

УДК 621.519.245

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МОСТОВЫХ КРАНОВ**

С.Ю. Кружнова, А.Д. Фурсина

*Запорожский национальный технический университет*

*krulana@mail.ru*

Пропонується використовувати експертні системи (ЕС) для прийняття рішень по прогнозуванню залишкового ресурсу вантажних кранів використовується метод аналізу ієрархій (МАІ), оскільки він полягає в декомпозиції проблеми на більш прості складові частини, побудові матриць парних порівнянь та подальшій обробці міркувань, а в результаті синтезу значної кількості міркувань, можна одержати пріоритетні критерії та альтернативні рішення. Всі критерії попарно порівнюються один з одним на базі заданих відносних переваг та установленої шкали якісного оцінювання.

*Ключові слова: експертні системи, метод аналізу ієрархій, попарне порівняння, металоконструкція, залишковий ресурс.*

It is proposed to use expert systems (ES) when making decisions on predicting the residual operation life of load-lifting cranes. The analytic hierarchy process (AHP) was chosen as it consists in decomposing the problem into simpler components, constructing pairwise comparisons matrices and further judgment processing. As a result of the synthesis of multiple judgments priority criteria and alternative solutions can be obtained. All criteria are pairwise compared with each other on the basis of predetermined relative preferences and the established scale of quality assessment.

*Keywords: expert systems, analytic hierarchy process, pairwise comparison, steelwork, residual operation life.*

Предлагается использовать экспертные системы (ЭС) при принятии решений по прогнозированию остаточного ресурса грузоподъемных кранов. Выбран метод анализа иерархий (МАИ), т.к. он состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части, построения матриц парных сравнений и дальнейшей обработке суждений, а в результате синтеза множественных суждений, можно получить приоритетные критерии и альтернативные решения. Все критерии попарно сравниваются один с другим на базе заданных относительных предпочтений и установленной шкалы качественной оценки.

*Ключевые слова: экспертные системы, метод анализа иерархий, попарное сравнение, металлоконструкция, остаточный ресурс.*

### **Введение**

Достаточно часто мы сталкиваемся с проблемой принятия эффективного решения на основе множества критериев и при наличии множества факторов, которые необходимо учесть. В связи с этим есть потребность в методах по принятию решений, которые упрощали бы этот процесс и придавали решению большую надежность.

Из большого числа методов и исследований в этой области нами выделен метод анализа иерархий (The Analytic Hierarchy Process) известного американского ученого Т.Саати [1, 2]. Метод анализа иерархий (МАИ), начиная с 70-х годов прошлого столетия широко применялся в разных странах для определения приоритетов при проведении анализа "стоимость - эффективность", распределения ресурсов, планирования промышленности, развития энергетических ресурсов и др. В настоящее время МАИ прочно вошел теорию и практику многокритериального выбора.

В МАИ используется системный подход к решению проблем, когда оценивается воздействие различных компонент системы на всю систему и находятся приоритеты этих компонент.

Система рассматривается в терминах ее структуры, ее функций, целей, заложенных в ее конструкцию с точки зрения лица, принимающего решение или группы лиц, или, наконец окружающей среды, для которой она представляет собой подсистему.

Лицо, принимающее решение (ЛПР), сталкивается при анализе информации со сложной системой взаимозависимых элементов. В простых ситуациях эти решения принимаются на основе опыта, навыков и интуиции. С усложнением ситуаций возникает необходимость в научных методах принятия решений. Одним из таких методов является метод анализа иерархий, в котором используется собственный вектор в качестве вектора приоритетов. Преимущества иерархий:

- иерархическое представление системы позволяет увидеть, как влияют изменения приоритетов верхнего уровня на приоритеты элементов нижних уровней;

- иерархии дают подробную информацию о структуре и функции системы на нижних уровнях, а также учитывают «деловую среду» и их цели на верхних уровнях;

- иерархии устойчивы и гибки; т.е. малые изменения вызывают малый эффект, добавления к иерархии не вызывают разрушения ее характеристик;

- иерархические системы более эффективны, чем системы рассматриваемые в целом.

