

УДК 621.12.004.58

Бондарь С.А.  
ОНМА

## **КОРРЕКТИРОВКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ОСТАТОЧНЫМ РЕСУРСОМ МЕТОДОМ АНАЛИЗА РИСКА**

К началу 90-х годов на отечественном флоте в основе организации технического обслуживания доминировала система непрерывного технического обслуживания (ТО) и ремонта судовых технических средств.

Основным руководящим документом в этой системе являлся сводный график ТО и ремонта на весь нормативный срок службы, состоящий из нескольких эксплуатационно-ремонтных периодов и ремонтных циклов основных силовых установок, систем и приводов.

В частности, для главных судовых дизельных установок (СДУ) за период (периодичность) ТО или ремонта принимался интервал времени между двумя последовательными видами технического обслуживания или ремонта любого элемента СДУ. Под видом ТО или ремонта понималось техническое обслуживание или ремонт, выделяемый по одному из признаков – этапу периодичности, объему работ и др. Объем и перечень последовательного выполнения ТО дизелей устанавливает завод-изготовитель в зависимости от конструкции дизеля и количества проработанного им времени. В ТО входят: контроль за техническим состоянием, очистка от загрязнений, регулирование зазоров в сопрягаемых деталях, их замена в целях предупреждения недопустимых износов и поломок, устранение возникающих повреждений и их последствий. Все эти работы проводятся в обязательном порядке. Различают ежемесячные, ежегодные и ежедневные технические обслуживания, технические обслуживания № 1, 2, 3, 4 и 5 (ТО-1, ТО-2 и т.д.).

В пароходствах, на базе отчетов по ТО, проводился систематический сбор данных по отказам элементов СДУ, которые доводились до сведения изготовителей с целью улучшения изделий и корректировки системы ТО на судах. Метод ТО «Профилактическое техническое обслуживание» (Preventive maintenance) или обслуживание по плану определял ежемесячные, ежегодные и ежедневные ТО (ТО № 1, 2, 3, 4 и т.д.), основанные на план-графиках действий [1].

Начиная с середины 90-х годов значительная часть флота начала

переходить на систему технической эксплуатации (ТЭ), в основу которой положена концепция «Управление техническим состоянием судового оборудования исключительно по фактическому состоянию» (Predictive maintenance).

Не исключая определенную прогрессивность этого направления следует отметить, что из-за стремления судовладельцев сократить издержки в условиях жесткой конкуренции и их ограниченных финансовых возможностей для поддержания флота в должном техническом состоянии объем проводимых профилактических работ зачастую сводится к минимуму и, как правило, устраняются только полученные повреждения и выполняются работы только по выставленным классификационными обществами требованиями по освидетельствованию судна [2].

Основу механизма перевода элементов на систему ТЭ по фактическому состоянию составляют оценка и совершенствование показателей функциональной надежности, разработка нормативной базы диагностических параметров и прогностических моделей вероятности безотказности в процессе ТЭ, что предопределяет серьезный объем работ (в том числе и в судовых условиях) с использованием систем диагностики на базе компьютерной техники.

Видимая экономия средств при переходе на систему эксплуатации и ремонта «по состоянию» стала основным фактором, стимулирующим действия судовладельцев.

В целях сохранения эксплуатационной надежности судна в пределах установленного срока эксплуатации должна быть и скорректирована система ТЭ, с сторону ужесточения прежде всего по тем агрегатам и системам, отказ которых приводит к отказу пропульсивной установки или к опасному ущербу, выраженному в последующих существенных затратах на проведение непланового ТО или ремонта.

Переход к системе ТО «по состоянию» для судов, находящихся в эксплуатации, формально может быть облегчен, если в предыдущий период на них строго выполнялись все элементы ТО по план-графикам и имеются достаточные статистические данные по отказам и трудоемкости работ по возвращению к нормальному функциональному состоянию агрегата или системы.

Для судовых энергетических установок (СЭУ) судов постройки начала 90-х годов, т.е. выработавших примерно половину эксплуатационного периода по ресурсу корпуса, еще характерен так называ-

емый период «нормальной эксплуатации», но ближе к началу периода «интенсивного износа» (деградации) в значительной степени начинают проявляться признаки усталостных явлений в деталях и узлах.

