

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ С ОСТАТОЧНЫМ РЕСУРСОМ

Международным кодексом по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (МКУБ) определены обязанности судоходных компаний по организации технического обслуживания судовых технических средств. Также Комитетом по безопасности на море и Комитетом по защите морской окружающей среды ИМО утверждено "Руководство по формальной оценке безопасности" (FSA) [1, 2], которое может быть использовано для формализованной оценки безопасности (ФОБ) различных технических и эксплуатационных решений.

В работах [3 – 5] сделана попытка дать рекомендации по выбору метода технического обслуживания (ТО) двигателей, однако они либо даны для определенных узлов, либо отдельных типов двигателей с разной наработкой без использования статистических данных по отказам оборудования.

В настоящем исследовании использована информация об интенсивности отказов судового оборудования, взятая из машинных журналов и формуляров. На основе обработки этой информации предлагается назначать метод ТО судовых среднеоборотных дизелей (СОД).

Цель работы – дать рекомендации по минимизации рисков при эксплуатации судовых СОД с малым остаточным ресурсом, путем корректировки оптимального метода технического обслуживания для конкретной группы судов, находящихся в техническом менеджменте малых судоходных компаний и испытывающих зачастую недостаток в финансировании сменно-запасных частей для судовых энергетических установок (СЭУ).

Для решения данной задачи собирались и обрабатывались статистические данные машинных журналов главных двигателей 6R32BC фирмы Wärtsilä судов типа "Измаил" за пятнадцатилетний период эксплуатации (табл. 1). Произведен расчет параметров потока отказов, причем отметим, что первые 5 + 5 + 5 лет двигатели эксплуатировались по системе непрерывного ТО [6, 7].

До 90-х годов на отечественном флоте доминировал метод непрерывного технического обслуживания и ремонта судовых технических средств. Основным руководящим документом в этой системе являлся сводный график ТО и ремонта на весь нормативный срок службы. Но

уже с середины 90-х годов значительная часть флота небольших судоходных компаний, особенно остро испытывающих финансовые трудности, стала переходить на систему технической эксплуатации, в основу которой была положена концепция "Управления технического состояния оборудования исключительно по фактическому состоянию".

Таблица 1

Определение параметра потока отказов $\omega_i(t)$ за различный эксплуатационный период основных элементов СЭУ судов типа "Измаил"

Контролируемый параметр (соответствует нумерации на рис. 1)	Параметр потока отказов $\omega_i(t)$, %, за период эксплуатации, годы			Величина $\omega_\Sigma(t)$ за весь период эксплуатации
	1 – 5	6 – 10	11 – 15	
1	0,074	0,083	0,096	0,105
2	0,058	0,072	0,079	0,089
3	0,037	0,043	0,052	0,068
4	0,026	0,031	0,036	0,041
5	0,021	0,024	0,028	0,031
6	0,015	0,016	0,019	0,021
7	0,013	0,014	0,017	0,018
8	0,030	0,033	0,039	0,041
9	0,010	0,010	0,012	0,014
10	0,007	0,008	0,008	0,010
11	0,008	0,009	0,011	0,011
12	0,014	0,016	0,018	0,021
13	0,013	0,015	0,017	0,019
14	0,009	0,009	0,012	0,014
15	0,004	0,004	0,004	0,005
16	0,007	0,007	0,008	0,009
17	0,002	0,002	0,002	0,003
18	0,018	0,019	0,021	0,025

Инструмент ФОБ (FSA), разработанный IMO, основан на заблаговременных действиях и представляет собой структурированный метод, позволяющий определить потенциально опасные ситуации заранее до возникновения аварии с тем, чтобы после этого оценить величину риска, провести оценку затрат и выгод, связанных с применением возможных вариантов управления рисками. Как принято, величина риска определяется произведением вероятности события, нарушающего функционирование механизма, на ее последствия.

