

УДК 621.431.74

Лалетин Е. Л.
ОНМА

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Для поддержания соответствующего уровня надежности дизелей, в эксплуатации применяются различные мероприятия, одним из которых является установление и применение оптимальной периодичности технического обслуживания (ТО). Согласно действующей на морском флоте системе непрерывного технического обслуживания разборку двигателей и механизмов судовой энергетической установки для профилактического осмотра и ремонта следует производить через определяемые интервалы времени (по величине наработки), указанные в документации. Однако, в настоящее время все еще существуют расхождение между осуществляемой на практике и предусмотренной план-графиками периодичностью технического обслуживания. Вместе с тем, имеющийся статистический материал позволяет достаточно обоснованно определять периодичность технического обслуживания путем ее оптимизации по минимуму затрат.

Вопросы совершенствования системы ТО и ремонта рассматриваются в многочисленных источниках, например в [1] – [6], что указывает на актуальность данной проблемы. Так, в работе [1] указывается на необходимость применения уровня надежности и эксплуатационной технологичности судовой техники, характеризующей безотказность и долговечность судовых элементов, их приспособленность к выполнению технологических операций технического обслуживания и ремонта. Этот уровень предлагается определять по критерию минимальных среднегодовых совокупных затрат на постройку, ТО и ремонт, отнесенных к одному году нормативного срока службы судна. В работе [2] указывается на недостатки проведения мероприятий по ТО и ремонту дизелей с периодичностью, установленной на основе нормативных документов.

Ниже рассматриваются методы установления оптимальной по затратам периодичности ТО для главных малооборотных дизелей. При этом анализ информации о надежности их элементов показывает, что в некоторых случаях элементы двигателя достигают предельного уровня технического состояния прежде выработки ими уста-

новленного срока между вскрытиями, что повышает вероятность отказов. В других случаях элементы после выработки установленного срока между вскрытиями сохраняют значительную долю своей работоспособности. Следовательно их преждевременная разборка вызывает излишние трудовые и материальные затраты, изменяет характер приработки и снижает надежность.

Суммарные затраты на техническое обслуживание можно разделить на две части: первую- на не запланированные работы, вызванные внезапными отказами; вторую- на ТО по план- графикам. Оптимальным временем назначения ТО будет такое, при котором суммарные затраты на поддержании дизеля в безотказном состоянии будут минимальными.

В качестве критерия для оценки оптимальной периодичности ТО дизелей принята функция:

$$C_3(\tau) = \frac{\sum C_{3\text{то}}}{n_0 P(\tau) \tau}, \text{ у.е./ч} \quad (1),$$

где $\sum C_{3\text{то}}$ - совокупные затраты (на ТО и вызванные простоями судна вследствие отказов), отнесенные к некоторому установленному периоду времени: году или эксплуатационно-ремонтному циклу ;
 n_0 - количество единиц некоторого элемента дизеля, подлежащие ТО в этот же период;

τ - наработка дизеля;

$P(\tau)$ - вероятность безотказной работы.

Функция $C_3(\tau)$ выражает затраты, проходящие на обеспечение одного часа безотказной работы данного элемента дизеля в границах установленного периода.

В величину $\sum C_{3\text{то}}$ входят затраты, вызванные непредусмотренными план- графиком (неплановыми) работами $C_{3\text{а}}^*$ и на плановые работы $C_{3\text{пр}}$, включающие устранение нормального износа или «неявного» отказа (обнаруживаемого во время проведения ТО);

$$\sum C_{3\text{то}} = C_{3\text{пр}} + C_{3\text{а}}^*, \text{ у.е.} \quad (2)$$

$$C_{3\text{пр}} = C_{33} + S_{\text{пр}}, \text{ у.е.} \quad (3)$$

Сюда входят затраты:

C_{33} - на замену отказавшего узла,

$S_{\text{пр}} = A_{\text{тр}}$. Втр- на профилактические работы, где $A_{\text{тр}}$ - трудоемкость профилактических работ, определяемая по статистическим данным;

$V_{\text{тр}}$ - стоимость одного чел. часа

Затем:

$$C^*_{3A} = C^*_{3B} + C_{33}, \text{ у.е.}, \quad (4)$$

Причем, затраты на вынужденную остановку судна

$$C^*_{3B} = C_d \tau_{\text{вм}}, \text{ у.е.}, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{вм}}$ – время вынужденной остановки судна в море ;

C_d – средняя доходная ставка судна в час.

