

# Морской



№4(48)  
декабрь

2013

ISSN 1812-3694

# Вестник

*Morskoy Vestnik*



30 сентября 2013 года на ОАО «Судостроительный завод  
«Северная верфь» спущено на воду головное судно  
связи проекта 18280 «Юрий Иванов» для ВМФ России  
Проектант судна – ОАО «ЦКБ «Айсберг»



Оценить качество деятельности обслуживающего персонала при использовании корабельной энергетической установки (КЭУ) можно с помощью комплексного показателя надежности деятельности личного состава  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}}$ .

Значение указанного показателя предопределяет возможность эффективного использования КЭУ, так как отражает непосредственное влияние на все основные показатели эффективности установки, отклоняя их от оптимального значения, как правило, в «худшую» сторону (если  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}} < 1$ ). Механизм проявления влияния деятельности обслуживающего персонала на основные показатели эффективности использования КЭУ сходный: во всех случаях при снижении величины  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}}$ , чаще всего снижаются все показатели эффективности: безотказности, долговечности и т.д. Однако этот механизм имеет свои особенности при рассмотрении отдельных показателей эффективности.

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ, МАНЕВРЕННОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КЭУ

Из анализа схем функциональной целостности следует, что обслуживающему персоналу в обеспечении безотказности установки отведена определенная роль: он выполняет, как правило, функции эргатического резерва (вмешивается в управление или регулирование параметров в случае выхода из строя определенных элементов САУ) и некоторые функции, связанные с непосредственным управлением установкой (вахтенный маневрист). Поэтому безотказность КЭУ в целом как системное свойство зависит в том числе и от надежности деятельности обслуживающего персонала  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}}$ :

$$R_{\text{кэу}} = f(P_{\text{общ}}^{\text{лс}}), i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}}$  – текущее значение комплексного показателя надежности деятельности  $i$ -го вахтенного, из общего количества вахты  $m$ .

Следовательно, количественная оценка степени влияния деятельности последнего на безотказность установки может быть выполнена с использованием выражения

$$K_{\text{б}}^{\text{лс}} = \frac{R_{\text{кэу}}^{\text{тек}}}{R_{\text{кэу}}^{\text{опт}}}, \quad (2)$$

где  $R_{\text{кэу}}^{\text{тек}}$  – текущее значение показателя безотказности КЭУ, характеризующее принятым управленческим решением лица, принимающего решение (ЛПР) (при текущих значениях комплексного показателя надежности деятельности обслуживающего персонала  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}} = R_{\text{б}}^{\text{тек}}$ );  $R_{\text{кэу}}^{\text{опт}}$  – оптимальное значение показателя безотказности КЭУ, характеризующее принятым управленческим решением (ЛПР), но при условии абсолютной

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРАБЕЛЬНОЙ ЭУ

**В. В. Барановский**, д-р техн. наук, проф.,  
**А. Н. Кондратенко**, канд. техн. наук, докторант,  
ВУНЦ ВМФ «ВМА»,  
контакт. тел.: (812) 431 94 08, 8 911 979 2331

надежности деятельности обслуживающего персонала  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}} = 1$ ;  $K_{\text{б}}^{\text{лс}}$  – коэффициент, характеризующий степень оптимальности реализации управленческого решения личным составом по критерию безотказности.

Выражение (1) является математической моделью оценки влияния деятельности обслуживающего персонала на безотказность КЭУ.

Оценка влияния деятельности обслуживающего персонала на маневренность КЭУ может быть выполнена с учетом влияния этой деятельности на безотказность установки. Дело в том, что управленческое решение по режиму использования КЭУ, определяющее маневренность (максимальную скорость хода, которую может развить корабль при данном составе работающих механизмов), зависит от безотказности установки. Так, даже если принятое решение по режиму использования КЭУ оптимальные по критерию маневренности, но безотказность установки очень мала, то все усилия будут сведены «на нет».

Таким образом, коэффициенты, характеризующие степень оптимальности реализации управленческого решения по критерию маневренности и безотказности совпадают, т.е.

$$K_{\text{м}}^{\text{лс}} = K_{\text{б}}^{\text{лс}}. \quad (3)$$

Оценить влияние деятельности обслуживающего персонала на долговечность КЭУ с использованием математической модели, разработанной нами, можно опосредованно, т.е. через влияние личного состава на безотказность КЭУ, приводящее к выработке оптимального решения по безотказности, но не самого лучшего по долговечности.