### **Постановка задачи**

Как известно, определение остаточного ресурса металлоконструкций грузоподъемных кранов с целью продления сроков службы, является задачей актуальной.

При принятии решения по прогнозированию остаточного ресурса грузоподъемных кранов необходим системный подход, позволяющий принимать решения в условиях, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной физической природы. Именно экспертные системы дают возможность обеспечить этот системный подход.

Экспертная система (ЭС) представляет собой компьютерную систему, в которую включены знания специалистов о некоторой проблемной области и которая в пределах этой области способна принимать экспертные решения [3, 4].

ЭС - компетентные в узкоспециальной области, располагающие машиной вывода и базой знаний (БЗ), находят широкое применение в медицине и других областях. БЗ большинства ЭС представляют собой продукционные правила типа [3]:

Если < условие >, то < действие, рекомендации, факт >.

Формализация знаний специалистов и создание БЗ является трудоемкой задачей. Ниже рассматривается метод анализа иерархий, ускоряющий создание БЗ применительно к диагностике металлоконструкций (м/к) с целью определения их остаточного ресурса.

### **Основная часть**

Метод анализа иерархий состоит в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части, построения матриц парных сравнений (МПС) и дальнейшей обработке суждений по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень взаимодействия элементов и их значимость в иерархии. МАИ включает процедуры синтеза множественных суждений, получение приоритетных критериев и нахождения альтернативных решений.

МАИ используется шкала 1-9 при сравнении объектов и построении МПС (см. табл.1).

Таблица 1. Шкала оценок

Словесное выражение предпочтений	Оценка в баллах
Очень сильная (высокая) значимость	9
Сильная значимость предпочтения	7
Средняя значимость предпочтения	5
Низкая (легкая) значимость	3
Одинаковая значимость	1

Промежуточные значения 8, 6, 4, 2 – используются как компромиссные. Если, сравнивая объект  $i$  с объектом  $j$ , получим значение  $a_{i,j}=5$ , то обратное сравнение дает  $a_{j,i}=1/5=0.2$ . Особенностью МАИ является построение многоуровневого дерева целевых критериев, содержащего уровни целей и самих критериев. Оценки целей включаются в общую взаимосвязь косвенно,

через попарное сравнение целей и критериев [5]. Сумма весов какой-либо группы критериев должна быть нормирована, то есть, равна единице.

Все критерии попарно сравниваются один с другим на базе заданных относительных предпочтений и установленной шкалы качественной оценки.

Рассмотрим  $n$  объектов для попарного сравнения. Строим матрицу парных сравнений так, что  $a_{i,j} = \omega_i / \omega_j$  и  $a_{j,i} = 1/a_{i,j}$ . Здесь  $\omega_i$  – значимость объекта (критерия)  $i$ ,  $\omega_j$  – значимость объекта  $j$ .  $a_{i,j}$  – определяет предпочтения эксперта или группы экспертов для объекта  $i$  перед объектом  $j$ . Если  $a_{i,j}$  меньше 1, то предпочтение имеет объект  $j$ . На рис.1 представлена МПС А(3,3), сверху и сбоку матрицы показаны номера сравниваемых критериев С1, С2, С3. Из матрицы [А] следует, что  $C_1$  имеет легкое (3) преимущество перед  $C_2$  по значимости. Для получения вектора приоритетов необходимо нормализовать столбцы МПС, а полученную матрицу будем называть скорректированной.

Вектор приоритетов  $\vec{w} = \{0.648; 0.23; 0.122\}^T$  -получается сложением элементов строк скорректированной матрицы и нормализации полученного решения, Т - знак транспонирования. В дальнейшем такой способ получения вектора приоритетов будем называть приближенным.

