

Канд. техн. наук О.В. Рублюк
(Ивано-Франковский национальный
технический университет нефти и газа)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

На конкретному прикладі описана методика багатокритеріальної експертної оцінки з використанням індексованих оцінок і матриць парних порівнянь. Результатом оцінки є розрахунковий рейтинг у вигляді скалярної величини, який комплексно характеризує перевагу використання порівнюваних альтернативних варіантів технічних об'єктів.

COMPARATIVE MULTICRITERION EVALUATION OF THE ALTERNATIVE VARIANTS OF TECHNICAL OBJECTS

On the specific example is submitted the application of the methodology of multicriterion expert's evaluation based on the index evaluation and the use of pair comparison matrixes. The result of the evaluation is a rating as a scalar quantity, which describes the preference of the use of alternative variants of technical objects.

В инженерной практике часто встречаются задачи, связанные с необходимостью оперативного выбора наиболее предпочтительного вида технического объекта из ряда альтернатив. Ниже рассмотрена методика, позволяющая оперативно решать указанные задачи, реализованная на примере технических объектов в виде футеровок отклоняющих шкивов шахтного многоканатного подъема.

В настоящее время создание прогрессивных типов футеровок для отклоняющих шкивов различного конструктивного исполнения является актуальной задачей. При решении этой задачи наиболее узким местом является выбор сырья, к которому в условиях рыночной экономики, наряду с высокими эксплуатационными качествами, предъявляются требования дешевизны и доступности (недефицитности). Этим требованиям в полной мере отвечает вторичное сырье в виде изношенных автомобильных шин с металлическим кордом.. В качестве варианта изготовления футеровки может быть принят способ, когда в процессе восстановления на беговой дорожке автомобильной шины формируют не протекторный рисунок, а кольцевую канавку под канат, что значительно упрощает и удешевляет процесс изготовления футеровки. Другим способом изготовления футеровки может быть способ, при котором на беговой дорожке шины вместо протектора, помимо кольцевой канавки под канат, формируют еще и дискретную (зубчатую) опорную поверхность. При этом, как показали исследования [1], наиболее высокими эксплуатационными качествами обладает зубчатая футеровка, у которой $h/l = 1,5$, где h - высота зуба, а l - длина зуба.

Зубчатая футеровка обладает следующими основными преимуществами:

1) вследствие податливости зубьев футеровки, волны динамических напряжений практически свободно проходят из одной ветви каната, охваты-

вающего шкив, в другую; при этом практически полностью устраняется влияние большого момента инерции шкива на динамику подъемного каната;

2) вследствие дискретности опорной поверхности зубчатая футеровка способна отслеживать вместе с канатом упругую деформацию последнего, что снижает износ футеровки и каната.

Любой из вновь создаваемых технических объектов может быть признан прогрессивным только на основе сравнения его эксплуатационных параметров с параметрами традиционных, широко используемых на практике объектов. Известно, что оснащение шахт новым, более совершенным оборудованием, является довольно наукоемким процессом, требующим, как правило, проведения значительного объема теоретических и экспериментальных исследований для обоснования нормативных характеристик, отражаемых в технических условиях на серийное производство. В практике же может случиться, что указанный значительный объем предварительно выполненных экспериментальных и теоретических исследований (при соответствующих значительных затратах) может оказаться невостребованным из-за отрицательных результатов промышленных испытаний.

Отсюда принятие решения об изготовлении и испытаниях какого-либо нового оборудования в шахтных условиях должно быть достаточно обоснованным с точки зрения ожидаемого положительного результата.

Такого рода задачи достаточно просто решаются на основе использования специальным образом оперативно подготовленной экспертной априорной информации, позволяющей осуществить достаточно объективную сравнительную комплексную технико-экономическую оценку альтернативных технических объектов. Выбор конкретного вида технического объекта из имеющихся альтернатив в результате проведенной экспертизы дает основание с высокой степенью вероятности ожидать успеха в промышленных испытаниях, а значит, и вполне оправданно затрачивать средства на исследования и обоснование всех его нормативных характеристик.

Технический уровень или, другими словами, интегральная функция полезности технических объектов, характеризуется суммой исходных требований, которым они должны удовлетворять.

