

5. Чередниченко А.К. Эффективность термохимической регенерации тепла в энергетической установке судна класса «река-море» [Текст]/А.К. Чередниченко, М.Р. Ткач, Б.Г. Тимошевский, А.Ю. Проскурин//Авиационно- космическая техника и технология. 2016, №81. с. 29-35.
6. Ткач М.Р. Эффективность газотурбинной установки с термодинамической и термохимической регенерацией тепла отходящих газов [Текст]/М.Р. Ткач, А.К. Чередниченко // Авиационно-космическая техника и технология. 2009, №7(64), с. 19–22.
7. Чередниченко А.К. Оценка эффективности термохимической регенерации тепла в дизель-газотурбинной энергетической установке [Текст] / А.К. Чередниченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. №2(11), 2014 р. Херсон, ХДМА. 2014. с. 89-96.
8. Чередниченко А.К. Повышение эффективности комбинированной энергетической установки термохимической регенерацией тепла [Текст] /А.К. Чередниченко, М.Р. Ткач // Авиационно-космическая техника и технология. 2015, №7(124) с. 94-99.
9. Głomski, P. Problems with Determination of Evaporation Rate and Properties of Boil-off Gas on Board LNG Carriers [Текст] / P. Głomski and R. Michalski // Journal of Polish Cimac, Energetic aspects, Vol. 6, No. 1, Gdańsk 2011, pp. 133–140
10. Dobrota, D. Problem of Boil - off in LNG Supply Chain [Текст] / D. Dobrota, B. Lalik, V. Komar // TRANSACTIONS ON MARITIME SCIENCE. 2013, 02. p. 91–100.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Q.A.Əbdülrahmanov

УДК 517.9:656.61

КАЧЕСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ РИСКА ОТКАЗА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Коваленко И.И., Швед А.В., Мандра А.В.

*Национальный университет кораблестроения, им. адм. Макарова, г. Николаев
Херсонский филиал НУК, г. Херсон
E-mail: mandra.andrev@gmail.com*

Аннотация. В работе была рассмотрена задача прогнозирования остаточного ресурса СЭУ, предложены механизмы решения многокритериальной задачи с использованием методов качественного моделирования: метода анализа иерархий (МАИ) и теории свидетельств Демпстера-Шейфера.

Abstract. The problem of predicting the residual resource of the solar system was considered. Mechanisms for solving a multicriteria problem using the methods of qualitative modeling: the hierarchy analysis method (HAM) and the Dempster-Shafer theory of evidence are proposed.

Хүлэсэ. Мягаладя эями енерэетик гурьусунун галыг ресурсунун прогнозлаидырылмасы мясялясиня бахылыб, кейфийят бахымындан моделляидирмя методларындан истифадя етмякля чохмейярлы мясялянин щялли механизми тяклиф едилиб: ийерархийаларын анализи методу вя Демстер-Шейферин шяцадятляр нязяриййси.

Ключевые слова: многокритериальная задача, ресурс СЭУ, метод анализа иерархий, ранжирование, отказоустойчивость двигателя

Key words: multicriteria task, resource of SES, method of analysis of hierarchies, ranking, fault tolerance of the engine

Ачар сюзляр: Чохмейярлы мясяля, ЭЕГ-нун ресурсу, ийерархийаларын анализ методу, ящямиййятя эоря сыраланма, мщяяррикин сырадан чыхмалара гаршы дайанаглыбы

Введение. Положительной тенденцией совершенствования технического обслуживания судов можно считать передачу сложных и трудоемких работ береговым службам (в частном случае – перенос таких работ на периоды докования и ремонта судов). Но это не обеспечивает решение проблемы в полной мере, так как судовой экипаж неизбежно должен выполнять неотложные (аварийные) и рутинные планово-предупредительные работы [2,3]. Одним из главных элементов судна является энергетическая установка (СЭУ), техническое состояние которой самым непосредственным образом влияет на его безопасную эксплуатацию. По данным работы [5] на долю СЭУ приходится 60-80% всех отказов по судну в целом. Из них отказы главных двигателей (ГД) составляют до 90%. В этой связи возрастает роль создания и внедрения методов и средств компьютерного моделирования, позволяющих в оперативном режиме выполнять диагностирование и прогнозирование различных рискообразующих факторов, которые могут приводить к аварийным ситуациям в работе различных судовых устройств.

