

УДК 621.431.74.436-52(07)

Донской В.Г., Ханмамедов С.А.  
ОНМА

## МЕТОДИКА РАЦИОНАЛЬНОЙ МИНИМИЗАЦИИ ОБЪЁМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Начиная с 1960-1965 годов на судах отечественного и зарубежного флотов ведется интенсивная автоматизация судовых производственных процессов, в том числе по штурманскому и судомеханическому комплексам. Автоматизация каждого из них имеет отличительные особенности. В различной литературе по судостроению, как в отечественной, так и в зарубежной, дискутируются проблемные вопросы с точки зрения рациональных объёмов автоматизации, соответствия их перцептивным возможностям вахтенных механиков при различной форме обслуживания и несения вахты: в объёме машинного отделения (МО), в центральном посту управления (ЦПУ), сменное дежурство без систематического пребывания в ЦПУ.

Управление судовой энергетической установкой (СЭУ) осуществляется во взаимодействии автоматизированных или автоматических систем контроля, как семантической отрицательной обратной связи со стороны вахтенного механика-оператора. Исследования Центрального научно-исследовательского института морского флота (ЦНИИМФ), ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Ленинградского центрального проектно-конструкторского бюро №1 (ЛЦПКБ-1) на 13 сериях автоматизированных теплоходов Черноморского морского пароходства показали следующее распределение в процентном отношении времени несения вахты при наличии ЦПУ СЭУ : ~14% управление механизмами; ~2% ремонтно-профилактические работы; ~9% проверочный контроль с местных постов машинного отделения; ~75% контроль из ЦПУ.

Информативность системы контроля и способность механика-оператора принимать верные симультанные решения являются важнейшими показателями надёжности системы «человек-машина». Правильная оценка событий и соответствующие им действия зависят от порога восприятия информации натренированного (опытного) оператора, который по данным статистики парирования аварийных ситуаций не превышает 8 бит/с (8 событий в секунду). У малоопыт-

ных операторов порог восприятия информации не более 2 бит/с (2-х событий в секунду).

На оператора МО воздействуют такие отрицательные инженерно-психологические факторы как монотония в несении вахты, стартовая «лихорадка» при появлении аварийно-предупредительных или аварийных сигналов, снижение остроты (динамики) мышления, сведение деятельности человека к чистому наблюдению и контролю, пространственно-акустическое ограничение в ЦПУ, незначительная смена впечатлений, пониженная моторика в условиях обитания (ЦПУ), что приводит в экстраординарных ситуациях к существенной функциональной неравнозначности действий человека-оператора.

В силу упомянутых обстоятельств оператору ЦПУ необходимо представлять наиболее информативный континуум контролируемых величин. Поэтому проектировщики систем контроля должны применять определенный критериальный подход для назначения (распределения) тех или иных величин по сферам машинного контроля: ЦПУ и каютная сигнализация; местные посты управления (у механизмов); величины контроля для пуско-наладочных операций.

Ниже рассматривается многокритериальный, дифференцированный подход, как одна из возможных методик рациональной минимизации объёма оперативного контроля СЭУ. В ЦПУ МО применяются различные средства и виды контроля, в том числе «обегающий» контроль, мнемосхемы, аварийно-предупредительная сигнализация (АПС), сигнализация по вызову оператора, аналого-цифровая информация и тому подобное. Решение существующей проблемы заключается в разработке соответствующих (адекватных) требований и критериев, в соответствии с которыми можно было бы рационально минимизировать общее количество контролируемых величин из ЦПУ и по возможности упростить структуру централизованного контроля (СЦК).

В целях минимизации объёма контролируемых величин из ЦПУ может быть предложена одна из возможных методик для проектирования СЦК, состоящая из следующих операций:

1. В составе энергетической установки теплохода выделяются механизмы, главным образом обуславливающие ее работоспособность в целом.
2. Экспертным способом назначается исходный перечень контролируемых величин из ЦПУ по каждому механизму и установке в

целом, подлежащей дальнейшему исследованию на предмет минимизации.

3. Для каждой из контролируемых величин исходного перечня необходимо назначить эксплуатационное поле допуска её изменения с учетом статических и динамических характеристик объекта контроля.

4. Определяется функциональная значимость («вес») элементов механизма эвристическими методами (экспертных оценок, упорядоченного сравнения) и графового анализа. Сумма значимостей всех элементов принимается равной единице. За обобщенную значимость элемента принимается среднеарифметическое всех методов определения (сравнения).

5. Определяется значимость каждой из контролируемых величин того или иного элемента установки по критериям сравнения, в том числе информационного и методом графового анализа. Сумма значимостей всех контролируемых величин исходного перечня принимается равной единице. За обобщенную значимость контролируемой величины принимается среднеарифметическое всех методов определения (сравнения).