Как видим, в данном случае, в затраты на вынужденную остановку не вошла вероятность отказа элемента в море вследствие того, что при построении модели оптимизации технического обслуживания сделано допущение: постепенные отказы, устраняемые преждевременно (не по графику) на берегу, могли бы перейти во внезапные, аварийные отказы, влекущие остановку судна в море. Поэтому принято для обеспечения «запаса прочности», что все unplanned отказы происходят в море.

Замены деталей вследствие «неявного» отказа или нормального износа могут происходить также при плановом техническом обслуживании. Поэтому в затратах на плановые работы (3), включением C_{33} также обеспечен запас прочности.

Общие материальные затраты на обеспечение работы некоторого элемента двигателя в течение времени τ :

$$\Sigma C_{3\text{то}}(\tau) = C_{3\text{пр}} n_{\text{опр}} + C^*_{3A} n_{0A} = C_{3\text{пр}} n_0 P(\tau) + C^*_{3A} n_0 [1 - P(\tau)], \text{ у.е.}, \quad (6)$$

где $n_{\text{опр}} = n_0 P(\tau)$; $n_{0A} = n_0 [1 - P(\tau)]$ - соответственно количество предусмотренных и непредусмотренных план-графиком работ за время τ .

Подставляя выражение (6) в (1), получим:

$$C_3(\tau) = \frac{C_{3\text{пр}} n_0 P(\tau) + C_{3A} n_0 [1 - P(\tau)]}{n_0 P(\tau) \tau} = \frac{C_{3\text{пр}} P(\tau) + C_{3A} [1 - P(\tau)]}{P(\tau) \tau}, \text{ у.е. /ч} \quad (7)$$

Заменим $C_{3\text{пр}}$ и C_{3A} их выражениями (3) и (4), тогда

$$C_3(\tau) = \frac{(C_{33} + S_{\text{пр}}) P(\tau) + (C_{33} + C_{3B}) [1 - P(\tau)]}{P(\tau) \tau}, \text{ у.е. /ч}$$

Обозначим:

$$Z_1 = \frac{C_{33} + S_{\text{пр}}}{C_{33}}; \quad Z_2 = \frac{C_{33} + C_{3B}}{C_{33}}$$

$$\text{Тогда:} \quad \frac{C_3(\tau)}{C_{33}} = \frac{Z_1 P(\tau) + Z_2 [1 - P(\tau)]}{P(\tau)}, \text{ 1/ч} \quad (8)$$

Окончательно:

$$C_3(\tau) = C_{33} \left(\frac{Z_1 - Z_2}{\tau} + \frac{Z_2}{P(\tau)\tau} \right), \text{ у.е. /ч} \quad (9)$$

Если по выражению (9) для каждой детали исследуемых дизелей определить значение функции $C_3(\tau)$, то оптимальный период будет соответствовать наименьшему значению этой функции.

В качестве примера приведем расчет оптимальной периодичности технического обслуживания выхлопных клапанов двигателей

7ДКРН 74/160. По формуле $P(\tau) = \exp[-(\frac{\tau}{a})^b]$, соответствующей за-

кону распределения Вейбулла и найденными значениями $a=1400$ и $b=1,2$ для интервалов времени в 0,25 тыс. часов определены значения вероятности безотказной работы $P(\tau)$.

$\tau, 10^3$	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,0	2,25	2,50
$P(\tau)$	0,870	0,725	0,593	0,478	0,381	0,301	0,236	0,184	0,142	0,110

Для расчета отношения $C_3(\tau) / C_{33}$ использована формула (9). Для данного случая: $Z_1=1,154$; $Z_2=1,511$; $C_{33}=229$; $Z_1 - Z_2 = -0,357$.

Путем подстановки исходных данных в формулу (9) для первого интервала найдено:

$$C_3(\tau) / C_{33} = -0,357 / 0,25 + 1,511 / 0,218 = 5,502;$$

$$C_3(\tau) = 5,502 * 229 = 1259 \text{ у.е./ч}$$

Для всех интервалов получены следующие значения $C_3(\tau)$;

$\tau, 10^3 \text{ч}$	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,0	2,25	2,5
$C_3(\tau), \text{у.е./ч}$	1259	790	669	642	660	711	790	901	1046	1234

На рис.1 для данного примера приведена графическая зависимость $C_3(\tau) = f(\tau)$.