Безотказность – определяющая величина при назначении режимов использования установки по критерию долговечности, т.е.

$$K_{\text{д}} = f(R_{\text{кэу}}). \quad (4)$$

Кроме того, учитывая, что величина безотказности установки является функцией от обобщенного показателя надежности деятельности личного состава [см. (1)], количественная оценка степени влияния деятельности последнего на долговечность установки может быть выполнена с использованием выражения

$$K_{\text{д}}^{\text{лс}} = \frac{K_{\text{д}}^{\text{тек}}}{K_{\text{д}}^{\text{опт}}}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{д}}^{\text{тек}}$  – текущее значение показателя долговечности КЭУ, характеризующее принятым управленческим решением ЛПР о составе работающих механизмов с учетом текущих значений комплексного показателя надежности деятельности обслуживающего персонала  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}} = P_{\text{б}}^{\text{тек}}$ ;  $K_{\text{д}}^{\text{опт}}$  – оптимальное значение показателя долговечности КЭУ, характеризующее принятым управленческим решением ЛПР по составу работающих механизмов, но при условии абсолютной надежности деятельности обслуживающего персонала  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}} = 1$ , позволяющем иметь сокращенный состав работающих механизмов, не выходя при этом за рамки требований безотказности;  $K_{\text{д}}^{\text{лс}}$  – коэффициент, характеризующий степень оптимальности реализации управленческого решения личным составом по критерию долговечности.

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА НА ЖИВУЧЕСТЬ КЭУ

Обслуживающий персонал во время борьбы за живучесть (БЗЖ) должен правильно и своевременно выполнять первичные мероприятия по БЗЖ, при обнаружении аварии и реализации управленческих решений по БЗЖ. Согласно [1], время реализации управленческих решений по БЗЖ личным составом в зависимости от обстоятельств и его подготовленности может составлять от 10 до 30 мин. Поэтому количественная

оценка степени влияния деятельности обслуживающего персонала на живучесть КЭУ может быть выполнена с использованием выражения

$$K_{ж}^{лс} = \frac{P_{ж}^{лс}}{P_{ж}^{лс \max}}, \quad (6)$$

где  $P_{ж}^{лс} = f(\tau_{ж}^{лс})$  – живучесть КЭУ при текущем значении времени реализации личным составом управленческих решений по БЗЖ;  $P_{ж}^{лс \max} = f(\tau_{ж}^{лс \max})$  – живучесть КЭУ при минимальном значении времени реализации личным составом управленческих решений по БЗЖ;  $K_{ж}^{лс}$  – коэффициент, характеризующий степень оптимальности реализации управленческих решений личным составом по критерию живучести.

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА НА БЕЗОПАСНОСТЬ КЭУ

Деятельность обслуживающего персонала оказывает определяющее влияние на величину вероятностной оценки безопасности, так как основные действия, совместная реализация которых переводит КЭУ в опасное состояние, выполняет именно личный состав. Учитывая, что деятельность последнего может быть количественно оценена с помощью обобщенного показателя надежности  $P_{общ}^{лс}$ , можно сделать вывод о том, что безопасность системы является функцией аргументами которой являются, т. е.,

$$Q_{кз} = f(P_{общ}^{лс}). \quad (7)$$

Поэтому количественная оценка степени влияния деятельности обслуживающего персонала на безопасность корабельной КЭУ может быть выполнена с использованием выражения

$$K_{лс}^б = \frac{Q_{кз}^{\min}}{Q_{кз}^{\max}}, \quad (8)$$

где  $Q_{кз}^{\min}$  – вероятностная оценка минимальной величины опасности при абсолютной надежности деятельности обслуживающего персонала  $P_{общ}^{лс} = 1$ ;  $Q_{кз}^{\max}$  – вероятностная оценка величины опасности КЭУ при текущих значениях величин надежности деятельности личного состава,  $P_{общ}^{лс} = P_i^{лс}$ ;  $K_{лс}^б$  – коэффициент, характеризующий степень реализации управленческих решений личным составом по критерию безопасности.