Частота аварий главных и вспомогательных двигателей определяется причинами, которые вызывает механический и усталостный износ. Механический износ не является определяющим фактором для возникновения аварий, так как устраняется в эксплуатации заменой деталей, подверженных трению (вкладышей подшипников, поршневых колец и т.д.). Для усталостного износа критической является наработка, при которой достигается предел усталости при действующих нагрузках. Усталостное разрушение может произойти только вследствие экстремальных нагрузок или плохого технического обслуживания.

Гораздо чаще случаются аварии, вызванные поломками механизмов и систем, обслуживающих главные и вспомогательные механизмы (рис. 1). Особенно опасны отказы систем охлаждения забортной водой (из-за опасности затопления машинных отделений и потери хода), а также отказы в топливной системе (из-за потери хода и опасности возникновения пожара).

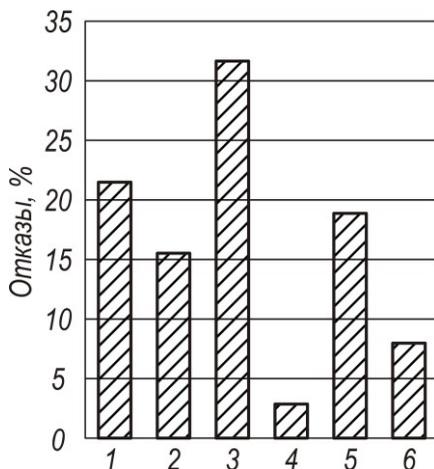


Рис. 1. Распределение основных отказов судовых дизелей (суда типа т/х «Измаил») за 15-ти летний эксплуатационный цикл, %:

1 – кривошипно-шатунный механизм; 2 – цилиндро-поршневая группа; 3 – топливная система; 4 – газоразводная система; 5 – масляная система; 6 – система охлаждения

Обеспечить безаварийную эксплуатацию судна за пределами назначенного ресурса возможно только при проведении обязательных периодических дефектаций систем, замены изношенных трубопроводов и других элементов систем [3]. Кроме того, ввиду отказа в системах охлаждения, топливной и масляной возможна автоматическая аварийная остановка главного двигателя и возникновение аварийной ситуации.

Это подтверждает и более подробный анализ отказов элементов этих систем (рис. 2).

На базе обработки статистических данных машинных журналов был произведен расчет параметров потока отказов за 15-ти летний период эксплуатации судна через каждые пять лет. Результаты данных расчетов приведены в таблице 1. По результатам таблицы 1 построены номограммы распределения параметра потока отказа  $\omega_i(t)$  за различные периоды эксплуатации СЭУ (рис. 3). Отметим, что значения  $\omega_i(t)$  за разные эксплуатационные циклы дают хорошую сходимость с величиной общего параметра потока отказов за весь эксплуатационный цикл  $\omega_{\Sigma}(t)$ , которое может быть определено по выражению

