коэффициентов

11. Окончательный выбор.

По каждому объекту принимается решение:

если $\beta_i > \beta_0$, то объект остается в списке и **требует повышения надежности**;

при $\beta_i < \beta_0$ решений не требуется.

Объект	β_i
1	β_1
2	β_2
i	β_i
N	β_N

Чем выше значение обобщенной характеристики объекта, тем выше его приоритет на совершенствование для повышения надежности.

Пример. Имеется совокупность машин обжимного цеха ($N=7$), по которым известны показатели надежности ($m=4$). Необходимо из всего множества выбрать объекты, требующие принятия решений по повышению надежности.

В качестве оценивающих показателей приняты:

- 1 – общее число отказов машины за период наблюдения;
- 2 – количество отказов, вызвавших простои цеха;
- 3 – время простоя цеха из-за отказов машины (ч);
- 4 – среднее время восстановления (ч).

Таблица 1 – Значения показателей надежности машин

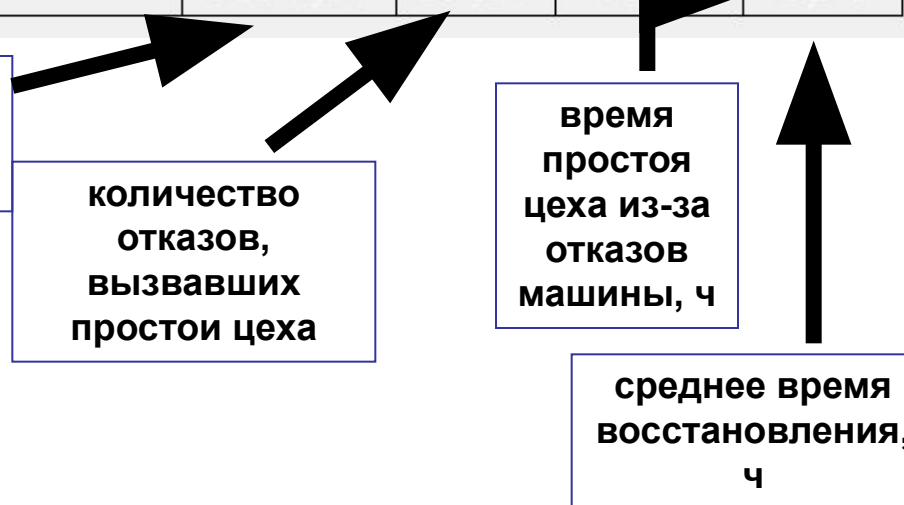
№ п/п	Машины	Показатели надежности			
		X_1	X_2	X_3	X_4
1	Шпиндельное устройство	28210	73	56,25	0,187
2	Манипулятор с кантователем	2434	158	111,33	1,3
3	Рабочий рольганг перед станом 950	1541	64	61,37	0,52
4	Слитковоз	720	12	9,15	0,84
5	Клеймитель №2	12775	29	11,05	1,2
6	Установка станинных роликов клетки 950	960	51	34,41	1,01
7	Пила роторная	1356	27	42,22	1,26
(X_0)		6857,57	59,14	46,41	0,90

общее число отказов машины за период наблюдения

количество отказов, вызвавших простои цеха

время простоя цеха из-за отказов машины, ч

среднее время восстановления, ч



Количество экспертов $Z=5$.

Таблица 2 – Матрица ранжирования показателей

Показатели	Эксперты						
	1	2	3	4	5		
X_1	2	1	2	1	3		
X_2	1	2	1	2	1		
X_3	3	4	3	3	2		
X_4	4	3	4	4	4		

Каждый эксперт выставил баллы показателям от 1 до 4.

У первого эксперта самый важный для оценки надежности показатель №2 (выставил ранг 1) - **количество отказов, вызвавших простои цеха**.

Остальные ранги по мере убывания важности показателя.

РАСЧЕТ

1. Определяем сумму рангов для каждого показателя по результатам опроса экспертов.

Показатели	Эксперты					$R_{s_j} = \sum_{p=1}^Z r_{ij}$	
	1	2	3	4	5		
X_1	2	1	2	1	3	9	
X_2	1	2	1	2	1	7	
X_3	3	4	3	3	2	15	
X_4	4	3	4	4	4	19	

Например, для первого показателя

$$R_{s_1} = 2 + 1 + 2 + 1 + 3 = 9.$$

2. Вычисляем коэффициент конкордации:

$$W = 12 \frac{\sum_{j=1}^m [Rs_j - 0.5Z(m+1)]^2}{Z^2(m^3 - m)}$$

Предварительно найдем

$$0,5Z \cdot (m+1) = 0,5 \cdot 5 \cdot (4+1) = 12,5$$

$$Z^2(m^3 - m) = 5^2(4^3 - 4) = 1500$$

$$\sum_{j=1}^4 Rs_j = 12,5$$

$$W = 12 \frac{\sum_{j=1}^4 [Rs_j - 12,5]^2}{1500}$$

$$= 12 \frac{(9 - 12,5)^2 + (7 - 12,5)^2 + (15 - 12,5)^2 + (19 - 12,5)^2}{1500}$$

$$= 0,728$$

3. Т.к. $W > 0,7$, то согласованность мнений экспертов хорошая.