6. В соответствии со стохастическими критериями [1], приведенными ниже, принимается решение о степени ответственности контроля (I, II, III):

- |      |  |
|------|--|
| I.   | $\lambda_{oj} = (1, 0, \dots, 0, 1) \lambda_{oj \max};$    |
| II.  | $\lambda_{oj} = (0, 1, \dots, 0, 01) \lambda_{oj \max};$   |
| III. | $\lambda_{oj} = (0, 01, \dots, 0, 001) \lambda_{oj \max};$ |

где  $\lambda_{oj}$  - обобщенная значимость («вес») j-ой контролируемой величины,

$\lambda_{oj \max}$  - максимальное значение обобщенной значимости j-ой контролируемой величины в ряду сравнения.

Под степенями ответственности контроля подразумеваются сферы машинного контроля и периодичность его осуществления, а именно:

I. Центральный пост управления, систематический контроль с разной периодичностью и различными методами;

II. Местный пост управления, эпизодический контроль (по местным приборам);

III. Величины долговременного контроля, необходимые для пуско-наладочных операций по механизмам (штатные приборы кон-

троля для этих величин устанавливать на постах управления не принято).

Значение  $\lambda_{0j}$  определяется по выражению:

$$\lambda_{0j} = \frac{\lambda_{1j} + \lambda_{2j} + \lambda_{3j} + \lambda_{4j} + \lambda_{5j} + \lambda_{6j} + \lambda_{7j} + \lambda_{8j} + \lambda_{9j}}{9},$$

где  $\lambda_{1j}$ ,  $\lambda_{2j}$ ,  $\lambda_{3j}$  – приведенные значимости  $j$ -ой контролируемой величины, определенные по построчной стоимости, трудовым затратам на восстановление, относительному числу отказов формирующих ее элементов энергетической установки судна;

$\lambda_{4j}$  – приведенная значимости  $j$ -ой контролируемой величины, определенная методом графового анализа с учетом значимостей формирующих ее элементов и информативности величины через вероятности технического состояния формирующих ее элементов;

$\lambda_{5j}$  – то же, методом графового анализа с учетом причинно-следственных связей, возникающих между формирующими элементами, и метрической информацией, получаемой при изменении величины в пределах установленного эксплуатационного поля допуска;

$\lambda_{6j}$  – то же, определенная методом информационного критерия учитывающего значимость формирующих элементов, а так же информационную емкость самой величины при изменении последней от нуля до максимального значения;

$\lambda_{7j}$  – то же, методом информационного критерия, учитывающего значимость формирующих элементов, а так же соотношение между информационной емкостью собственно контролируемой величины и ее полем допуска;

$\lambda_{8j}$  – то же, методом информационного критерия учитывающего информацию, получаемую в результате измерения контролируемой величины, а так же качественную определенность последней через значимости формирующих ее элементов;

$\lambda_{9j}$  – то же, определенная по ее динамической характеристике (минимальный интервал времени безаварийного выбега величины за пределы установленного поля допуска).

Выражения для каждого из вышерассмотренных компонентов обобщенного значения  $j$ -ой контролируемой величины имеют вид:

$$\lambda_{1j} = \frac{\lambda^{II}_{sj}}{\sum_{j=1}^n \lambda^{II}_{sj}}; \quad \lambda_{2j} = \frac{\lambda_{Bj}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{Bj}}; \quad \lambda_{3j} = \frac{\lambda_{\theta j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{\theta j}};$$

$$\lambda_{4j} = \frac{I_{\text{кпг}j}}{\sum_{j=1}^n I_{\text{кпг}j}}; \quad \lambda_{5j} = \frac{I^M_{\text{кп}j}}{\sum_{j=1}^n I^M_{\text{кп}j}}; \quad \lambda_{6j} = \frac{I'_{\text{км}j}}{\sum_{j=1}^n I'_{\text{км}j}};$$

$$\lambda_{7j} = \frac{I''_{\text{км}j}}{\sum_{j=1}^n I''_{\text{км}j}}; \quad \lambda_{8j} = \frac{\lambda_{\text{кп}j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{\text{кп}j}}; \quad \lambda_{9j} = \frac{\lambda_{d_j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{d_j}}.$$