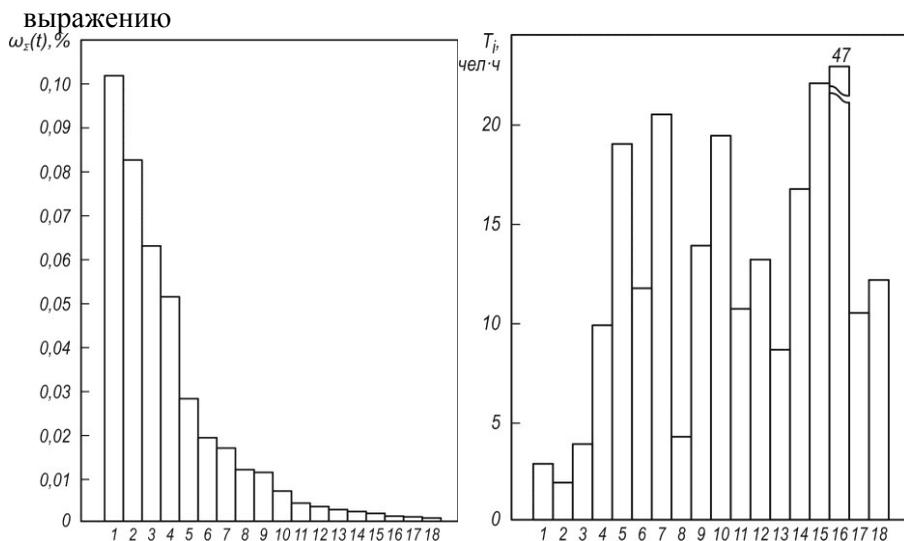


Рис. 2. Параметры потоков отказов  $\omega_i(t)$  и ранги трудоемкости устранения отказов  $T_i$  основных узлов среднеоборотного дизеля R32 (т/х типа «Измаил») за 15-ти летний эксплуатационный цикл:

1 - форсунки; 2 - соединения и уплотнения; 3 - топливные насосы высокого давления; 4 - регулятор; 5 - распределительный вал; 6 - мотылевые подшипники; 7 - клапаны газораспределения; 8 - трубопроводы высокого давления; 9 - цилиндрические крышки; 10 - газотурбонагнетатель; 11 - цилиндрические втулки; 12 - воздухоохладитель; 13 - система топливоподготовки; 14 - поршни и поршневые кольца; 15 - рамовые подшипники; 16 - редуктор; 17 - упорный подшипник; 18 - маслоохладитель

Таблица 1. Определение параметра потока отказов  $\omega_i(t)$

Контролируемый параметр (согласно с нумерацией на рис.2)	Параметра потока отказов $\omega_i(t)$ , % за различный 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	0,0845
3	0,037	0,043	0,052	0,053
4	0,035	0,042	0,049	0,051
5	0,021	0,024	0,028	0,029
6	0,015	0,016	0,019	0,021
7	0,013	0,014	0,017	0,018
8	0,01	0,011	0,013	0,014
9	0,0095	0,01	0,012	0,0135
10	0,0062	0,0065	0,007	0,0085
11	0,0037	0,0043	0,0052	0,0053
12	0,0025	0,0028	0,0035	0,0035
13	0,0022	0,0025	0,0032	0,0032
14	0,0021	0,0022	0,0027	0,0030
15	0,00195	0,00205	0,0022	0,0027
16	0,0016	0,00175	0,0019	0,0022
17	0,00097	0,00104	0,00113	0,00135
18	0,00066	0,00068	0,00074	0,00091

$$\omega_{\Sigma}(t) = \sum_1^i \left( \omega_i(t) \frac{i^{i+1}\sqrt{i}}{i^i} \right),$$

где  $i$  – цикл проведения измерений.

Тогда, для рассмотренного периода эксплуатации и трех циклов определения  $\omega_{\Sigma}(t)$  (за 1÷5, 6÷10, 11÷15 годы), получим выражение

$$\omega_{\Sigma}(t) = \omega_1(t) + \omega_2(t) \frac{\sqrt[3]{2}}{2^2} + \omega_3(t) \frac{\sqrt[4]{3}}{3^3}.$$