Матрица А ( $a_{i,j}$ )				Матрица А <sup>кор.</sup> = $a_{i,j} / \sum_i a_{i,j}$ Приоритеты				
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	$\sum_j a_{i,j}$	$\sum_j a_{i,j} / n = \vec{w}$
C1	1	3	5	15/23	6/9	5/8	1.94 4	<b>0.648</b>
C2	1/3	1	2	5/23	2/9	2/8	0.69	<b>0.23</b>
C3	1/5	1/2	1	3/23	1/9	1/8	0.36 6	<b>0.122</b>
$\sum_i a_{i,j}$	23/15	9/2	8/1	1	1	1	3.0	1.0

Рис. 1. Матрица парных сравнений и определение вектора приоритетов

В [1, 2] показано, что вектором приоритетов является собственный вектор МПС. Собственный вектор находится из матричного уравнения:

$$[A] * \vec{w} = \lambda_{\max} * \vec{w},$$

где [А] - МПС,  $\vec{w}$  – вектор приоритетов,  $\lambda_{\max}$  – максимальное собственное значение матрицы, которое вычисляется по формуле:

$\lambda_{\max} = \mathbf{e}^T [A] * \vec{w}$ , где  $\mathbf{e} = \{1, 1, 1, \dots, 1\}^T$  – единичный вектор, T – знак транспонирования.

Отклонение  $\lambda_{\max}$  от размерности матрицы  $n$  является мерой согласованности. Индекс согласованности [1,2]:  $ИС = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ . Если  $ИС < 0.1$ , то мы можем быть удовлетворены суждениями по МПС (при условии транзитивности).

Рассмотрим использование МАИ в экспертных системах (ЭС).

Для создания конкретной базы знаний ЭС необходимо составить список основных и вспомогательных факторов, влияющих на ресурс, целей и подцелей диагностики. Определить диапазоны и интервалы значений, которые могут принимать факторы.

Информация может быть как качественной, так и количественной. Для демонстрации использования МАИ в ЭС рассмотрим некоторое подмножество факторов и подмножество их интервалов изменения. Метод анализа иерархий охватывает одинаково как факторы, по которым возможно проведение определенных измерений, так и неосязаемые факторы, по которым требуются суждения. В результате обнаруживается, что так называемые «твердые» оценки не имеют значения сами по себе, отдельно от их утилитарной интерпретации.

Пусть, выбраны следующие факторы и интервалы: коррозия м/к в % (10-15; 5-10; 0-5), субъективная оценка состояния м/к («удовлетворительно»; «хорошо»), отношение срока эксплуатации к нормированному сроку эксплуатации (1.5-1.7; 1.2-1.5; 0.9-1.2).

Таким образом, имеем  $3 \times 2 \times 3 = 18$  продукционных правил, из которых последнее имеет следующий вид:

Если коррозия м/к составляет 0-5 %  
и состояние м/к оценивается «хорошо»,  
и относительный срок эксплуатации составляет 0.9 -1.2 ,  
то относительный остаточный ресурс равен не менее 0.3, с мерой доверия равной 0.9,  
и относительный остаточный ресурс равен не менее 0.5, с мерой доверия равной 0.6.

В рассматриваемом случае 18 правил должны дать 18 (36) ответов, некоторые из них могут совпадать.

При создании реальных ЭС необходимо составить большее число подобных правил. Но для планирования эксплуатации, ремонта и замены м/к достаточно иметь лишь некоторое ограниченное количество правил и ответов на них. Обозначим наши ответы условно 1, 2, 3, 4, где 1 – обозначает остаточный ресурс не менее 5лет с мерой доверия 0.9; 2 – обозначает тот же

ресурс, но с мерой доверия 0.7; 3 - остаточный ресурс 3 года и 4 – для определения остаточного ресурса необходима дополнительная информация. Следовательно, нам необходимо сжать 18 альтернативных ответов до четырех.

