

УДК 629.12.066(076)

ОЦЕНИВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВЫХ ДВС

Исаев Е.А., Симаненков А.Л.

Херсонская государственная морская академия

Статья рассматривает проблематику настройки параметров работы системы контроля и диагностирования динамических характеристик судового двигателя внутреннего сгорания, двухтактного шестицилиндрового ДВС типа WARTSILA-SULCER 6 RT-flex 50b. На примере кривых изменения значений температуры выпускных газов судового ДВС во время изменения условий внешней среды, показано влияние значений гарантированного и контрольного допусков на принятие системой мониторинга решения, об управляющем воздействии на объект регулирования (ДВС). Статья преследует цель, аналитическим методом показать влияние ошибок первого и второго уровней на работу автоматической системы слежения и управления, во время изменения условий внешней среды. Целью статьи является доказательство важности просчета и исследования влияний указанных допусков, а так же шумов измерения во время моделирования и выбора критериев оценивания работы системы измерения и контроля параметров работы судовых ДВС.

Ключевые слова: *система контроля и диагностирования параметров судового ДВС, гарантированный допуск, контрольный допуск, ошибка измерения.*

Анализ проблемы. В связи с непрерывным ростом автоматизации судовых узлов и механизмов, важной становится проблема нового комплексного подхода к обеспечению нужной эффективности функционирования оборудования, сосредотачивающего в себе решение проблем, связанных с проектированием, эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом оборудования. Решением упомянутых проблем в отрасли судоходства может послужить подход, предлагаемый теротехнологией [1].

Теротехнология – технология обеспечения эффективного функционирования агрегатов и оборудования на протяжении всего срока службы с учетом технологических, технических и организационных факторов, а так же взаимосвязей между ними, основана на непрерывном выявлении и устранении причин, которые уменьшают эффективность функционирования.

Важным фактором теротехнологии является уровень эксплуатации и управления оборудованием, зависящий от поддержания режимов технической эксплуатации, ее правил и соответствия технических характеристик оборудования внешним условиям его эксплуатации.

Поскольку нормальное функционирование оборудования невозможно из-за частых аварий, в задачу теротехнологического подхода включена разработка как организационных, так и технологических мер, которые направлены на предотвращение аварий. К ряду таким мероприятий относят повышение уровня механизации и автоматизации судового оборудования; повышение квалификационного уровня судовых экипажей (обслуживающего персонала); строгое соответствие со стандартными условиями ремонта судовых энергетических установок; учет человеческого фактора во время работы суден.

При помощи методов технической диагностики предусматривают возможные отклонения во время работы установок, аппаратов и оборудования, а так же разрабатываются методы выявления и локализации неисправностей в системах.

Примером такой диагностики служит постоянное фиксирование и регулирование температуры выпускных газов судового ДВС, путем изменения процентного соотношения подачи топлива по цилиндрам. Поскольку, значение последних является существенным фактором во время оценивания характеристик работы и общего состояния составляющих узлов судового ДВС.

В данной статье диагностируются постоянно изменяющиеся параметры, из-за изменения внешних условий работы механизма. Однако, учесть все такие переменные, пока что, не является возможным из-за большой сложности вычислений и моделирования.

К проблемным задачам диагностики так же отнесем влияние шумов измерения, которые влияют на вид указанных характеристик.

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день теротехнология не имеет большого распространения в судоходстве, однако, примеры ее удачного применения существуют. Так авторами в источнике [1] рассмотрено применение данной технологии для металлургического оборудования, с целью, повышения эксплуатационной надежности, обеспечивающей стабильную работу оборудования и остальные показатели эффективности (расход энергоресурсов, качество выпускаемой продукции и др.).

При проведении анализа технической литературы и публикаций на тему влияния критериев достоверности контроля при проектировании систем автоматизации и мониторинга, авторами был проанализирован подход к проектированию предложенный инженерами немецкого концерна «KONGSBERG». Которые, внедрив нечеткую алгоритмизацию мониторинга судового электрооборудования, достигли повышения качества оценки достоверности контролируемых параметров [2].