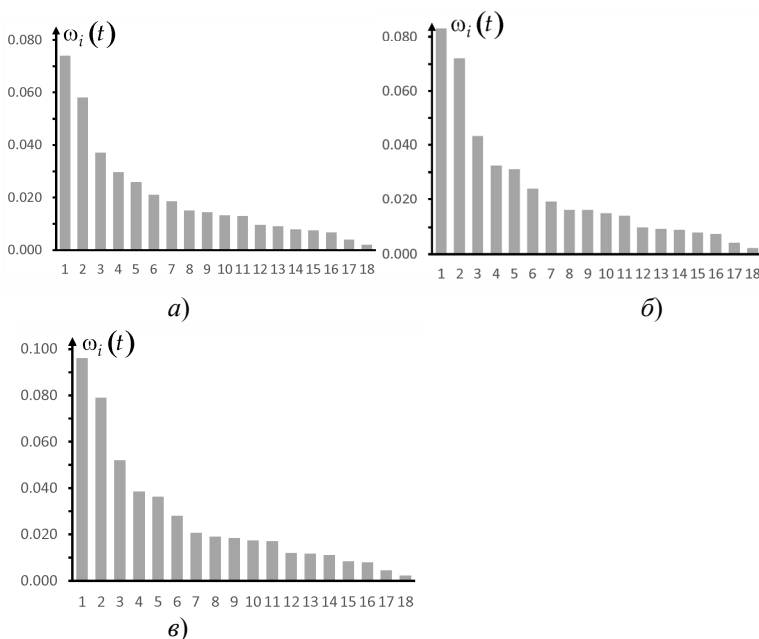


Рис. 1. Параметры потоков отказов $\omega_i(t)$ за различный эксплуатационный период работы ГД: а) 1 – 5 лет; б) 6 – 10 лет; в) 11 – 15 лет

На основании этого систематизированного анализа можно принять обоснованные решения по снижению величины риска. Критерии оценки основываются на строго установленных уровнях риска. Если риск находится в приемлемой зоне, то нет необходимости предпринимать какие-либо действия по снижению риска. Если риск находится в неприемлемой зоне, то данный элемент двигателя не может быть надежно использован и необходимо предпринять меры для уменьшения степени риска, а именно минимизировать факторы риска и их последствия, как технические, так и экономические.

Оценка рисков производится, исходя из анализа опасностей, связанных с потоком отказов механизмов в определенный период их эксплуатации.

Статистически параметр потока отказов определяется как среднее число отказов в единицу наработки:

$$\omega(t) \approx \frac{\sum_{i=1}^N r_i(\Delta t)}{N\Delta t},$$

где $r_i(\Delta t)$ – количество отказов i -го дизеля за наработку Δt ; N – количество испытываемых дизелей.

Примем условно следующую схему основных элементов среднеоборотных двигателей, отказы которых могут привести к опасным последствиям: 1 – форсунки; 2 – соединения и уплотнения; 3 – топливные насосы высокого давления (ТНВД); 4 – трубопроводы высокого давления; 5 – регулятор частоты вращения; 6 – распределительный вал; 7 – маслоохладитель; 8 – мотылевые подшипники; 9 – воздухоохладитель; 10 – система топливоподготовки; 11 – клапаны газораспределения; 12 – цилиндрические крышки; 13 – поршни и поршневые кольца; 14 – цилиндрические втулки; 15 – газотурбонагнетатель; 16 – редуктор; 17 – рамовые подшипники; 18 – упорный подшипник.

Параметр потока отказов основных элементов СОД главных двигателей WARTSILIA 6R32BC суда типа "Измаил" приведен в табл. 1.

На основании данных табл. 1 на рис. 1 построены гистограммы потока отказов основных элементов СОД, перечень и нумерация которых приведены ранее.

Вероятность наступления рискованного события P_i (рис. 2), а именно матрицы риска рассчитываются с помощью вспомогательного метода "Матрицы важности", на базе данных по параметру потока отказов за эксплуатационные периоды 5 + 5 + 5 лет соответственно.

По оси ординат отложены градации плотности вероятности выхода из строя соответствующего элемента двигателя. Градации назначались следующим образом – $P = 1$ соответствует значениям плотности вероятности $f \in [0,083]$ и определены шестибалльной шкалой. Дальнейшие значения приведены в табл. 2:

Здесь и далее плотность вероятности

$$f = \frac{q(\delta t)}{N},$$

где $q(\delta t)$ – число отказавших элементов на отрезке времени δt ; N – число всех однотипных элементов, входящих в исследуемое множество.