Показатели	Эксперты					$Rs_j = \sum_{p=1}^Z r_{ij}$
	1	2	3	4	5	
X ₁	2	1	2	1	3	9
X ₂	1	2	1	2	1	7
X ₃	3	4	3	3	2	15
X ₄	4	3	4	4	4	19

4. Рассчитываем коэффициенты значимости показателей - значение среднего ранга.

$$K_j = r_{j_{cp}} = Rs_j / Z$$

Показатели	Эксперты					$Rs_j = \sum_{p=1}^Z r_{ij}$	$K_j = r_{j_{cp}} = Rs_j / Z$
	1	2	3	4	5		
X_1	2	1	2	1	3	9	1,8
X_2	1	2	1	2	1	7	1,4
X_3	3	4	3	3	2	15	3,0
X_4	4	3	4	4	4	19	3,8

Например, для первого показателя

$$K_1 = 9 / 5 = 1,8.$$

5. Определяем средние значения показателей – функцию выбора по каждому показателю.

$$(X_0)_j = \sum_{i=1}^N x_{ji} / N$$

№ п/п	Машины	Показатели надежности			
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	Шпиндельное устройство	28210	73	56,25	0,187
2	Манипулятор с кантователем	2434	158	111,33	1,3
3	Рабочий рольганг перед станом 950	1541	64	61,37	0,52
4	Слитковоз	720	12	9,15	0,84
5	Клеймитель №2	12775	29	11,05	1,2
6	Установка станинных роликов клетки 950	960	51	34,41	1,01
7	Пила роторная	1356	27	42,22	1,26
(X ₀) _j		6857,57	59,14	46,54	0,90

Например, для первого показателя

$$(X_0)_1 = (28210 + 2434 + 1541 + 720 + 12775 + 960 + 1356) / 7 = 6857,57.$$

6. Предварительный отбор машин.

Проверяем условие $X_{ji} > (X_0)_j$ по каждому показателю для каждой машины.

Если условие выполняется, то помечаем значение *.

Машина остается в списке.

Например, по первому показателю $28210^* > 6857.57$, $2434 < 6857.57$.

№ п/п	Машины	Показатели надежности			
		X_1	X_2	X_3	X_4
1	Шпиндельное устройство	28210*	73*	56,25*	0,187
2	Манипулятор с кантователем	2434	158*	111,33*	1,3*
3	Рабочий рольганг перед станом 950	1541	64*	61,37*	0,52
4	Слитковоз	720	12	9,15	0,84
5	Клеймитель №2	12775*	29	11,05	1,2*
6	Установка станинных роликов клетки 950	960	51	34,41	1,01*
7	Пила роторная	1356	27	42,22	1,26*
$(X_0)_j$		6857,57	59,14	46,54	0,90

Из списка исключается только **СЛИТКОВОЗ**, т.к. значения всех показателей меньше значений функции выбора.

7. Для оставшихся в списке машин ($N_1=6$)

рассчитываем коэффициенты весомости $a_{ij} = X_{ij} / (X_0)_j$ показателей и сводим в таблицу.

Таблица – Коэффициенты весомости показателей

№ п/п	Коэффициенты весомости			
	a_1	a_2	a_3	a_4
1	4,11	1,23	1,21	0,21
2	0,35	2,67	2,39	1,44
3	0,22	1,08	1,32	0,58
5	1,86	0,49	0,24	1,33
6	0,14	0,86	0,74	1,12
7	0,20	0,46	0,91	1,40

Например,

$$a_{11} = 28210 / 6857,57 = 4,11$$

№ п/п	Машины	Показатели надежности			
		X_1	X_2	X_3	X_4
1	Шпиндельное устройство	28210*	73*	56,25*	0,187
2	Манипулятор с кантователем	2434	158*	111,33*	1,3*
3	Рабочий рольганг перед станом 950	1541	64*	61,37*	0,52
4	Слитковоз	720	12	9,15	0,84
5	Клеймитель №2	12775*	29	11,05	1,2*
6	Установка станинных роликов клетки 950	960	51	34,41	1,01*
7	Пила роторная	1356	27	42,22	1,26*
	$(X_0)_j$	6857,57	59,14	46,54	0,90

8. Составляем обобщенную характеристику машин β_i .