Применительно к нашему примеру футеровка отклоняющих шкивов шахтных многоканатных подъемных машин должна удовлетворять следующим исходным требованиям, то есть должна обеспечивать:

X1 – снижение износа наружных проволок каната; актуальность этого требования в настоящее время особенно возрастает в связи с расширяющейся тенденцией применения на горнодобывающих предприятиях различных отраслей канатов с антикоррозионным (цинковым) покрытием проволок; эти канаты на мокрых стволах с шахтной агрессивной средой имеют более высокий срок службы, чем неоцинкованные канаты; вполне понятно, что эффект цинкового покрытия реализуется лишь в условиях замедленного износа наружных проволок.

X2 – снижение контактной усталости наружных проволок каната; в силу не-

избежного различия в диаметрах проточки желобов на футеровке у отдельных шкивов канаты многоканатной подъемной машины нагружаются неравномерно; различия в натяжениях приводят к перегрузке отдельных канатов до величин, сопоставимых с их разрывной прочностью при длительной эксплуатации; неравномерные нагрузки циклически повторяются, что неизбежно обуславливает усталостный характер разрушения металла проволок каната [2].

X3 – снижение динамических напряжений в канате; чем больше коэффициент трения каната по футеровке и чем меньше модуль ее упругости, тем в большей мере шкивы не пропускают волн динамических напряжений, возникающих в канатах, из одной ветви в другую; при этом резко возрастает влияние моментов инерции шкивов на динамику подъемных канатов, что, естественно, сказывается на их долговечности.

X4 – снижение изгибных напряжений в канате; податливость футеровки в радиальном и тангенциальном направлениях увеличивает радиус опорной поверхности шкива в зонах набегания и сбегания каната, что способствует снижению изгибных напряжений и, как следствие, повышению долговечности канатов.

X5 – снижение износа футеровки; быстрый износ футеровки, очевидно, ведет к увеличению объемов ремонтно-монтажных работ по её замене и, как следствие, к частым остановкам подъема; в тех же случаях, когда указанные остановки выходят за рамки нормативов планово-предупредительных ремонтов, это сказывается на производительности подъема.

X6 – повышение технологичности изготовления футеровки; в условиях рыночных отношений особое значение, наряду с повышением качества сырья, приобретают вопросы снижения его стоимости и дефицитности.

X7 – повышение безопасности эксплуатации футеровки; безопасность эксплуатации футеровки отклоняющих шкивов определяется в основном надежностью ее крепления в кольцевом пазу обода.

Приведенные выше исходные требования к футеровке отклоняющих шкивов должны обеспечиваться эксплуатационными параметрами футеровки. Очевидно, что чем полнее эксплуатационные параметры конкретного вида футеровки реализуют исходные требования, тем выше ее технический уровень.

Снижение износа наружных проволок каната обеспечивается либо низким коэффициентом трения каната о футеровку, либо способностью футеровки отслеживать вместе с канатом упругую продольно-крутильную деформацию последнего.

Снижение контактной усталости наружных проволок каната обеспечивается радиальной податливостью футеровки, что, в свою очередь, является следствием либо физико-механических свойств футеровки (модуль упругости), либо конструктивных особенностей футеровки.

Снижение динамических напряжений в канате обеспечивается способностью футеровки пропускать волны динамических напряжений, возникающих в ветвях взаимодействующего с ней каната; это является следствием либо физико-механических свойств футеровки (высокий модуль упругости, низкий

коэффициент трения), либо конструктивными особенностями футеровки.

Снижение изгибных напряжений в канате обеспечивается податливостью футеровки в радиальном и тангенциальном направлениях, что является следствием либо физико-механических свойств футеровки (модуль упругости), либо конструктивных особенностей футеровки.

Снижение износа футеровки обеспечивается либо прочностью и износостойкостью футеровки, либо дополнительно еще и конструктивными особенностями футеровки.

Повышение технологичности изготовления футеровки, в основном, обеспечивается возможностью производительного изготовления из дешевого недефицитного вторичного сырья с одновременным обеспечением ее высокого качества, а также удобства монтажа и демонтажа ее в кольцевом пазу обода.

Повышение безопасности эксплуатации футеровки обеспечивается исключением радиальной деформации футеровки в зоне заплечиков, то есть в зоне ее крепления посредством натяга.

Приведенные исходные требования, которые, по сути, должны выполнять роль критериев сравнения при выборе наиболее предпочтительного варианта из ряда альтернатив, выбирают из условия их аддитивности.

Выбор наиболее рационального варианта футеровки выполняют на основе использования матриц парных сравнений с индексированными оценками [3].

На первом этапе реализации матричного метода парных сравнений оценивают удельный вес влияния исходных требований (критериев сравнения) на технический уровень футеровки.