Значение плотности вероятности получено из известных значений параметра потока отказов $f = \omega(t) \cdot \delta t$. Рис. 2, а построен на основе значений параметра потока отказов на промежутке времени эксплуатации от одного до пяти лет ($\delta t = 5$); рис. 2, б – для промежутка эксплуатации от пяти до десяти лет ($\delta t = 5$); рис. 2, в – для промежутка эксплуатации от десяти до пятнадцати лет ($\delta t = 5$).

Значение параметра C – вероятность отказа – позволяет оценить нахождение его в матрице риска по шестибалльной шкале. Параметр C также определяет градации трудоемкости устранения отказов.

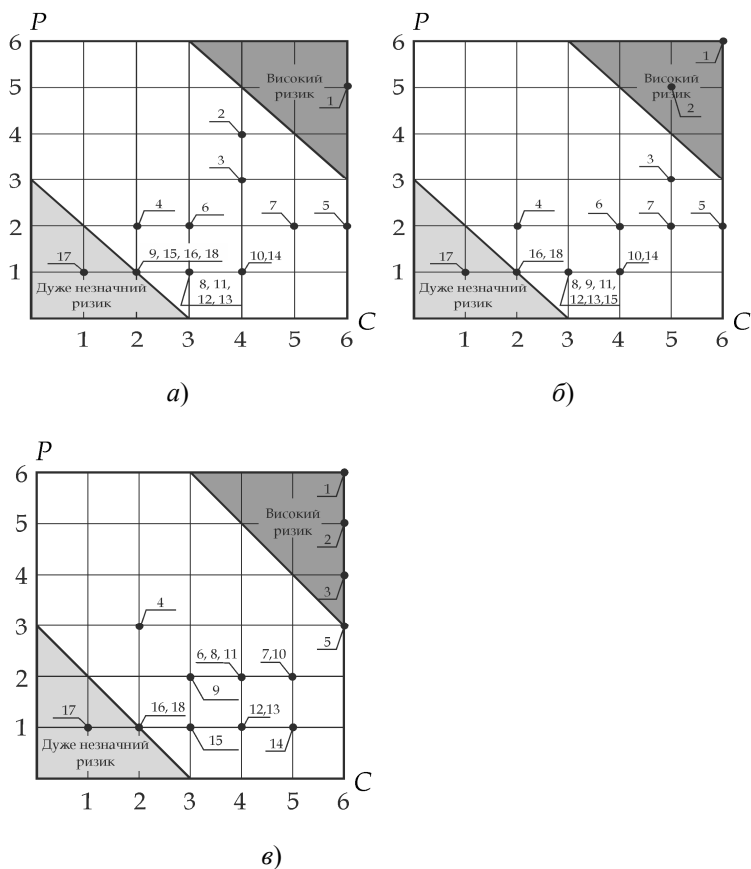


Рис. 2. Матрицы распределения вероятности рисков события за различный эксплуатационный период работы ГД: а) 1 – 5 лет; б) 6 – 10 лет; в) 11 – 15 лет

Таблица 2
Градации плотности вероятности отказа элементов двигателя

P	f
2	0,083...0,166
3	0,166...0,249
4	0,249...0,332
5	0,332...0,415
6	0,415...0,500

В табл. 3 представлены градации параметра C с соответствующими им количественными характеристиками трудоемкости ремонта T . Под трудоемкостью ремонта здесь понимается произведение средней трудоемкости одного ремонта T_1 (выраженной в чел./ч) и среднего числа отказов $q(\delta t)$ на рассматриваемом промежутке времени эксплуатации

$$T = q(\delta t) \cdot T_1.$$

Таблица 3

Градации трудозатрат в (чел./ч) по устранению отказа
элемента двигателя

C	T , чел.·ч
1	0...16
2	16...32
3	32...48
4	48...64
5	64...80
6	80 и более

Анализируя приведенные данные потока отказов (рис. 2, *а, б, в*) за период эксплуатации $5 + 5 + 5$ лет, можно отметить, что стабильно высокую вероятность наступления риска имеют отказы форсунок. В последнем пятилетнем цикле, в область высокого риска добавлены ТНВД и регулятор частоты вращения (5).