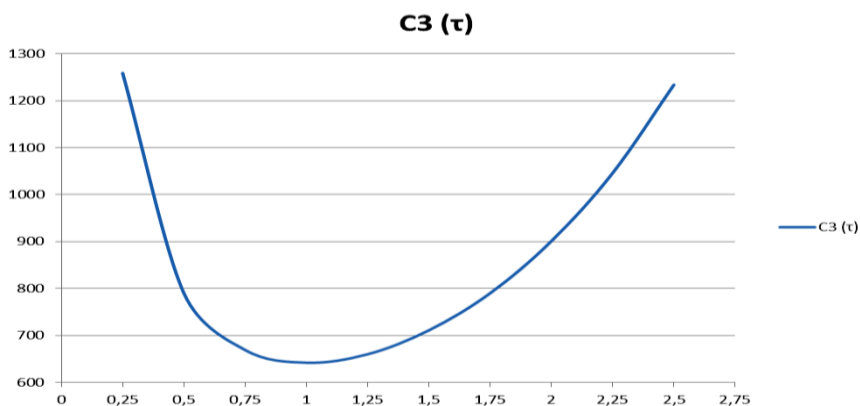


Рис.1. График зависимости $C_3(\tau) = \hat{f}(\tau)$.

Оптимальную периодичность технического обслуживания можно также определять по регрессионной зависимости функции $Z_3 = \tau_{\text{опт}} / \tau_{\text{ср}}$ от аргумента $Z_4 = C_{\text{зпр}} / C_{\text{зА.}}$.

Здесь $\tau_{\text{ср}}$ - средняя наработка детали между отказами.

На рис.2 показано расположение экспериментальных точек (соединенных ломанной линией) и теоретическая линия регрессии, построенная по уравнению, которое определено с помощью метода наименьших квадратов:

$$Z_3 = 0,328 + 0,653Z_4 . \quad (10)$$

Эта зависимость позволяет находить оптимальный период технического обслуживания двигателей новых судов данной серии или прогнозировать его для последующих модификаций. При этом отношение $C_{\text{зпр}} / C_{\text{зА.}}$ принимается постоянным, а определяющим является изменение средней наработки между отказами:

$$\tau_{\text{опт}} = Z_3 * \tau_{\text{ср}} . \quad (11)$$

Рассчитав $\tau_{\text{ср}}$ и определив по величине Z_4 (рис.2) значение Z_3 , находим оптимальный период технического обслуживания - $\tau_{\text{опт}}$.

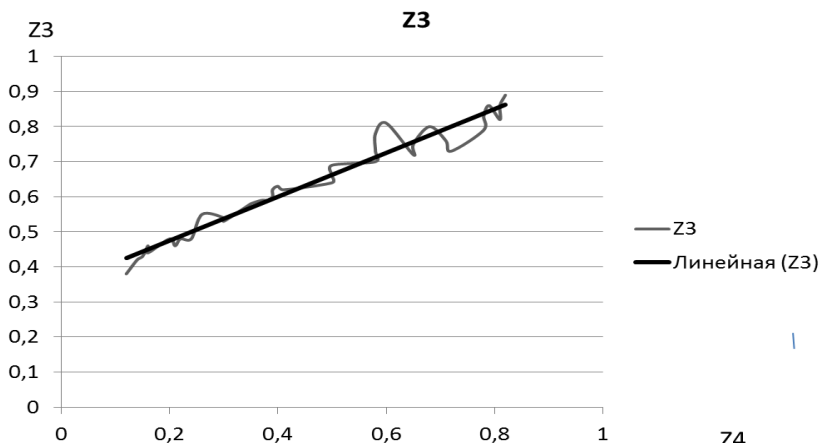


Рис.2. График зависимости $Z3 = \hat{f}(Z4)$

Полученные значения $\tau_{\text{онт}}$ должны быть откорректированы по методу кратности, согласно которому периодичность выполнения более сложной работы, например моточистки, должна быть кратной периодичности более простых работ (по клапанам, подшипникам и т.п.).

Использование приведенной выше методики позволяет корректировать план-графики проведения технического обслуживания дизелей, планировать расход сменно-запасных частей, минимизировать суммарные затраты на поддержание дизелей в безотказном состоянии, повышать надежность их работы и эффективность эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов В.С., Гальперин М.М. Управление технической эксплуатацией морского флота. М.: Транспорт, 1987. 298с.
2. Гальперин М.М. Система технического обслуживания и ремонта морских судов. М.: Транспорт, 1981. 302с.
3. Лаханин В.В., Мхиторян В.И. Техническое обслуживание и ремонт флота. М.: Транспорт, 1978. 182с.
4. Мозгалеvский А.В., Калявин В.Г. Системы диагностирования судового оборудования. Л.: Судостроение, 1982. 140с.
5. Овсянников М.К., Петухов В.А. Эксплуатационные качества судовых дизелей. Л.: Судостроение, 1982. 202с.
6. Трунин С.В., Промыслов Л.А., Смирнов О.Р. Надежность судовых машин и механизмов. Л.: Судостроение, 1980. 192с.