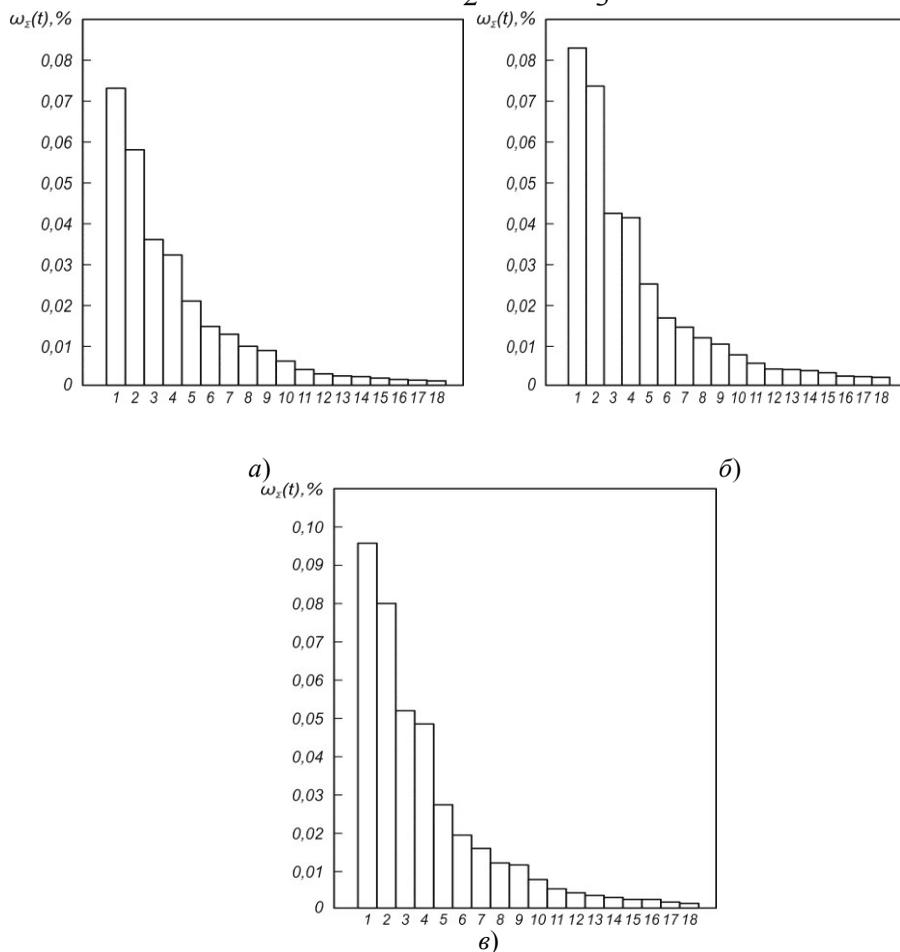


Рис. 3. Параметры потоков отказов  $\omega_i(t)$  за различные эксплуатационные пе-

риод работы СЭУ: а) 1÷5 годы; б) 6÷10 годы; в) 11÷15 годы  
1 - форсунки; 2 - соединения и уплотнения; 3 - топливные насосы высокого давления; 4 - регулятор; 5 - распределительный вал; 6 - мотылевые подшипники; 7 - клапаны газораспределения; 8 - трубопроводы высокого давления; 9 - цилиндрические крышки; 10 - газотурбонагнетатель; 11 - цилиндрические втулки; 12 – воздухо-охладитель; 13 - система топливоподготовки; 14- поршни и поршневые кольца; 15 - рамовые подшипники; 16 - редуктор; 17 - упорный подшипник; 18 - маслоохладитель

С целью исключения субъективного подхода к изменению (ужесточению) существующей системы ТО или перехода к системе «по состоянию» для СЭУ с остаточным ресурсом следует применить процедуру «Руководства формализованной оценки безопасности (FSA – Formal Safety Assessment), направленную на повышение безопасности морского судоходства. FSA – это инструмент (предписание) для разработки Правил ИМО на основе оценки риска, связанного с судоходством, утвержденный в 2002 г. Комитетом по безопасности на море (MSC) и комитетом по защите окружающей среды (MERC).

Формальная оценка безопасности (ФОб) – системный подход к оценке риска, который возникает в морской практике, а также к оценке связанных затрат и выгод от альтернативных решений, которые могут рассматриваться для понижения уровня риска. ФОб предполагает следующие этапы:

- идентификация опасностей;
- анализ риска;
- способы управления риском;
- оценка стоимости и экономии при принятии способов управления риском.

Инструмент ФОб (FSA) 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 и, на основании систематизированного анализа, принять обоснованные решения по снижению величин риска.

Количественную оценку риска возникновения аварийной ситуации предлагается определять как связь между элементом СЭУ и экономическими показателями по его недопущению, т.е. необходи-

мо оценить «стоимость безопасности» отказа для судна. Например, в работе [4] предложена формула

$$R = \sum P_i \cdot \left( \sum a_{ik} \cdot C_k \right),$$

где  $P_i$  – вероятность наступления рискованного события;

$C_k$  – стоимость  $k$ -го последствия аварии (величина потерь);

$i$  – категория опасности;  $k$  – категория ущерба (потерь);

$a_{ik}$  – весовой коэффициент  $k$ -го последствия при воздействии  $i$ -ой опасности.