Цель статьи. Целью статьи является аналитическое и практическое исследование влияния достоверности допусков первого и второго уровня, во время контроля значений параметров работы ДВС, на работу системы мониторинга и управления двигателя.

При этом ДВС рассматривается как сложный объект, состоящий из 6 отдельных подобъектов, каждый из которых может быть представлен управляемым устройством по параметрам подачи топлива, количества и состава выпускных газов.

Результаты исследования. Как первый этап решения указанной проблемы, на примере кривых изменения значений температуры выпускных газов, оценено влияние выше указанных параметров на работу системы, а так же вероятность ошибок первого и второго уровней во время контроля значения параметров работы (ДВС).

На рис.1 представлен график изменения температуры выпускных газов 2-тактного 6-цилиндрового ДВС во время изменения внешних условий эксплуатации. Отметим отрыв кривой 2 от графиков остальных цилиндров в условиях электронного мониторинга, подчеркнув при этом, что механические термометры всех цилиндров стоят на одинаковых отметках.

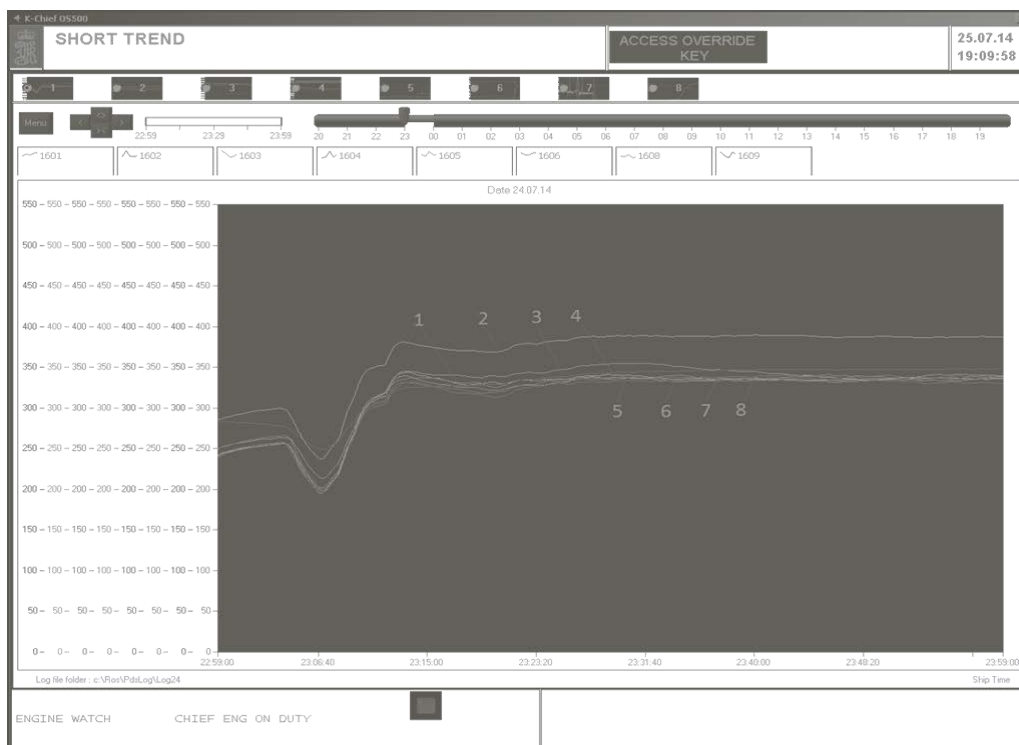


Рис. 1 – График кривых изменения значений температуры выпускных газов ДВС при изменении условий внешней среды