В этих выражениях:

$$\lambda^{II}_{sj} = \frac{\sum_{i=l_1}^{lm} S_i^{II}}{S}; \quad \lambda_{Bj} = \frac{\sum_{i=l_1}^{lm} S_{Bi}}{S_B}; \quad \lambda_{\theta j} = \frac{\sum_{i=l_1}^{lm} N_i}{N};$$

$$I_{\text{кпг}j} = I_{\text{эx}} \left( \sum_{i=1}^{Z_1} \lambda_p^1 \lambda_{oi}^1 + \dots + \sum_{i=1}^{Z_p} \lambda_p^p \lambda_{oi}^p \right);$$

$$I_{\text{эx}} = P_1 \log_2 P_1 + \dots + P_i \log_2 P_i + \dots + P_m \log_2 P_m;$$

$$I^M_{\text{кп}j} = I_{\text{хвм}} + I_{\text{кп}}; \quad I_{\text{кп}} = \sum_{i=1}^{Z_p} \log_2 \{\theta\}_i^\varphi;$$

$$I_{\text{хвм}} = \log_2 \frac{|W_j|}{\varepsilon}; \quad I'_{\text{км}j} = \frac{1}{I_{\text{хвм}}} \sum_{i=l_1}^{lm} \lambda_{oi};$$

$$I''_{\text{км}j} = \frac{I_{\text{хвм}}}{I_{\text{хвм}}} \sum_{i=l_1}^{lm} \lambda_{oi}; \quad \lambda_{\text{кп}j} = \frac{I_{\text{кп}j}}{\sum_{j=1}^n \lambda_{\text{хвм}}};$$

$$I_{\text{кп}j} = \log_2 \left( \frac{V_{jM}}{|W_j|} \right) \sum_{i=l_1}^{lm} \lambda_{oi}; \quad I_{\text{хвм}} = \log_2 \frac{V_{jM}}{\varepsilon}; \quad \lambda_{d_j} = d_j^{-1},$$

где  $s_i^n$  – построчная стоимость  $i$ -го элемента системы;

$s$  - построчная стоимость системы в целом;

$i=l_1 \dots l_m$  - перечень элементов системы, формирующих  $j$ -ю контролируруемую величину;

$n$  - количество контролируемых величин в технической системе;

$s_{Bi}$  - трудозатраты на восстановление  $i$ -го элемента системы;

$s_B$  - трудозатраты на восстановление системы в целом;

$N_i$  - число отказов технической системы по  $i$ -ой контролируемой величине, вызываемых  $i$ -м элементом системы за время  $t$ ;

$I_{эx}$  - критерий энтропийности (неопределенности) технического состояния элементов системы, формирующих  $i$ -ю контролируемую величину;

$P_{l_1 \dots l_m}$  - вероятности отказов элементов системы, формирующих  $j$ -ю контролируемую величину ( $\sum_{i=1}^m p_i = 1$ );

$Z_1 \dots Z_p$  - число элементов на определенном уровне графа-дерева ( $Z_1 + \dots + Z_p = Z_m$ , где  $Z_m$  - число элементов, формирующих  $j$ -ю контролируемую величину);

$\lambda_p^1 \dots \lambda_p^p$  - значимость («вес»)  $i$ -го элемента системы в зависимости от занимаемого им уровня «Р» графа-дерева;

$\lambda_{oi}^1 \dots \lambda_{oi}^p$  - обобщенная значимость  $i$ -го элемента системы, находящегося на уровне «Р» графа-дерева;

$I_{x_{ин}}$  - информационный критерий, дающий представление о значимости контролируемой величины с точки зрения информации, получаемой при изменении последней в пределах установленного поля допуска (уставки);

$I_{кп}$  - то же, дающий представление о значимости контролируемой величины с точки зрения информации о причинно-следственных связях между элементами системы, формирующих ее;

$|W_j|$  - абсолютное значение поля допуска контролируемой величины;

$\varepsilon$  - цена деления («кванта») контрольно-измерительного прибора;

$K$  - число условных подмножеств признаков (событий, элементов) в графе-дереве, обуславливающих появление сложного собы-

тия, то есть выход  $j$ -ой контролируемой величины за пределы установленного поля допуска;

$\varphi$  - уровень условного подмножества признаков (событий элементов) в графе-дереве;

$\theta$  - признак, событие, элемент;

$\{\theta\}_i^\varphi$  - количество признаков (событий, элементов) в условном подмножестве  $\varphi$ -го уровня графа-деревя, к которому относится признак  $i$ -го события (или обуславливающий его элемент системы);

$\lambda_{oi}$  - обобщенная значимость  $i$ -го элемента системы;

$V_{jm}$  - максимально допустимое значение  $j$ -ой контролируемой величины;

$d_j$  - динамическая характеристика  $j$ -ой контролируемой величины, то есть интервал времени безаварийного «выбега» последней за пределы установленного поля допуска.