Вероятность наступления рискованного события  $P_i$  обычно оценивается статистическими данными об отказах СЭУ за определенный период времени с последующим распространением этих данных на будущий срок эксплуатации.

Для главного двигателя и систем охлаждения, топливной и масляной возможно установить следующие категории ущерба:

- критический ущерб – авария судна или как минимум вывод его из эксплуатации на аварийный ремонт, что является недопустимым риском;

опасный ущерб – выполнение непланового ТО или ремонта главного двигателя в объеме, превышающем резерв бюджета обслуживания СЭУ, что понимается как высокий риск;

- существенный ущерб – выполнение непланового ТО или ремонта других систем СЭУ в объеме, превышающем резерв бюджета обслуживания энергетической установки, что является умеренным риском;

- значительный ущерб – ущерб, не превышающий резерв бюджета обслуживания энергетической установки, что является низким риском.

Соответственно, план работы по ТО вводимой системы должен учитывать не только требования инструкций заводов-изготовителей, но и включать работы, имеющие максимальные риски – недопустимый и высокий.

Принципиальная схема управления риском в системе ТО для СЭУ с остаточным ресурсом приведена на рис.3.

- Представленная схема позволяет предположить три метода управления риском в системе ТО для СЭУ с остаточным ресурсом.

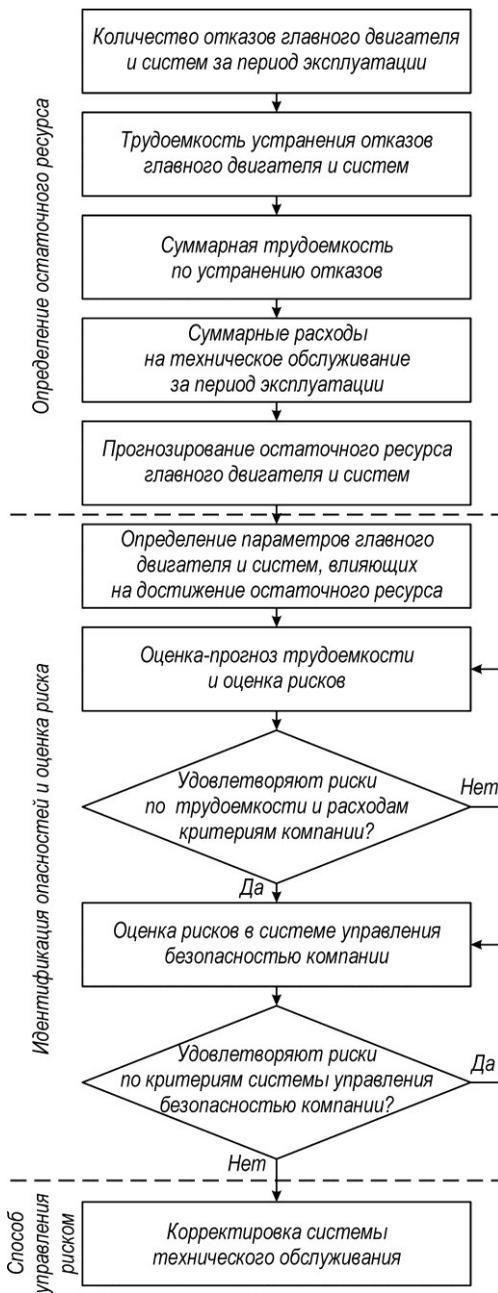


Рис. 3. Схема управления рисками

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Никитин А.М. Определение параметров матрицы рисков для формирования и совершенствования системы технического обслуживания судовой энергетической установки // Эксплуатация морского транспорта, науч.-техн. сб. – 2010, № 1 (59). – СПб.: ГМА им. адм. С.О. Макарова. – С.51-54.
2. Горб С.И., Горб А.С. Оценка рисков в техническом менеджменте судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2012. – Вып. 18. Одесса: ОНМА. – С. 13 – 22.
3. Голиков А.А., Дмитриев М.Н. Совершенствование технической эксплуатации судовой энергетической установки посредством метода управления риском // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2005. – Вып. 12. – Одесса: ОНМА. – С. 94 – 102.
4. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.