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ, ТЕПЛОВУЮ ЗАМЕТНОСТЬ И АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ КОРАБЛЯ

Из опыта эксплуатации кораблей известны неоднократные случаи, когда ошибки со стороны личного состава в следствие низкой надежности деятельности не всегда приводят к сбою в рабо-

те установки или ее элементов. В ряде случаев неточности в поддержании отдельных параметров работы установки приводят к ухудшению таких показателей эффективности, как экономичность, тепловая заметность и акустическое поле корабля, хотя по внешним признакам функционирования КЭУ (устойчивая работа механизмов, поддержание требуемой скорости корабля, наличие либо отсутствие отказов) обнаружить данный факт довольно затруднительно.

Математическая модель для оценки влияния деятельности обслуживающего персонала на перечисленные показатели может быть разработана с использованием подходов, используемых в математических моделях для оценки безотказности, живучести и безопасности. С этой целью по аналогии с логико-вероятностными методами, где для записи условий работоспособного (РС) либо опасного состояния (ОС) используются соответствующие функции – ФРС или ФОС, для исследования влияния деятельности обслуживающего персонала на экономичность, тепловую заметность и акустическое поле корабля используется функция такого состояния установки, когда она функционирует недостаточно эффективно по этим критериям – (ФНФЭК.ТП.ПШ)  $y(x_1, x_2, \dots, x_i)$ . Здесь под  $x_1, x_2, \dots, x_i$  подразумеваются набор условий для перехода системы в подобное состояние.

Следует иметь также в виду, что функция неэффективного функционирования ФНФЭК.ТП.ПШ установки в отличие от ФОС, охватывающей область работоспособных и неработоспособных состояний установки, охватывает только область ее работоспособных состояний. Из анализа структурных схем следует, что деятельность обслуживающего персонала оказывает определяющее влияние на величину вероятностной оценки события неэффективного использования КЭУ по критериям экономичности, тепловой заметности и акустического поля корабля. Учитывая, что деятельность последнего может быть количественно оценена с помощью обобщенного показателя надежности  $P_{общ}^{лс}$ , следовательно, и функция, описывающая область неэффективного использования установки ФНФЭК.ТП.ПШ, является в том числе и функцией от аргументов  $P_{общ}^{лс}$ , т. е.

$$\begin{aligned} \text{ФНФЭК.ТП.ПШ} &= y(x_1, x_2, \dots, x_i) = \\ &= f(P_{общ}^{лс}, P_{общ}^{лс}, \dots, P_{общ}^{лс}). \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, зная вероятностные характеристики аргументов технических составляющих, а также при наличии возможности определения вероятностных характеристик эргатических составляющих  $P_{общ}^{лс}$  с использованием логико-вероятностного метода может быть

количественно определена вероятностная оценка наступления события, когда установка используется неэффективно по критериям безотказности, живучести и безопасности:

$$P_{нф}^{КЭУ} = f(Px_1, Px_2, \dots, Px_{43}). \quad (10)$$

Определение величины ущерба от нахождения КЭУ в данном состоянии (увеличение расхода топлива на милли  $\Delta b_m$ , снижение дальности плавания  $\Delta S$ , относительное увеличение интенсивности акустического  $\Delta K_{ш}$  и относительного увеличения интенсивности теплового поля  $\Delta K_{тп}$ ) возможно с использованием обобщенного показателя надежности – коэффициента готовности [2, 3], учитывающего не только безотказность (среднее время до отказа изделия) но и его ремонтпригодность (среднее время восстановления изделия):

$$K_t = \frac{T}{T + T_{в}} \quad (11)$$

где  $T$  – среднее время между отказами изделия, определяется как интегральная характеристика его безотказности:

$$T = \int_0^{\infty} R(t) dt, \quad (12)$$

где  $T_{в}$  – среднее время восстановления изделия;  $R(t)$  – функции надежности [2, 7].

Учитывая, что коэффициент готовности имеет вероятностный смысл, т. е. отражает вероятность застать изделие в работоспособном состоянии, а обратная ему величина – коэффициент неготовности,  $K_{н} = 1 - K_t$  – вероятность застать изделие в неработоспособном состоянии на интересующем промежутке времени, мы имеем право применять логико-вероятностные методы для вычисления  $K_t$  или  $K_{н}$ .