Особую актуальность получили задачи прогнозирования остаточного ресурса СЭУ, которые уже длительный период времени находятся в эксплуатации (в частности для судовых дизелей, как многокомпонентных энергетических объектов) [1]. Следует отметить, что прогнозирование остаточного ресурса составных частей машин выполняется в соответствии с нормативными документами, которые содержат определенные расчетные формулы. Однако, такие формулы справедливы для условий монотонности процесса функционирования СЭУ и не учитывают неопределенности наступления разладок в таких процессах. Это обстоятельство заставляет исследователей идти по пути создания методов и моделей, позволяющих прогнозировать работоспособность СЭУ в условиях неопределенностей. Так например, в работах [1, 5, 6 и др.] предложены методы имитационного моделирования, дерева отказов, дерева событий и др.

Основной сложностью при использовании перечисленных методов являются трудности в определении оценок вероятностей возникновения негативных событий в элементах СЭУ. Вместе с тем, указанная задача прогнозирования может быть поставлена и решена, как многокритериальная задача поддержки принятия решения с использованием методов качественного моделирования: метода анализа иерархий (МАИ) [7] и теории свидетельств Демпстера-Шейфера [7,8].

Целью работы является разработка подхода к качественному моделированию процедур ранжирования и выбора наиболее отказоустойчивого судового дизеля на основе метода МАИ/ГДС.

Изложение основного материала. В работе [5] приводятся детали (узлы) ГД, имеющие наибольшие индексы риска (табл. 1)

Таблица 1

Детали ГД – дизелей, имеющие наибольшие индексы риска

№	Деталь (узел)	Индекс риска	
		Малооборотный дизель	Среднеоборотный дизель
1	Остов	6	10
2	Коленчатый вал	8	10
3	Головка цилиндра	6	10
4	Цилиндрическая втулка	8	8
5	Поршень	6	6
6	Рамовые подшипники	10	8
7	Шатунные подшипники	10	10
8	Топливные насосы	6	8

Предположим, лицу, принимающее решение (ЛПР) необходимо выбрать один из 4-х вариантов ГД, обладающих меньшей вероятностью отказа.

Процесс поиска лучшего выбора по методу МАИ/ГДШ можно представить в виде следующих итераций:

1. Представление задачи многокритериального принятия решений в виде иерархической структуры.

2. Выявление предпочтений экспертов: выделение подмножеств альтернатив наиболее предпочтительных среди всего множества альтернатив, в соответствии с заданными критериями / факторам.

3. Вычисление вектора приоритетов критериев / факторов.

4. Выявление степени превосходства выделенных групп альтернатив.

5. Вычисление базовых вероятностей соответствующих групп альтернатив.

6. Комбинирование базовых вероятностей выделенных подгрупп альтернатив по всем критериям. При этом, каждый из критериев принимается за независимый источник информации, в качестве правила комбинирования используется правило комбинирования Демпстера.

7. По результирующим базовым вероятностям выделенных групп альтернатив и их пересечений вычисляются функции доверия и правдоподобия и строятся интервалы доверия.

Лучшим считается тот выбор, у которого значение функции доверия и правдоподобия являются максимальными среди аналогичных значений всех интервалов.

По условию задачи имеется множество альтернатив $A = \{A_i | i = \overline{1,4}\}$ и множества факторов $F = \{F_j | j = \overline{1,8}\}$, оказывающих влияние на выбор альтернативы. Под факторами будем понимать составляющие ГД (табл. 2).

ЛПР необходимо оценить индекс риска каждого фактора рассматриваемых ГД.

Под индексом риска понимается оценка в баллах, характеризующая значимость риска, который является сочетанием вероятности возникновения и тяжести последствий опасного события (степен вероятности и тяжести последствий).