Следует отметить, что к наступлению последнего пятилетнего цикла происходит сдвиг в сторону высоких рисков по состоянию цилиндро-поршневой группы (12 – цилиндры крышки, 13 – поршни и поршневые кольца, 14 – цилиндры втулки) и ТО по план-графику должно быть ужесточено для следующего пятилетнего цикла. Тем самым, переход на менее затратную систему ТО не может быть рекомендован при текущем уровне рисков по элементам (12, 13, 14) так как отрицательные последствия данных отказов составляют свыше 53 % (табл. 4).

На основании выполненных исследований можно сделать вывод, что оценка рисков и выбор правильного метода технического обслуживания деталей и узлов СОД является действенным фактором повышения их дальнейшей безаварийной эксплуатации в течение всего жизненного цикла. Для рассмотрения и оценки данных целесообразно использовать рекомендованную ИМО ФОВ. Особенно эта оценка актуальна для критических элементов, в перечень которых входит ГД и его основные системы.

Таблица 4

Последствия отказов элементов и подсистем главных двигателей
6R32BC фирмы Wärtsila, на судах типа "Измаил"

Наименование	Средняя продолжительность простоя, час/год	Время простоя, %
Цилиндро-поршневая группа (ЦПГ)	164	53,6
Турбокомпрессор	46	15,03
Топливный насос высокого давления	36	11,76
Топливная система	16	52,28
Система охлаждения	9	2,94
Форсунка	23	7,51
Циркуляционная масляная система	8	2,6
Пуско-реверсивная система	4	1,3
Общее время простоя	306	100,0

В результате анализа полученных результатов установлено что поток отказов за период 5 + 5 + 5 лет имеет различное значение для всех рассмотренных деталей и узлов, что и обуславливает разную степень риска для двигателя:

- наибольшую вероятность риска за весь период эксплуатации имеют форсунки;

- в последние 5 лет возрастает вероятность риска для ТНВД, регулятора частоты вращения и для деталей ЦПГ (крышек, втулок, головок поршней, особенно поршневых колец). Поэтому необходимо продолжить их эксплуатировать только по системе непрерывного ТО. Отрицательные последствия данных отказов при переходе на систему по фактическому состоянию составляют свыше 53 %. Согласно заводской инструкции любого двигателя в ней четко оговаривается интервал для проведения различного непрерывного технического обслуживания.

Таким образом, для рассматриваемых форсированных судовых ДВС при малом остаточном ресурсе, переход на систему обслуживания по фактическому техническому состоянию должен быть исключен, поэтому для элементов с минимальной вероятностью риска и потока отказов необходимо использовать максимальную и возможно большую величину наработки после предыдущего ТО, а для элементов с большей вероятностью отказа и рисков – использовать строго

только минимальный интервал при очередном плановом ТО, т.е. варьировать часовым интервалом для установления баланса между безопасностью и ценой ее обеспечения.

Для остальных деталей и узлов, (которые не входят в состав критических для данного типа СЭУ) и где риски будут минимальными, можно рекомендовать применение ТО по фактическому состоянию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/TR 14121-2:2007 "Safety of machinery – Risk assessment – Part 2: Practical guidance and examples of methods". – 46 p.
2. Соколов В., Карпенко И. Риск и безаварийность плавания // Порты Украины. – 2012. – Вып. 2. – С. 32 – 33.
3. Сиянский О.А. Совершенствование технического обслуживания и ремонта судовых энергетических установок на основе анализа риска // Судовые энергетические установки. – 2013. – Вып. 19. – Одесса: ОНМА. – С. 43 – 48.
4. Медведев В.В., Семионичев Д.С. Практика создания дерева событий для СЭУ современного судна при разработке и реализации ее формализованной модели безопасности. // Морской вестник. – 2011. – № 1(37). – С. 56 – 58.
5. Горб С.И., Горб А.С. Оценка рисков в техническом менеджменте судов. // Автоматизация судовых технических средств. – 2012. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 13 – 22.
6. Бондарь С.А. Корректировка системы технического обслуживания судовых дизельных установок с остаточным ресурсом методом анализа риска // Судовые энергетические установки. – 2013. – Вып. 31. – Одесса: ОНМА. – С. 20 – 24.
7. Бондарь С.А. Обеспечение надежности работы судовых дизелей путем корректирования остаточного ресурса. // Автоматизация судовых технических средств – 2013. – Вып. 19. – Одесса: ОНМА. – С. 18 – 22.