Например, для первого объекта

$$\begin{aligned}\beta_1 &= a_{11}K_1 + a_{12}K_2 + a_{13}K_3 + a_{14}K_4 = \\ &= 4,11 \cdot 1,8 + 1,23 \cdot 1,4 + 1,21 \cdot 3,0 + 0,21 \cdot 3,8 = 13,6\end{aligned}$$

№ п/п	Коэффициенты весомости				β_i
	a_1	a_2	a_3	a_4	
1	4,11	1,23	1,21	0,21	13,6
2	0,35	2,67	2,39	1,44	17,0
3	0,22	1,08	1,32	0,58	8,1
5	1,86	0,49	0,24	1,33	9,8
6	0,14	0,86	0,74	1,12	7,9
7	0,20	0,46	0,91	1,40	9,0

Показатели	K_j : Средний ранг
X_1	1,8
X_2	1,4
X_3	3,0
X_4	3,8

9. Определяем средневзвешенную характеристику по машинам β_0 :

$$\beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \beta_i}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^m a_{ij}}$$

№ п/п	Коэффициенты весомости				β_i	
	a_1	a_2	a_3	a_4		
1	4,11	1,23	1,21	0,21	13,6	— II
2	0,35	2,67	2,39	1,44	17,0	— I
3	0,22	1,08	1,32	0,58	8,1	— V
5	1,86	0,49	0,24	1,33	9,8	— III
6	0,14	0,86	0,74	1,12	7,9	— VI
7	0,20	0,46	0,91	1,40	9,0	— IV

$$\beta_0 = (13,6+17,0+8,1+9,8+7,9+9,0) / (4,11+0,35+0,22+ \dots +1,33+1,12+1,4) = 2,46$$

10. Проверяем условие $\beta_i > \beta_0$, и устанавливаем, что требуется принятие решений по повышению надежности **для всех оставшихся машин**. Приоритетность машин следующая: манипулятор, шпиндельное устройство, клеймитель, пила, рабочий рольганг, станинные ролики.

РАБОТА №2 – файл Exp_осенка2014.xls

Microsoft Excel - exp_осенка2014

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

Введите вопрос

89%

Arial Cyr 18

H27

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
4	Таблица значений показателей						Матрица ранжирования показателей											
5																		
6								Эксперты			Сумма рангов	Средний ранг						
7	Номер объекта	X1	X2	X3	X4	X5	Показатели	1	2	3								
8	1						X1											
9	2						X2											
10	3						X3											
11	4						X4											
12	5						X5											
13																		
14	Функция выбора						Коэффициент конкордации W											
15																		
16																		
17	Коэффициенты весомости показателей																	
18																		
19																		
20	Номер объекта	X1	X2	X3	X4	X5	Обобщенная характеристика объекта	Окончательный выбор объектов										
21	1							да										
22	2							да										
23	3							да										
24	4							да										
25	5							да										
26																		
27	Средневзвешенная характеристика																	

Часть 1 \ Часть 2 /

1. Занести исходные данные – значения показателей и ранги экспертов.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
4	Таблица значений показателей						Матрица ранжирования показателей						
6								Эксперты			Сумма рангов	Средний ранг	
7	Номер объекта	X1	X2	X3	X4	X5	Показатели	1	2	3			
8	1						X1						
9	2						X2						
10	3						X3						
11	4						X4						
12	5						X5						

2. Найти сумму рангов и средний ранг.

3. Вычислить коэффициент конкордации.

Э	Н	И	Ж	К	Л	М	
Матрица ранжирования показателей							
Показатели	Эксперты			Сумма рангов	Средний ранг		
	1	2	3				
X1							
X2							
X3							
X4							
X5							
Коэффициент конкордации W							



4. Найти функцию выбора.

Таблица значений показателей						
4						
5						
6						
7	Номер объекта	X1	X2	X3	X4	X5
8	1					
9	2					
10	3					
11	4					
12	5					
13						
14	Функция выбора					
15						

Проверить условие $X_{ij} > (X_0)_j$. Предварительно отобразить объекты.

5. Вычислить коэффициенты весомости, обобщенную характеристику и средневзвешенную характеристику.

16	Коэффициенты весомости показателей							
17								
18								
19							Обобщенная характеристика объекта	Окончательный выбор объектов
20	Номер объекта	X1	X2	X3	X4	X5		
21	1							да
22	2							да
23	3							да
24	4							да
25	5							да
26	Средневзвешенная характеристика							
27								

6. Сделать вывод. Расставить приоритеты между объектами