Веса факторов (табл. 2) соответственно равны:

$$V = \{0,125; 0,086; 0,104; 0,11; 0,134; 0,129; 0,14; 0,172\}.$$

Далее ЛПР необходимо выделить в соответствии с заданным фактором $F_j \in F (j = \overline{1,8})$ из множества критериев F некоторое подмножество или группу альтернатив $A_i \subseteq A$ из множества альтернатив A и назначить предпочтения выделенных подмножеств в рамках заданной шкалы отношений. Таким образом, будет сформирована система подмножеств $P_j = \{X_k | k = \overline{1,d}\}, d \leq 2^{|A|} - 1, j = \overline{1,4}$, отражающих его предпочтения $X_k \subseteq A$ относительно выбранного фактора F_j и вектор $B_j = \{b_k | k = \overline{1,d}\}$, который содержит численные значения степеней предпочтения b_k вида $X_k \supseteq A, X_k \subseteq P_j$.

Таблица 2

Степени предпочтения выделенных альтернатив по факторам

	Факторы (деталь/узел ГД)		Оценки экспертов			
			1	2	3	4
			A_1	A_2	A_3	A_4
1	A_1	Остов	5	9	6	9
2	A_2	Коленчатый вал	6	8	9	9
3	A_3	Головка цилиндра	5	7	8	9
4	A_4	Цилиндрическая втулка	8	5	7	7
5	A_5	Поршень	9	6	8	5
6	A_6	Рамовые подшипники	9	8	6	7
7	A_7	Шатунные подшипники	9	7	6	9

8	A_8	Топливные насосы	5	8	6	7
---	-------	------------------	---	---	---	---

В данном примере рассматривалась шкала (2÷9), позволяющая оценить риски по степени воздействия: 2 – игнорируемые; 3 – незначительные; 4 – слабая значимость; 5 – умеренные; 6 – существенные; 7 – значимые; 8 – оказывающие значительное влияние; 9 – критические.

Для каждой сформированной системы подмножеств $P_j = \{X_k | k = \overline{1, d}\}$ будет получен вектор $M_j = \{m_k | k = \overline{1, d+1}\}$.

В таблице 3 представлены результирующие подмножества, образованные путем пересечения выделенных экспертами подмножеств ($P_1 \cap P_2$).

Таблица 3

Степень пересечения выделенных экспертами подмножеств

Выделенные подмножества, X_j		Фактор F_1				
		$\{A_1\}$	$\{A_2\}$	$\{A_3\}$	$\{A_4\}$	$\{A\}$
Фактор F_2	$\{A_1\}$	$\{A_1\}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	$\{A_1\}$
	$\{A_2\}$	\emptyset	$\{A_2\}$	\emptyset	\emptyset	$\{A_2\}$
	$\{A_3\}$	\emptyset	\emptyset	$\{A_3\}$	\emptyset	$\{A_3\}$
	$\{A_4\}$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	$\{A_4\}$	$\{A_4\}$
	$\{A\}$	$\{A_1\}$	$\{A_2\}$	$\{A_3\}$	$\{A_4\}$	$\{A\}$

Рассчитаем для каждой группы свидетельств основные массы вероятности выделенных подмножеств исходного множества альтернатив A (табл. 4)

Таблица 4

Основные массы вероятности выделенных альтернатив

Факторы, F_i	Основные массы вероятности				
	$m(A_1)$	$m(A_2)$	$m(A_3)$	$m(A_4)$	$m(A)$
Остов(F_1)	0,1111	0,2	0,1333	0,2	0,3556
Коленчатый вал(F_2)	0,1086	0,1448	0,1629	0,1629	0,4209
Головка цилиндра(F_3)	0,1037	0,1451	0,1659	0,1866	0,3987
Цилиндрическая втулка(F_4)	0,1771	0,1107	0,1549	0,1549	0,4024
Поршень(F_5)	0,2097	0,1398	0,1864	0,1165	0,3477
Рамовые подшипники(F_6)	0,1978	0,1758	0,1319	0,1538	0,3407
Шатунные подшипники(F_7)	0,1987	0,1546	0,1325	0,1987	0,3155
Топливные насосы(F_8)	0,1336	0,2137	0,1603	0,187	0,3053

Скомбинируем основные массы вероятностей по правилу Демпстера. Результаты комбинирования представлены в таблице 5.