В таблице (колонка 2) приведен перечень величин централизованного контроля, определенный выше рассмотренными методами на примере судового малооборотного дизеля 6(7)ДКРН74/160 Брянского машиностроительного завода. В качестве исходного перечня была принята 101 величина, а в результате математической обработки по вышеизложенной методике оказалось целесообразным контролировать из ЦПУ только 25 величин. В таблице (колонки 3...8) дано сравнение расчетного перечня величин централизованного контроля с требованиями классификационного общества (Морским Регистром), с рекомендациями Центрального научно-исследовательского института морского флота (ЦНИИМФ), с материалами информационной международной организации (ИМО, г. Лондон, Англия), с контролируемыми величинами СЦК автоматизированных на знак А1 теплоходов «Котовский», «Светлогорск», «Новгород», каждый из которых является головным в своей серии судов. В таблице крестиком (+) обозначено, что величина контролируется, а прочерком (-) – не контролируется СЦК.

В результате проведенных расчетов по главным малооборотным дизелям типа 6(7)ДКРН74/160 отечественных теплоходов получены следующие результаты:

1. Объем контроля по сравнению с исходным уменьшился на 75%.
2. Общая стоимость средств контроля снизилась на 65%.

3. Иррелевантность информации за счет исключения «маловесных» величин снизилась на 74%.

4. Стоимость получения 1 бита информации увеличилась на 51%.

В заключение проведенных исследований представляется возможным сделать следующие выводы:

1. Разнометодный подход к определению рационального объема централизованного контроля следует считать оправданным с технико-экономической точки зрения, что позволяет проектантам систем управления и контроля принимать обоснованные решения.

2. Рассмотренные стохастические критерии следует считать приемлемыми для распределения любого исходного комплекса величин, контролируемых по сферам машинного контроля (I, II, III) после соответствующей его математической обработки.

3. Стоимость средств автоматизации достаточно высокая по сравнению со строительной стоимостью судна (4...10%), что делает дорогим получение единицы информации. Целесообразность применения повсеместно «загруженных» средств централизованного контроля представляется сомнительной в связи с тем, что избыток свободного времени у вахтенных механиков может оказать отрицательное влияние на их психологическое состояние [2]. В этой области необходимы систематические инженерно-психологические исследования, которым уделяется недостаточное внимание.

4. Обоснованная минимизация объема централизованного контроля СЭУ на всех этапах автоматизации дает положительный технико-экономический эффект [1,2].

Наименование колонок таблицы:

1 – номера величин порядковые; 2 – наименование величин СЦК для главных дизелей 6(7)ДКРН74/160; 3 – классификационное общество (Морской Регистр); 4 – ЦНИИМФ; 5 – ИМО; 6 – т/х «Котовский»; 7 – т/х «Светлогорск»; 8 – т/х «Новгород». (+) обозначает, что величина контролируется; (-) означает, что величина не контролируется.

Таблица.

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Температура мотыльевого подшипника	-	+	+	+	-	-
2	То же, рамового подшипника	-	+	+	+	-	-



3	То же, головного (крейцкопфного) подшипника	-	+	+	+	-	-
4	Давление циркуляционного масла перед двигателем	+	+	+	+	+	+
5	Температура циркуляционного масла на выходе из двигателя	+	+	+	+	-	-
6	То же, на выходе из каждого поршня	+	+	-	+	+	+
7	То же, общая на выходе из поршней	-	+	-	-	-	-
8	Давление топлива перед двигателем	+	+	+	+	-	+
9	Температура охлаждающей воды на выходе из каждого цилиндра	+	+	+	+	+	+
10	Общая температура охлаждающей воды на выходе из двигателя	-	-	+	+	+	+
11	Уровень охлаждающей воды в расширительной цистерне	+	+	+	-	-	-
12	Давление охлаждающей воды на входе в двигатель	+	+	+	+	+	+
13	Давление охлаждающей среды на входе в форсунки	-	-	+	+	+	+
14	Температура газов перед газотурбоагрегатом (ГТА)	+	+	+	+	+	-
15	Давление забортной воды перед холодильниками	+	+	+	+	+	+
16	Концентрация масляных паров в картере двигателя	+	+	+	+	-	+
17	Давление циркуляционного масла на входе в ГТА	+	+	+	-	-	-

18	Температура наддувочного воздуха перед двигателем	+	+	+	+	+	+
19	Давление наддувочного воздуха перед двигателем	+	+	+	+	+	-
20	Частота вращения газотурбоагнетателя	+	+	-	+	+	-
21	Виброакустический параметр	-	-	-	-	-	-
22	Частота вращения коленвала двигателя	+	+	+	+	+	+
23	Часовой расход топлива	-	+	-	-	-	+
24	Крутящий момент на валу двигателя	+	+	+	-	-	-
25	Эффективная мощность двигателя	-	+	-	-	-	+

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин М.И. Определение состава контролируемых параметров ДВС на основании информационного критерия. – Л. Судостроение, 1969, №1, с. 48-51.

2. Совещание в Англии по вопросам применения ЭВМ на судах. – Экспресс-информация «Зарубежное судостроение», №18(532), ЦНИИ «Румб», июнь, 1973, с. 6-7.