В процессе сравнения высококвалифицированный специалист в пределах своей области знаний может практически гарантированно обеспечить высокое качество оценки при попарном сравнении между собой любых критериев (с точки зрения их интегральной весомости влияния на функцию полезности) по схеме «больше-меньше».

Если разница между сравниваемыми критериями по степени влияния на технический уровень футеровки существенна, то более существенному критерию ставят в соответствие индексированную оценку «1,0», а менее существенному – оценку «0». Если влияние сравниваемых критериев на технический уровень футеровки различно, но разница несущественна и проявляется лишь при оценке приоритетности сравниваемых критериев для потребителя, то более существенному критерию ставят в соответствие индексированную оценку «0,75», а менее существенному – «0,25». Если разница между сравниваемыми критериями по степени влияния на технический уровень футеровки практически отсутствует, то сравниваемым критериям ставят в соответствие одинаковые индексированные оценки – «0,5».

После заполнения матрицы логического ранжирования все значения индексированных оценок в матрице суммируют построчно, а полученные значения выражают в процентных долях от общей суммы (табл. 1).

Наряду с этим осуществляют оценки критериев сравнения и в рангах с соответствующим пересчетом их в процентах. Окончательный результат оценок

определяют как среднее арифметическое между суммами индексированных оценок в процентах и соответствующими значениями в рангах. Привлечение оценок в рангах продиктовано тем, что при индексированной оценке наименее весомый критерий может получить оценку «0», а это не может отвечать реальным условиям.

Таблица 1— Матрица логического ранжирования критериев сравнения

Шифр критерия	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Всего баллов	$X_j, \%$	R_j	$\frac{1}{R_i}$	$X_j, r \%$	$X_j \text{ ср} \%$
X_1		0,5	0,75	0,75	0,25	0,25	0	2,5	11,9	4	0,25	9,7	10,8
X_2	0,5		0,5	0,75	0,25	0,25	0	2,25	10,7	5	0,2	7,7	9,2
X_3	0,25	0,5		0,5	0,25	0,25	0	1,75	8,3	6	0,17	6,6	7,4
X_4	0,25	0,25	0,5		0,25	0,25	0	1,5	7,2	7	0,14	5,4	6,3
X_5	0,75	0,75	0,75	0,75		0,75	0,25	4,0	19,0	2	0,5	19,3	19,2
X_6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,25		0,25	3,5	16,7	3	0,33	12,7	14,7
X_7	1,0	1,0	1,0	1,0	0,75	0,75		5,5	26,2	1	1	38,6	32,4
Σ								21,0	100		2,59	100	100

В нашем случае для комплексной многокритериальной оценки в качестве примера были взяты технические объекты в виде следующих видов футеровок отклоняющих шкивов: 1) Ф1 – футеровка из пресс-массы ПП-45 производства Прилуцкого завода пластмасс; 2) Ф2 – футеровка из резины типа ФО-2 производства Стахановского завода резино-технических изделий; 3) Ф3 – сплошная (с канавкой под канат) футеровка из протекторной резины; 4) Ф4 – зубчатая (с канавкой под канат) футеровка из протекторной резины

Далее по вышеприведенной методике заполняют матрицы логического ранжирования по сравнительной оценке предпочтительности применения сравниваемых видов футеровок (табл. 2).

На основании полученных оценок ($X_{i \text{ ср}}, \%$), осуществляют комплексную многокритериальную оценку каждого из альтернативных вариантов по формуле:

$$S = 0,01 \sum_{i=1}^n B_{i \text{ ср}} \cdot X_j,$$

где S – скалярная величина, которая характеризует комплексную оценку предпочтительности применения данного вида футеровки; $n = 7$ – количество исходных требований (критериев сравнения); $B_{i \text{ ср}}$ – оценка степени реализации каждого исходного требования эксплуатационными параметрами сравниваемых видов футеровок; X_j – значение удельного веса влияния каждого исходного требования (критерия сравнения) на технический уровень футеровки.

Результаты расчетов скалярных величин S для различных видов футеровок приведены в табл. 3.