Для сжатия альтернатив рассмотрим приоритеты интервальных значений факторов, влияющих на ресурс м/к. Для построения МПС привлекаются эксперты. В таблице 2 рассматривается МПС для восьми интервальных значений трех факторов.

Собственный вектор матрицы указывает на значительные приоритеты относительного срока эксплуатации (1.5-1.7), коррозии (10%-15%), а также субъективной оценки (*удовлетворительно*). Для сжатия альтернатив используется сумма приоритетов факторов продукционного правила.

Собственный вектор  $\alpha = \{0.241; 0.063; 0.039; 0.203; 0.047; 0.266; 0.099; 0.042\}^T$  данной МПС является также вектором приоритетов поврежденности металлоконструкции.

Таблица 2. МПС для 8 факторов, влияющих на ресурс

	Коррозия в %			Оценка		Срок эксплуатац. относ.		
	10-15	5-10	0-5	удовл.	хор.	1.5-1.7	1.2-1.5	0.9-1.2
<b>10-15</b>	1.00	5.00	8.00	1.00	5.00	1.00	2.00	5.00
<b>5-10</b>	0.20	1.00	3.00	0.50	1.00	0.20	0.50	1.00
<b>0-5</b>	0.125	0.333	1.00	0.20	1.00	0.20	0.50	1.00
<b>Удовл.</b>	1.00	2.00	5.00	1.00	5.00	1.00	2.00	5.00
<b>Хор.</b>	0.20	1.00	1.00	0.20	1.00	0.20	0.50	1.00
<b>1.5-1.7</b>	1.00	5.00	5.00	1.00	5.00	1.00	4.00	8.00
<b>1.2-1.5</b>	0.50	2.00	2.00	0.50	2.00	0.25	1.00	3.00
<b>0.9-1.2</b>	0.20	1.00	1.00	0.20	1.00	0.125	0.333	1.00
$\alpha_i =$	0.241	0.063	0.039	0.203	0.047	0.266	0.099	0.042

Так, сумма приоритетов для показанного выше правила равна 0.128 и является наименьшей, наибольшая сумма приоритетов равна 0.710. Промежуточные значения должны иметь четыре интервала для четырех ответов.

На рис.2 показано дерево для 18 продукционных правил, которые представляют собой подмножество правил, рассматриваемой ЭС, но достаточное для принятия решений.