Кроме вероятностной трактовки коэффициента готовности (неготовности) имеется еще и физическая – как доля времени исследуемого временного промежутка, в течение которого изделие (система) находится в работоспособном (неработоспособном) состоянии. Сопоставив каждую составляющую  $K_{шт}$  математического ожидания величины ущерба от нахождения системы в данном состоянии, т. е.  $M(\Delta b_m)$ ,  $M(\Delta S)$ ,  $M(\Delta K_{ш})$ ,  $M(\Delta K_{тп})$  и просуммировав составляющие

$$\left. \begin{aligned} M(\Delta b_m) &= \sum_{i=1}^n (M(\Delta b_{mi}) K_{нfi}), i=1, n, \\ M(\Delta S) &= \sum_{i=1}^n (M(\Delta S_i) K_{нfi}), i=1, n, \\ M(\Delta K_{ш}) &= \sum_{i=1}^n (M(\Delta b K_{ши}) K_{нfi}), i=1, n, \\ M(\Delta K_{тп}) &= \sum_{i=1}^n (M(\Delta K_{ти}) K_{нfi}), i=1, n \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

мы получим математические ожидания величин ущербов от нахождения КЭУ в состоянии неэффективного функционирования.

Математические ожидания величин ущерба  $M(\Delta b_m)$ ,  $M(\Delta S)$ ,  $M(\Delta K_{ш})$ ,

$M(\Delta K_{\text{пл}})$  можно определить с использованием математических моделей, разработанных в [2,3] по оценке экономичности, тепловой заметности и акустического поля.

Основываясь на изложенных выше рассуждениях, количественную оценку степени влияния деятельности обслуживающего персонала на экономичность, акустическое поле и тепловую заметность ЭУ можно получить по выражениям

$$K_{\text{лс}}^{\text{ак}} = \frac{b_{\text{м}}^{\text{мин}}}{b_{\text{м}}^{\text{тек}}} ; \quad (14)$$

$$K_{\text{лс}}^{\text{эк}} = \frac{S^{\text{тек}}}{S^{\text{макс}}} ; \quad (15)$$

$$K_{\text{лс}}^{\text{пл}} = \frac{K_{\text{пл}}^{\text{мин}}}{K_{\text{пл}}^{\text{тек}}} ; \quad (16)$$

$$K_{\text{лс}}^{\text{тп}} = \frac{K_{\text{тп}}^{\text{мин}}}{K_{\text{тп}}^{\text{тек}}} , \quad (17)$$

где  $b_{\text{м}}^{\text{мин}}$ ,  $S^{\text{макс}}$ ,  $K_{\text{пл}}^{\text{мин}}$ ,  $K_{\text{тп}}^{\text{тек}}$  – количественная оценка величин расхода топлива на милю, дальности плавания корабля, коэффициентов акустического и теплового поля КЭУ соответственно, при абсолютной надежности деятельности обслуживающего персонала  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}} = 1$ ;  $b_{\text{м}}^{\text{тек}}$ ,  $S^{\text{тек}}$ ,  $K_{\text{пл}}^{\text{тек}}$ ,  $K_{\text{тп}}^{\text{тек}}$  – количественная оценка величин хода топлива на милю, дальности плавания корабля, коэффициентов акустического и теплового поля КЭУ соответственно, при текущих знаниях величин надежности деятельности л/с,  $P_{\text{общ}}^{\text{лс}} = P_i^{\text{тек}}$ ;  $K_{\text{лс}}^{\text{б}}$  – коэффициент, характеризующий степень реализации управленческих решений личным составом по критериям экономичности, тепловой заметности и акустического поля корабля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кофман Л.И. Временные характеристики действий экипажа при борьбе с корабельными пожарами. – Темат. сб. материалов конфер. ВМФ, посвященной 100-летию развития науки «живучесть» корабля. – СПб.: Изд. ВМА, 1994.
2. Петий И.И. Теоретические основы и методы повышения эффективности использования котлотурбинных энергетических установок НК ВМФ. – Дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук. – Л.: Изд. ВМА, 1990.
3. Петий И.И. Повышение экономичности корабельных котлотурбинных энергетических установок в процессе их эксплуатации. – Дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Л.: Изд. ВМА, 1985. ■  
Рецензенты:  
*Л.С. Венцюлис, д-р техн. наук, проф.,*  
*Г.С. Ясаков, д-р техн. наук, проф.*