

## О КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РЕСУРСА НАСОСОВ СИСТЕМ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Б.П. Башуров, д.т.н., проф., Д.С. Тормашев, асп.;  
Морская государственная академия имени Ф.Ф. Ушакова

Рассмотрен потенциальный ресурс насосов систем судовых дизелей с позиций уровней их функциональной надежности на различных стадиях «жизненного» цикла. Представлены идеальная и реальная модели, а также критерий оценки потенциального ресурса в пределах межремонтного эксплуатационного периода. Дана сравнительная оценка его расходования применительно к насосам, эксплуатируемым в различных системах.

Для обеспечения нормального функционирования судовых дизелей (СД) необходима периодическая оценка функциональной надежности (ФН) обслуживающих систем и их оборудования, а также своевременное выполнение технического обслуживания (ТО) и ремонта.

Одним из основных элементов, определяющих ФН систем судовых дизелей (ССД) являются насосы. Их «жизненный цикл» (ЖЦ) охватывает период от конструкторской идеи до капитального ремонта (или его списания) в связи с моральным износом и включает стадии проектирования, технологического изготовления и технической эксплуатации (ТЭ) [1]. Для каждой стадии характерен свой уровень ФН. На первой стадии он определяется конструктором в соответствии с предъявляемыми требованиями ( $H_{пр}$ ); на второй — совершенством технологических процессов и уровнем квалификации технологов ( $H_{тех}$ ); на третьей — в значительной степени зависит от уровня квалификации обслуживающего персонала ( $H_{экс}$ ). Исходя из этого на протяжении ЖЦ насосов ССД имеем три неравнозначных уровня их ФН, т. е. имеет место следующее несоответствие:  $H_{пр} > H_{тех} > H_{экс}$ .

Рассматривая насос ССД как техническое средство и используя правило умножения вероятностей, его потенциальный ресурс ( $E_{пот}$ ) получим в виде

$$E_{пот} = H_{пр} \cdot H_{тех} \cdot H_{экс}. \quad (1)$$

Значения, составляющие выражение (1), могут изменяться в пределах  $0 < E_{пот} < 1$ . В идеальном случае (идеальная модель ТЭ)  $H_{пр} = H_{тех} = H_{экс}$ , т. е.  $E_{пот.ид} = 1$ . В действительности (реальная модель ТЭ)  $H_{пр} > H_{тех} > H_{экс}$  означает, что  $E_{пот.р} < 1$ . Это можно объяснить неизбежным расходом потенциального

ресурса (ПР) насосов на стадиях технологического изготовления, испытания, монтажа и ТЭ. Расходование ПР является следствием изнашивания, коррозионных, эрозионных и других процессов, возникающих в узлах и деталях насосов ССД, и определено отказами различного происхождения (постепенные, внезапные).

Для идеальной модели ТЭ с использованием вероятности безотказной работы сохраняется условие  $P(t) = 1$ , а для реальной модели имеем  $P(t) < 1$  (рис. 1).

Рассматривая потенциальный ресурс насосов ССД как величину, равную площади, ограниченной линией распределения вероятности безотказной работы в пределах межремонтного эксплуатационного периода (МЭП) ( $t_{мэп}$ ), можно сказать, что для идеальной модели ТЭ  $E_{пот.ид}$  будет определяться площадью  $abcd$  ( $F_1$ ), а для реальной модели ТЭ площадью  $abd$  ( $F_2$ ), т. е.  $E_{пот.ид} = F_1$  и  $E_{пот.р} = F_2$ , но для конкретного значения величины  $t_{(мэп)1} - t_{(мэп)2}$ .

Исходя из этого, для реальной модели ТЭ насосов ССД величина  $F_2$  определяется как

$$F_2 = \int_0^{t_{мэп}} P(t) dt, \quad (2)$$

где  $P(t)$  — аппроксимированная функция вероятности безотказной работы насоса, работающего в составе конкретной ССД.

В общем виде она может быть выражена полиномом второй степени:

$$P(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2. \quad (3)$$

Для реальной модели ТЭ с учетом (3) будем иметь

$$E_{пот.р} = \int_0^{t_{мэп}} (a_0 + a_1 t + a_2 t^2) dt. \quad (4)$$

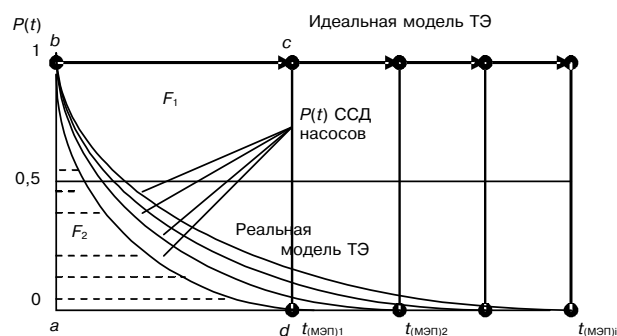


Рис. 1. К вопросу оценки потенциального ресурса насосов систем судовых дизелей на стадии эксплуатации

Таблица 2

После интегрирования (4) в конечном итоге получим:

$$E_{\text{пот. р}} = a_0(t_{\text{мэп}} - t_0) + a_1/2(t_{\text{мэп}}^2 - t_0^2) + a_2/3(t_{\text{мэп}}^3 - t_0^3), \quad (5)$$

где  $a_0, a_1, a_2$  — аппроксимационные коэффициенты.