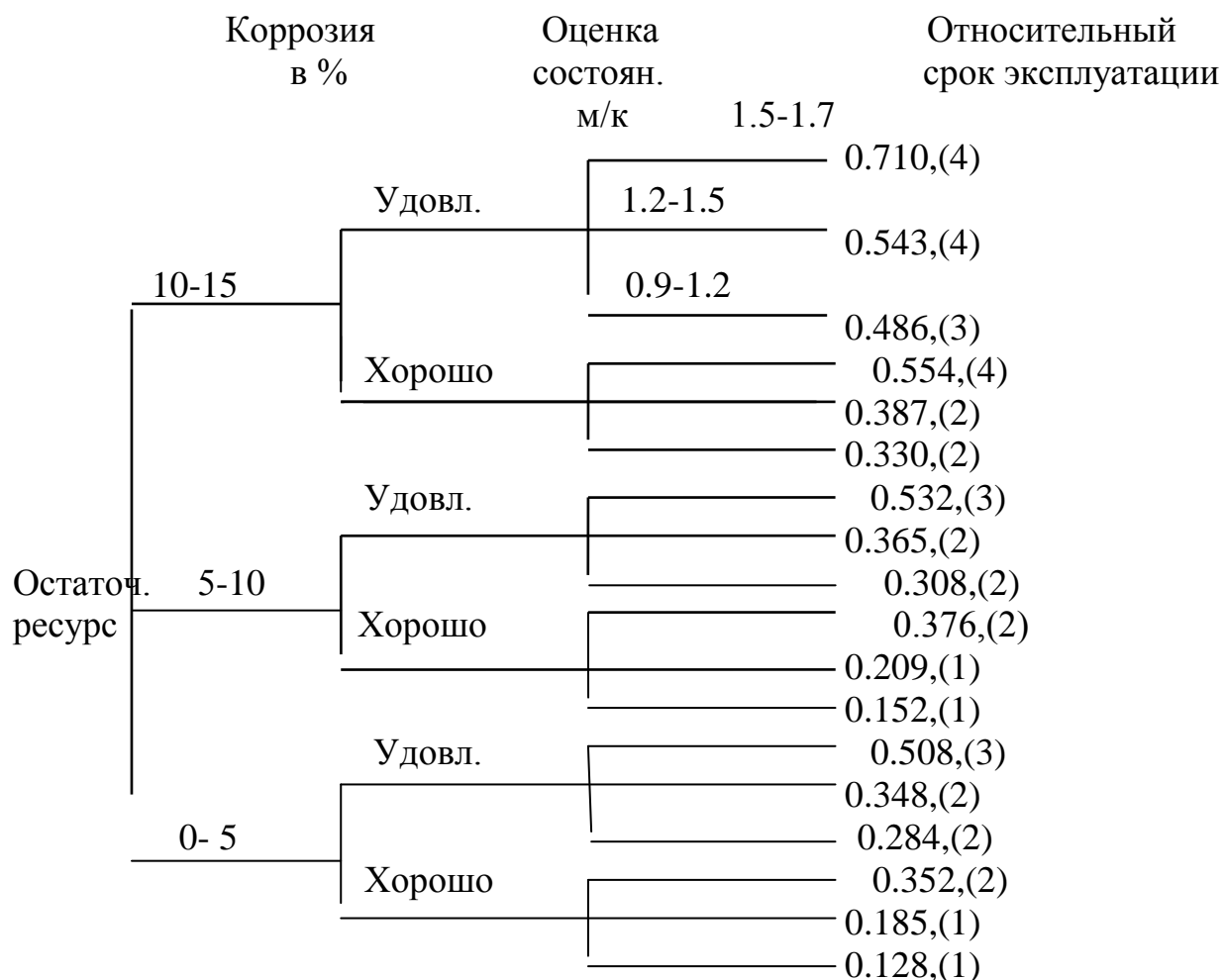


Рис. 2. Дерево правил

На концах ветвей дерева указаны суммы приоритетов. Выбор ответов соответствует равномерной разбивке на четыре интервала отрезка (0.128;0.710), где  $0.128=0.039+0.047+0.042$  (см. значения  $\alpha_i$ ).

### Выводы

Проведенный анализ с использованием МАИ показывает возможность объективизации выбора и принятия решения в такой сложной и концептуальной проблеме, как прогнозирование остаточного ресурса грузоподъемных кранов.

На основании значения компонентов вектора обобщенных приоритетов, выбран вариант, имеющий максимальную величину – 0.710.

Следует отметить, что критерий с высоким приоритетом в иерархии может иметь несколько альтернатив, по которым проводятся суждения, в то время как у критерия с низким приоритетом таких альтернатив может быть мало.

Так же, при большем числе факторов и интервалов можно получить более полный набор правил. Так, для оценки состояния металлоконструкции

необходимо рассматривать интервалы («плохо», «удовлетворительно», «хорошо») и т.д. Кроме того, МАИ в ЭС может использоваться для определения меры доверия [3] каждого правила, а также для генерации самих правил.

### **Список литературы**

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
2. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2000. 368 с.
3. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 388 с.
4. Представление и использование знаний: Пер. с япон. /Под ред. Х.Уэно, М.Исидзука. М.: Мир, 1989. 220 с.
5. Саати Т.Л. Относительное измерение и его обобщение в принятии решений. Почему парные сравнения являются ключевыми в математике для измерения неосязаемых факторов. Cloud of Science. 2016. Т.3.№ 2. С. 171-262