

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

А.М. Никитин, к.т.н., доц.;
Государственная Морская Академия им. адм. С.О. Макарова

Проблема повышения эксплуатационной безопасности судна может быть решена посредством формирования программы технического обслуживания (ТО) с учетом анализа рисков. В статье рассмотрены принципы учета рисков отказов основных компонент главных судовых дизелей. Величины ущербов и частоты отказов главных судовых дизелей использованы по данным страховщиков. Сделан обзор основных руководящих документов, касающихся построения систем ТО на основе анализа рисков. Определение рисков позволяет осуществлять сравнительный анализ различных двигателей для решения проблемы сокращения возможных ущербов, а также выбора подходящего дизеля в качестве главного по принципу приемлемого риска.

В последние годы существенно возросли требования к обеспечению безопасной эксплуатации судов. Для судоходства управление безопасной эксплуатацией так или иначе сопряжено с управлением различными рисками [1]. Анализ рисков представляет собой процесс установления вероятности того или иного события и соответствующих последствий. Наступление последствий зависит от характера причинно-следственных связей и соответствующих условий, в качестве которых могут рассматриваться эксплуатационные условия, подготовленность обслуживающего персонала и т. д.

Сами по себе условия работы судна сопряжены с существенными рисками, которые могут быть усугублены неправильно принятыми решениями, в том числе в части выполнения технического обслуживания (ТО) и ремонта элементов судна и главного двигателя, в частности. Предсказание, количественная оценка и соответствующее управление техническими рисками через подходящую стратегию ТО является одним из путей ограничения эксплуатационных рисков. После идентификации рисков должны быть разработаны профилактические или смягчающие меры или то и другое, чтобы риск был уменьшен до приемлемого уровня.

В судоходстве управление процессами ТО ответственных объектов осуществляется в основном по регламентированной схеме в соответствии с принятым планом-графиком, а для остальных, очень часто, с увеличенными интервалами на основе интуитивно учитываемых последствий. При этом жесткие условия конкуренции способствуют, с одной стороны, развитию тенденции снижения расходов на ТО, а с другой — уменьшение этой статьи расходов способствует увеличению вероятности отказов, а это зачастую приводит к простоям судна.

В настоящее время постановка проблемы управления ТО на основе анализа рисков решается в практической плоскости для судов и нефтегазодобывающих платформ [2–4].

Процесс управления рисками представляет собой итерационный процесс, включающий следующие основные элементы:

- идентификацию опасностей;
- выработку критерия приемлемого риска;
- частотный анализ;
- анализ последствий;
- выработку мероприятий по уменьшению риска.

Японский исследовательский институт морского флота [5] приводит результаты пятнадцатилетнего изучения надежности механических установок судов, которые позволяют идентифицировать основные опасности их эксплуатации.

Уровни рисков могут быть определены субъективно — качественно или объективно — количественно. Оба этих метода широко используются в различных отраслях, но качественные методы оценки рисков не очень эффективны в оценке опасностей системы, хотя часто являются наиболее реально исполнимым способом оценки рисков.

В качестве основы разработки единых критериев оценок предварительно оценивают диапазоны и виды возможных ущербов, которые так или иначе могут быть связаны с выполнением или невыполнением ТО. Наибольшие ущербы связаны с простоем, утратой или ремонтом эксплуатируемых объектов, а также с загрязнением окружающей среды и травмированием людей.

На основе этих данных [5] относительное количество критических ситуаций с судном обусловлено отказами главного двигателя, которые составляют 63,85 % от общего количество отказов судовой энергетической установки судна. Отказы группы, включающей главный двигатель, обслуживающие его системы и оборудование с системами управления приводят к 84 % критических ситуаций с судном.

При установлении шкалы, с помощью которой в виду отказа присваивается та или иная категория критичности, наибольшее распространение получило определение риска как произведение вероятности наступления неблагоприятного события Q_f на его последствия C [6]:

$$R = Q_f \times C.$$

В контексте ТО, под вероятностью неблагоприятного события в общем случае понимается расчетная или опытная величина вероятности вида отказа оборудования или его компонента, полученная с использованием объективных исторических данных из информационной системы ТО или соответствующей базы данных. При этом если могут наблюдаться несколько конечных эффектов, то для получения эффективной оценки управляющее решение по ТО принимается путем рассмотрения самых высоких рисков, а их уменьшение обеспечивается сокращением вероятности и последствий отказов.