Математическая модель рассматриваемого процесса. Используем модель контролируемого процесса в виде:

$$X(t) = a_0 \pm a_1 t^\gamma, \quad (1)$$

где a_0 , a_1 , γ – пуассоновские независимые случайные величины с главными математическими ожиданиями и дисперсиями

$$M[a_0] = m_0; \quad M[a_1] = m_1; \quad M[\gamma] = \gamma_0; \quad (2)$$

$$D[a_0] = \sigma_0^2; \quad D[a_1] = \sigma_1^2; \quad D[\gamma] = \sigma_\gamma^2, \quad \left[\frac{\sigma_\gamma^2}{\sigma_1^2 / m_1^2} \right] \ll 1. \quad (3)$$

Тут a_0 совпадает с размерностью X , размерность a_1 – это размерность скорости изменения X , величина γ нормализует безразмерную относительную скорость изменения X .

Вместо двух составляющих поля $N_1(t)$ и N_2 введем одну эквивалентную $\xi(t)$, которая здесь и в дальнейшем будет иметь значение гауссова стационарного служебного символа – гауссов белый шум.

В момент контроля τ_k случайное значение контролируемого параметра имеет вид:

$$Y_k = x(\tau_k) + \xi(\tau_k) = a_0 \pm a_1 \tau_k^\gamma + \xi(t). \quad (4)$$

Это соотношение рассматривается как математическая модель рассматриваемого процесса при диагностике параметров.

Числовых характеристик Y_k как пуассоновской случайной величины так же две, математическое ожидание:

$$M[Y_k] = m_{y_k} = m_0 \pm m_1 \tau_k^\gamma \quad (5)$$

и дисперсия:

$$D[Y_k] = \sigma_0^2 + \sigma_1^2 \tau_k^{2\gamma} + \sigma_{\xi k}^2 = \sigma_{xk}^2 + \sigma_{\xi k}^2. \quad (6)$$

Из формул (5) и (6) вытекает, что математические ожидания X_k и Y_k идентичны:

$$M[Y(\tau_k)] = M[x(\tau_k)] = m_{y_k} = m_{xk}, \quad (7)$$

а дисперсия Y_k – отличается от дисперсии X_k на величину $\delta_{\xi k}^2$. Если шум является величиной стационарной, то дисперсия не зависит от момента контроля:

$$\sigma_{\xi k}^2 = \sigma_{\xi i}^2 = \sigma_\xi^2. \quad (8)$$

Рассмотрим условия работоспособности и отказа системы контроля параметров. На рис. 2 показано влияние шумов на адекватность контроля нестабильного параметра. Кривая 2 отражает изменения $x_j(t)$ контролируемого параметра X для конкретного j -го процесса – по сути, это j -я реализация $X(t)$. Отказ j -го изменения наступает в момент времени T_j , когда $x_j(t)$ достигает границы допуска $a = x_{kp}$, где x_{kp} – критическое значение параметра.