Таблица 2 — Оценка степени реализации исходных требований эксплуатационными параметрами сравниваемых видов футеровок

Варианты	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Всего баллов, m	X_i, m %	R_i	$\frac{1}{R_i}$	X_i, r %	$B_{i\text{cp}}$ %
Оценка степени реализации исходного требования X1										
Ф1		0,25	0,25	0	0,5	8,3	4	0,25	12,2	10,2
Ф2	0,75		0,5	0,25	1,5	25,0	2,5	0,4	19,5	22,3
Ф3	0,75	0,5		0,25	1,5	25,0	2,5	0,4	19,5	22,3
Ф4	1,0	0,75	0,75		2,5	41,7	1	1,0	48,8	45,2
Σ					6,0	100		2,05	100	100
Оценка степени реализации исходного требования X2										
Ф1		0,25	0,25	0,25	0,75	13,7	4	0,25	13,0	13,4
Ф2	0,75		0,5	0,5	1,75	31,8	1,5	0,67	34,9	33,3
Ф3	0,75	0,5		0,5	1,75	31,8	1,5	0,67	34,9	33,3
Ф4	0,25	0,5	0,5		1,25	22,7	3	0,33	17,2	20,0
Σ					5,5	100		1,92	100	100
Оценка степени реализации исходного требования X3										
Ф1		0,75	0,75	0	1,5	25,0	2	0,5	24,0	24,5
Ф2	0,25		0,5	0	0,75	12,5	3,5	0,29	14,0	13,2
Ф3	0,25	0,5		0	0,75	12,5	3,5	0,29	14,0	13,3
Ф4	1,0	1,0	1,0		3,0	50,0	1	1	48,0	49,0
Σ					6,0	100		2,08	100	100
Оценка степени реализации исходного требования X4										
Ф1		0	0,25	0	0,25	4,2	4	0,25	12,0	8,1
Ф2	1,0		0,5	0,25	1,75	29,1	2	0,5	24,0	26,6
Ф3	0,75	0,5		0,25	1,5	25,0	3	0,33	16,0	20,5
Ф4	1,0	0,75	0,75		2,5	41,7	1	1	48,0	44,8
Σ					6,0	100		2,08	100	100
Оценка степени реализации исходного требования X5										
Ф1		1,0	0,25	0	1,25	25	2	0,5	24,0	24,5
Ф2	0		0	0	0	0	4	0,25	12,0	6,0
Ф3	0,75	1,0		0,25	1,0	20	3	0,33	16,0	18,0
Ф4	1,0	1,0	0,75		2,75	55	1	1	48,0	51,5
Σ					5,0	100		2,08	100	100
Оценка степени реализации исходного требования X6										
Ф1		0,75	0	0,25	1,0	16,7	3	0,33	16,0	16,3
Ф2	0,25		0	0,25	0,5	8,3	4	0,25	12,0	10,2
Ф3	1,0	1,0		0,75	2,75	45,8	1	1	48,0	46,9
Ф4	0,75	0,75	0,25		1,75	29,2	2	0,5	24,0	26,6
Σ					6,0	100		2,08	100	100
Оценка степени реализации исходного требования X7										
Ф1		0,5	0	0	0,5	8,3	4	0,25	13,0	10,6
Ф2	0,5		0,25	0,25	1,0	16,7	3	0,33	17,2	17,0
Ф3	1,0	0,75		0,5	2,25	37,5	1,5	0,67	34,9	36,2
Ф4	1,0	0,75	0,5		2,25	37,5	1,5	0,67	34,9	36,2
Σ					6,0	100		1,92	100	100

Таблица 3 – Значения скалярных величин S комплексной оценки предпочтительности применения сравниваемых видов футеровок

Вид футеровки	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Скалярная величина S	15,2	16,3	29,8	38,7

Наибольшее значение скалярной величины S в табл. 3 соответствует наиболее предпочтительному виду футеровки. Для повышения наглядности полученных результатов наиболее предпочтительный вид футеровки (Ф4) оценим единицей, а все остальные виды футеровок проранжируем по отношению к единице. В результате имеем:

$$\Phi 4 : \Phi 3 : \Phi 2 : \Phi 1 = 1 : 0,77 : 0,42 : 0,39 ,$$

что позволяет наглядно оценить предпочтительность применения каждого вида футеровки.

Приведенная методика, реализованная на конкретном примере, свидетельствует о высокой эффективности ее использования для оперативной сравнительной многокритериальной экспертной оценки альтернативных вариантов различных технических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рублюк О. В. Дослідження впливу типу футеровки канатних напрямних шківів на динамічні напруги в канаті // в зб.: Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ, - 2004 - №4 (13) – С. 109-112.
2. Булат А. Ф., Рублюк О. В., Иванов В. А., Печенкин В. И. Многокритериальная экспертная оценка альтернативных вариантов технических решений//Уголь Украины. – 1998. - №2. - С. 3-4.
3. Сидоренко В. А. Обоснование требований к конструкционной податливости футеровки многоканатных машин // Уголь Украины.-Киев.Техника, 1989. - С. 29-30