В системе ТО главного дизеля имеет смысл определить величины ущербов отказа основных его компонентов, т. к. конкретные работы по ТО

ориентированы на поддержание и восстановление ограниченного числа компонентов. При оценке величин рисков от отказов главных судовых дизелей представляют интерес данные, полученные шведским клубом страховщиков (табл. 1) [7] по исследованию страховых исков. Подобные данные обладают достаточной объективностью и обоснованностью при определении возможных ущербов от различных аварийных случаев с судном, в том числе когда существенный ущерб для главного двигателя может через цепочки связей превратиться в катастрофический ущерб для судна. Для аварийных случаев с главными двигателями средняя величина ущерба составляет 283 189 долл, и на них приходится примерно 44,7 % всех аварийных случаев с механической установкой.

Для малооборотных дизелей этот ущерб составляет 165–630 тыс. долл, а для среднеоборотных — 120–744 тыс. долл. На основе материалов исследования были определены: частота отказов главного малооборотного двигателя — 0,0389 случаев/год; главного среднеоборотного — 0,113 случаев/год, а также частоты отказов компонентов.

Частотный анализ включает не только и не столько определение частот ситуаций, а частот нежелательных случаев, которые при определенных условиях эксплуатации могут превратиться в аварийную ситуацию.

В управлении процессами ТО главного дизеля анализ рисков должен включать по крайней мере два этапа:

а) первоначальное формирование системы ТО с учетом анализа рисков, с выделением эле-

Таблица 1

Страховые претензии по элементам главных дизелей [7]

Элемент	Малооборотный дизель			Среднеоборотный дизель			В среднем		
	%	Частота отказов в год, 10^{-3}	Страховое возмещение, долл	%	Частота отказов в год, 10^{-3}	Страховое возмещение, долл	%	Частота отказов в год, 10^{-3}	Страховое возмещение, долл
ГТН	46,8	18	203 230	19,9	22	140 400	32,7	19	184 313
Втулка цилиндра	18,7	7,3	165 582	5	5,6	182 736	11,6	6,5	169 221
Рамовые и шатунные подшипники	7,9	3,1	333 185	12,1	3,7	617 424	9,9	5,4	505 759
Коленчатый вал, шатун	0,7	0,27	630 650	15,6	18	743 810	8,1	4,4	738 890
Поршень и шток	5,8	2,2	210 272	9,2	10	414 110	7,4	4,1	336 457
Выхлопные клапаны, толкатели	—	—	—	14,2	16	175 274	7	3,9	175 274
ТНВД	3,6	1,4	207 737	6,4	7,2	120 735	4,9	2,7	151 807
Редуктор	—	—	—	3	3,3	566 731	3,2	3,3	566731

ментов и работ, для которых внесение изменений в осуществление ТО требует исполнения сложной, оговоренной процедуры, а также объектов и работ, для которых предусматривается более простая процедура корректировки;

б) эксплуатационный этап постоянного улучшения системы в соответствии с международными стандартами качества как реакция на возникающие отказы или на фиксацию соответствующего технического состояния в процессе ТО. Очевидно, что должны быть заранее предусмотрены варианты управленческих решений по ТО, целью которых должно быть разумное уменьшение риска.

Широкое распространение получил способ установления категории риска с помощью матрицы риска [1–3]. Ее применение имеет существенные преимущества, поскольку позволяет ранжировать риски, которые могут быть оценены численно, и те, которые затруднительно выразить в численном выражении. В контексте связи выбора стратегии ТО с последствиями отказов важно установить ясные критерии выбора управленческого решения. В зависимости от того, какую позицию в этой матрице занимает изучаемый вид отказа, от возможностей контроля технического состояния, принимается соответствующая стратегия ТО.

Количество областей в матрице риска связано с имеющимся набором возможных управленческих решений, которые будут приниматься на основе полученных величин рисков. Вероятность или частота наступления последствия должны ранжироваться с учетом принимаемого срока службы судна, например, как это предложено в [2]:

- частое (чаще 1 раза в год);
- возможное (от 0,1 до 1 раза в год);
- редкое (от 0,01 до 0,1 случая в год);
- маловероятное (от 0,001 до 0,01 случаев в год);
- невероятное (реже 0,001 случая в год).

Величины последствий ранжируются судовой компанией исходя из имеющегося опыта эксплуатации судна.

В области недопустимых рисков могут приниматься решения так называемого разового характера, а именно — изменение системы рекомендуемых режимов работы в широком смысле (нагрузка, сорта топлив и масел, охлаждающих жидкостей, поставщиков запасных частей и т. п.), изменение конструкции элемента, отказ которого имеет высокие риски или даже его замена. Как правило, изменение конфигурации ТО для области недопустимых рисков малоэффективно, однако абсолютно исключить такие риски для эксплуатирующегося судна не всегда возможно.