Таблица 5

Комбинированные основные массы вероятностей

Факторы, F_i	Основные массы вероятности					Коэф. конфликта k
	$m(A_1)$	$m(A_2)$	$m(A_3)$	$m(A_4)$	$m(A)$	
$m_{12}(\cdot)$	0,13494	0,22796	0,18799	0,24188	0,20724	0,2779
$m_{123}(\cdot)$	0,13804	0,23821	0,21727	0,27872	0,12777	0,35328
$m_{1234}(\cdot)$	0,16922	0,22486	0,23233	0,28881	0,084786	0,39359
$m_{12345}(\cdot)$	0,20498	0,22212	0,2557	0,2632	0,053909	0,45314
$m_{123456}(\cdot)$	0,22835	0,23432	0,24146	0,26121	0,034652	0,46993
$m_{1234567}(\cdot)$	0,2463	0,22885	0,22341	0,27978	0,021659	0,49531
$m_{12345678}(\cdot)$	0,22638	0,2517	0,21924	0,28919	0,013487	0,50965

По комбинированным основным вероятностям вычислим функции доверия $Bel(\{A_i\})$ и правдоподобия $Pl(\{A_i\})$ для каждой альтернативы (таблица 6).

Таблица 6

Значения функций доверия и правдоподобия для исходного множества альтернатив

Подмножества альтернатив	$Bel(\cdot)$	$Pl(\cdot)$
$\{A_1\}$	0,22638	0,23986
$\{A_2\}$	0,2517	0,26519
$\{A_3\}$	0,21924	0,23273
$\{A_4\}$	0,28919	0,30268

Из приведенных результатов видно, что наибольшие значения функций доверия и правдоподобия имеет выбор A_4 , что позволяет получить следующую ранжировку альтернатив: $A_4 > A_2 > A_1 > A_3$. Таким образом, наиболее оптимальным в плане отказоустойчивости будет четвертый двигатель.

Выводы. В работе рассмотрен подход качественного прогнозирования технического состояния судовых энергетических установок, в основе которого лежат опыт и знания экспертов (механиков, мотористов, энергетиков). Такой подход может с успехом использоваться в условиях наличия неполной информации об остаточном ресурсе судовых двигателей. Программная реализация метода МАИ/ТДШ на персональных компьютерах любой конфигурации позволит формировать рекомендации для принятия решений, направленных на предотвращение аварийных ситуаций в процессе эксплуатации судов в.

Литература

1. Бондарь С.А. Обеспечение надежности работы судовых двигателей путем корректирования остаточного ресурса работы // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. Одесса: ОНМА, 2013, вып. 19. с 18-22.
2. Горб С.И. Тенденции развития технического обслуживания судов // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. Одесса: ОНМА, 2007, вып. 12. с 26-35.
3. Горб С.И. Современный технический менеджмент судоходных компаний // Судоходство, 2007, № 1-2. с 14, №3. с 11-13.
4. Коваленко И.И., Швед А.В. Методы системного анализа в задачах морских кластеров: монография. Харьков: Изд-во «Новое слово», 2017, 268 с.
5. Румб В.К. Применение методики формализованной оценки безопасности для определения остаточного ресурса главного судового двигателя // Судостроение, 2005, №5, с 42-47.
6. Сиянский О.А. Совершенствование технического обслуживания и ремонта судовых энергетических установок на основе анализа риска // Судовые энергетические установки. Одесса: ОНМУ, 2013, вып. 19. с 43-48.
7. Beynon M.I. DS/AHP method: A mathematical analysis, including an understanding of uncertainty [Text] /M.I.Beynon//European Journal of Operational Research. 2002,vol.140. P.148-164.
8. Uzga-rebrovs o. nenoteiktiby parvaldisan [text] / o. uzga-rebrovs. – rezekne: ra izdevnieciba, 2010. vol.3. 560 lpp. isbn 978-9984-44-041-5

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Q.A.Əbdülrahmanov

УДК 629.5:621.438

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ГТД