Исходя из вышеизложенного, относительная величина расхода ПР, заложенного конструктором на стадии проектирования и обеспеченного технологом в период технологического изготовления, на стадии ТЭ будет выражаться в виде

$$E_{\text{пот}} = E_{\text{пот. р}} / E_{\text{пот. ид}} = F_2 / F_1, \quad (6)$$

где  $F_1$  — площадь, эквивалентная идеальной модели ТЭ насоса при условии  $P(t) = 1$  в диапазоне наработки от 0 до именно его величины  $t_{\text{мэп}}$ .

Величина  $E_{\text{пот}}$  может быть использована в качестве критерия сравнительной оценки функциональной надежности (ФН) насосов, а также другого оборудования, эксплуатируемого в составе ССД, различающегося назначением по обслуживанию объекта, в частности СД, конструктивными особенностями и условиями ТЭ.

В качестве примера рассмотрены насосы ССД. Для них в результате проведенного статистического эксперимента [2] получены аппроксимационные уравнения с коэффициентами, приведенными в табл. 1.

В ранжированном ряду по критерию ПР насосы ССД располагаются (по мере увеличения интенсивности расхода на стадии ТЭ) в такой последовательности: ШН → ЦН (пресная вода) → ЦН (морская вода). При этом интенсивность расхода ПР на стадии ТЭ насосов систем охлаждения СД (морская вода) превосходит таковые масляных систем более чем в 2,5 раза. Для сравнительной оценки расхода ПР насосов ССД в табл. 2 приведена обобщающая информация по другому оборудованию систем.

Из анализа представленной информации следует, что максимальная интенсивность расхода ПР на стадии ТЭ приходится на дизель-генераторы. Далее по мере снижения интенсивности ПР идут электрический и гидравлический приводы и сепараторы топлива, нефтеперекачивающие и топливные насосы. Минимальная интенсивность расхода ПР на стадии ТЭ приходится на газотурбонагнетатели.

Таблица 1

Насосы систем судовых дизелей	Коэффициенты аппроксимационного уровня (3)			
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$E_{\text{пот}}$
Центробежные насосы (ЦН) системы охлаждения: (морская вода);	0,343	-0,032	0,0008	0,13
(пресная вода)	0,703	-0,050	0,001	0,24
Шестеренные насосы (ШН) масляной системы	0,982	-0,021	0,0005	0,37

Оборудование систем	Коэффициенты аппроксимационного уровня (3)			
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$E_{\text{пот}}$
Нефтеперекачивающие насосы	0,468	-0,041	0,001	0,17
Топливные насосы	0,763	-0,078	0,002	0,31
Газотурбонагнетатели	0,965	-0,025	0,00023	0,53
Сепараторы топлива	0,698	-0,054	0,0011	0,21
Гидравлический привод	0,692	-0,059	0,0013	0,21
Электрический привод	0,502	-0,071	0,0025	0,15
Дизель-генераторы	0,444	-0,041	0,00097	0,13

На одном уровне по расходу ПР находятся насосы системы охлаждения (морская вода) и дизель-генераторы. Примерно одинаковое расхождение ПР имеют сепараторы топлива, гидравлический привод и насосы системы охлаждения (пресная вода). Зависимость по расходу ПР такова: чем меньше  $E_{\text{пот}}$ , тем больше его интенсивность и, при прочих равных условиях, ниже уровень ФН, меньше межремонтный период, а следовательно, выше затраты материальных средств на единицу полезно произведенной работы.

Таким образом, на всех стадиях «жизненного» цикла насосов систем судовых дизелей, включая и стадию эксплуатации, необходимо стремиться к уменьшению несоответствия  $E_{\text{пот. ид}} \neq E_{\text{пот. р}}$ . Это может быть достигнуто путем конструктивного совершенства, повышения уровня технологических процессов изготовления узлов и деталей с применением современных технологий, использования современных диагностических средств, совершенствования технического обслуживания и проведения современных профилактических мероприятий, повышения качества сборочно-монтажных работ, модернизации предприятий, повышения уровня квалификации обслуживающего персонала путем совершенства систем его обучения с использованием имитационных тренажерных стендов. Практическая реализация этих мероприятий позволит существенно уменьшить  $\Delta E_{\text{пот}}$  и при  $E_{\text{пот}} = \text{const}$ , определенном на этапе проектирования, за счет меньшей скорости расхода потенциального ресурса, увеличить межремонтный период, а следовательно, и снизить расход материальных средств.

**Литература**

1. Башуров Б.П. Анализ надежности вспомогательных механизмов на стадиях проектирования, технологического изготовления и эксплуатации. Известия ВУЗов. — М.: Машиностроение. — 1988. — № 10. — С. 61–65.
2. Башуров Б.П. Пути совершенствования технической эксплуатации вспомогательного оборудования энергетических установок судовых транспортных средств. — Новороссийск: НГМА, — 2002. — 269 с.