Если отказы имеют незначительные риски, ТО выполняется по отказам, что противоречит действующим правилам. Фактически, на судах многие мероприятия ТО выполняются по отказам, причем без должной оценки рисков. В случае установления средних рисков их уменьшение должно осуществляться исходя из принципа экономической эффективности.

Применяя предварительный выбор различных решений на основе анализа рисков различных исходов, могут быть реализованы возможности эффективного управления безопасностью. Принципиально возможны два способа учета рисков при формировании системы ТО главного двигателя.

➤ *Первый способ* — выделить основные группы последствий отказов, например, для безопасности окружающей среды и здоровья людей, для экономического результата работы объекта (судна), включая последствия, связанные с простым и аварийным ремонтом, для затрат на ТО и запасные части; для каждой группы сформировать свою матрицу рисков. Система ТО формируется последовательно по приоритетам, рассматривая риски, связанные с безопасностью, простым и в последнюю очередь для объема ТО и требуемых запасных частей.

➤ *Второй способ* — сформировать единую матрицу рисков, в которой все риски определяются по единому правилу. Система ТО формируется с учетом рисков сразу всех последствий. Таким образом, приоритет определяется не видом последствий, а лишь величиной риска.

Основное преимущество второго способа состоит в том, что единым критерием является категория риска независимо от его вида. Это несколько упрощает процедуру. Однако, учитывая трудности количественной оценки рисков (особенно для редких случаев), установление дополнительной приоритетности все же имеет смысл особенно при формировании системы ТО. Впоследствии при ее пересмотре с учетом фактических данных риски могут быть уточнены количественно и потребность в установлении приоритетов по видам последствий отпадет.

Управление ТО с учетом рисков должно заключаться в том, что должны приниматься различные решения о сроках ТО, содержании задач ТО и др. Эффективность решения определяется сравнением величин частоты нежелательных событий и категорий рисков до и после принятия соответствующего решения.

При формировании матрицы рисков последствия отказов могут рассматриваться укрупненно. Так, ABS [2] рассматривает четыре группы. В одну группу, например, объединены последствия от нарушения пропульсивной функции и функции

управления судном. В зависимости от того, какая функция нарушена, набор возможных последствий будет различным. Выше отмечалось, что наиболее объективным критерием ранжирования рисков является их денежное выражение, но когда это сделать невозможно, следует прибегать к другой системе описателей. При этом если требуется усилить вес какого-либо вида последствий, это можно сделать через описание категории последствия.

В качестве алгоритма принятия решения по управлению процессами ТО главного судового дизеля в зависимости от величины риска может быть предложена следующая табл. 2.

Для установления категорий рисков ограничимся финансовыми последствиями отказов главных судовых дизелей, определенных данными страховщиков. Матрица рисков должна охватывать весь возможный диапазон финансовых ущербов. Она зависит от типа двигателя, судна, приносимого им дохода. Предлагаемая ниже матрица может рассматриваться как первый шаг в формировании алгоритма управления ТО главного двигателя и в дальнейшем должна уточняться на основе эксплуатационных данных. Причем такими данными должны быть в первую очередь данные о возможных ущербах из-за простоя судна, которые зависят от его коммерческого использования. Данные по отказам также должны использоваться в алгоритме совершенствования матрицы при корректировке границ категорий последствий и, соответственно, рисков.

Используя данные табл. 1, получим картину соотношения эксплуатационных рисков для главных малооборотных и среднеоборотных дизелей, представленных в табл. 3. Как видно, отказы некоторых компонентов среднеоборотных двигателей находятся в области высоких рисков, особенно это относится к коленчатым валам.

Большинство проблем с коленчатыми валами как среднеоборотных, так и малооборотных двигателей обусловлено недостаточным вниманием судовых экипажей за состоянием фундаментов и фундаментных болтов.

Как правило, об этих важнейших компонентах, определяющих безотказность дизеля, обслуживающий персонал вспоминает, когда при подготовке к освидетельствованию классификационным обществом измеряются величины раскопов, которые выходят за предельно допустимые значения. В этих ситуациях обычно состояние опорных поверхностей или амортизаторов таково, что требуется серьезный ремонт. Инструкции заводов-изготовителей не увязывают необходимость измерения раскопов коленчатого вала до и после обжима фундаментных болтов, анкерных связей, крепления крышек рамовых подшипников, а соответствующее понимание со стороны судовых механиков необходимости такой увязки часто отсутствует. Другой известной причиной повреждений коленчатых валов является отказ подшипников. Известны случаи замен коленчатых валов на судах со среднеоборотными двигателями именно из-за отказа подшипников. Еще в 1980-е годы многими пароходствами было принято решение о превентивной замене подшипников коленчатых валов независимо от их состояния при ресурсе 16–20 тыс. ч (двигатели ZV40/48, VD26), и это сразу дало положительный результат.

При модернизации системы ТО должна учитываться практика страхования судов (корпуса и машин), одним из требований которой является выполнение требований инструкции по эксплуатации. С другой стороны, построение системы ТО на основе уменьшения рисков никак не противоречит интересам страховщиков. Более того, российские нормативные документы [8, 9]

Таблица 2

Связь категории риска с принимаемым решением по управлению ТО

Категория риска	Принимаемое решение по управлению системой ТО
Недопустимый	Должны быть приняты одноразовые решения (в терминологии ABS — one-time change) в части уменьшения недопустимого риска (изменение режимов нагружения, программы вывода на режим, применяемое топливо и масло, изготовители и поставщики СЗЧ и т. п.);
Высокий	Должна быть увеличена вероятность предупреждения отказа системой ТО введением дополнительного вида ТО или уменьшением периодичности существующего ТО, мониторингом состояния, введением дополнительного контроля (учащения, если он уже есть) технического состояния и процессов изменения технического состояния, а также применением превентивной замены компонент
Умеренный	Модернизация конфигурации системы ТО на основе экономической эффективности через изменение периодичности ТО, мониторинга технического состояния
Допустимый	Выполнение ТО по отказам

Матрица финансовых рисков для главных судовых дизелей

Категория последствий	Категории рисков				
	>500 тыс. долл	◇Умеренный	Высокий	☆Высокий	Недопустимый
100–500 тыс. долл	Умеренный	◇☆Умеренный	☆Высокий	Высокий	Недопустимый
10–100 тыс.долл	Допустимый	Умеренный	Умеренный	Высокий	Высокий
1–10 тыс. долл	Допустимый	Допустимый	Умеренный	Умеренный	Высокий
<1 тыс. долл	Допустимый	Допустимый	Допустимый	Умеренный	Умеренный
	<0,001	0,001–0,01	0,1–0,01	0,1–1	>1
Частоты наступления последствий, 1/ год					

Примечание: ◇ — риски для малооборотного дизеля; ☆ — риски для среднеоборотного дизеля.

позволяют судоходным компаниям корректировать инструкции по эксплуатации, что вполне вписывается в современную практику назначения сроков ТО в инструкции по эксплуатации как ориентировочных сроков, которые могут и должны быть откорректированы реальной практикой.

Безусловно, ни одна из областей применения анализа рисков в управлении техническим использованием и ТО не может обеспечить точный учет рисков в силу ряда причин, и часто значи-

тельно упрощают связи рисков с последствиями при моделировании ситуаций. Однако сам факт существования процедур анализа рисков и связи результатов такого анализа с системой принимаемых эксплуатационных решений свидетельствует о том, что судоходная компания стоит на правильном пути в части совершенствования технической эксплуатации, что поможет ей успешно проходить освидетельствования системы управления безопасной эксплуатацией судна.

Литература

1. Система освидетельствования компаний на соответствие требованиям международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ). РМРС. — СПб., 2005. — 290 с.
2. Guidance Notes on Reliability-Centered Maintenance. ABS. Houston, 2004. — 145 p.
3. NORSOK STANDARD Z-008. Criticality analysis for maintenance purposes. Rev.2. Oslo, 2001. — 34 p.
4. Operational Risk Management. Commandant Instruction 3500.3. US Coast Guard. — 1999. — 63 p.
5. Nobuo Kiriya. Statistical Study on Reliability of Ship Equipment and Safety Management — Reliability Estimation for Failures on Main Engine System by Ship Relia-

bility Database System. Bulletin of the JIME. Vol. 29. № 2. — P. 64–70.

6. MIL-STD-1629A Military Standard Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Washington, 1980. — 80 p.

7. *Hernqvist M.* Main Engine Damage From an Insurer's Point of view. 22nd CIMAC Congress. Copenhagen. — 15 p.

8. РД 31.21.30-97 Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. ЦНИИМФ. — СПб., 1997. — 323 с.

9. РД 31.20.50-87. Комплексная система технического обслуживания и ремонта судов. Основное руководство. — М.: Мортехинформреклама. — 1988. 218 с.