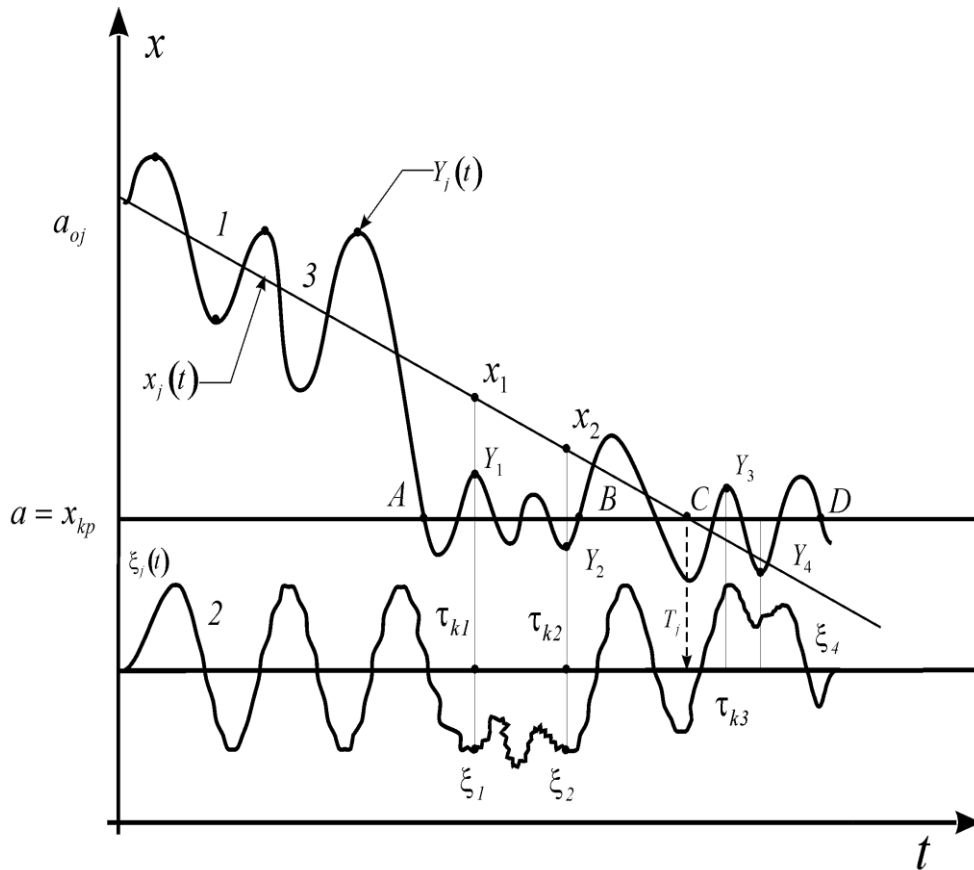


Рис. 2 – Влияние шумов на достоверность контроля нестабильного параметра
Отсюда следует, что условие работоспособности должно иметь вид:

$$x_j(t) > x_{kp} \tag{9}$$

При этом, условие отказа:

$$x_j(t) \leq x_{kp}, x_j(t) - x_{kp} \leq 0 \tag{10}$$

Логическое условие (10) есть фундаментально-математическим условием отказа процесса. Момент отказа процесса из условия (10) при использовании знака равенства:

$$T_j = \left(\frac{a_{0j} - x_{kp}}{a_{1j}} \right)^{1/\gamma_j} \tag{11}$$

где поточный показатель j указывает на принадлежность к j -й реализации $X(t)$.

Исследуем влияние шума на достоверность контроля. На рис. 3 показана j -я реализация $\xi_j(t)$ шума $\xi(t)$ (кривая 2). При суммировании $x_j(t)$ и $\xi_j(t)$ определяется полярная регрессия $y_j(t)$ (кривая 3), которая наблюдается в момент контроля.

Рассмотрим четыре характерных примера шумов в момент контроля $\tau_{k1}, \tau_{k2}, \tau_{k3}, \tau_{k4}$. В момент τ_{k1} значение параметра $X_1 > X_{kp}$, значение шума $\xi_1 < 0$, потому что $X_1 - \xi_1 < X_1 - X_{kp}$, при $Y_1 > X_{kp}$ и отметка, отсутствует из-за «малого» шума, т.е. параметр достоверен. В момент τ_{k2} переменное значение $X_2 > X_{kp}$, но из-за действия шума $Y_2 < X_{kp}$ и по разработкам контроля параметр определяется как недостоверный, то есть совершается ошибка контроля первого рода.

В момент времени T_j процесс перешел в недостоверное состояние, что следует из условия (9). Точка C характеризует пересечение $X_j(t)$ и X_{kp} . На интервале времени CD идет контроль недостоверного верного процесса. Если он осуществляется в момент τ_{k3} , то $Y_3 > X_{kp}$ из-за действия шума и прослеживается ошибка второго рода. Расчеты проведены с использованием выражений (9...12).

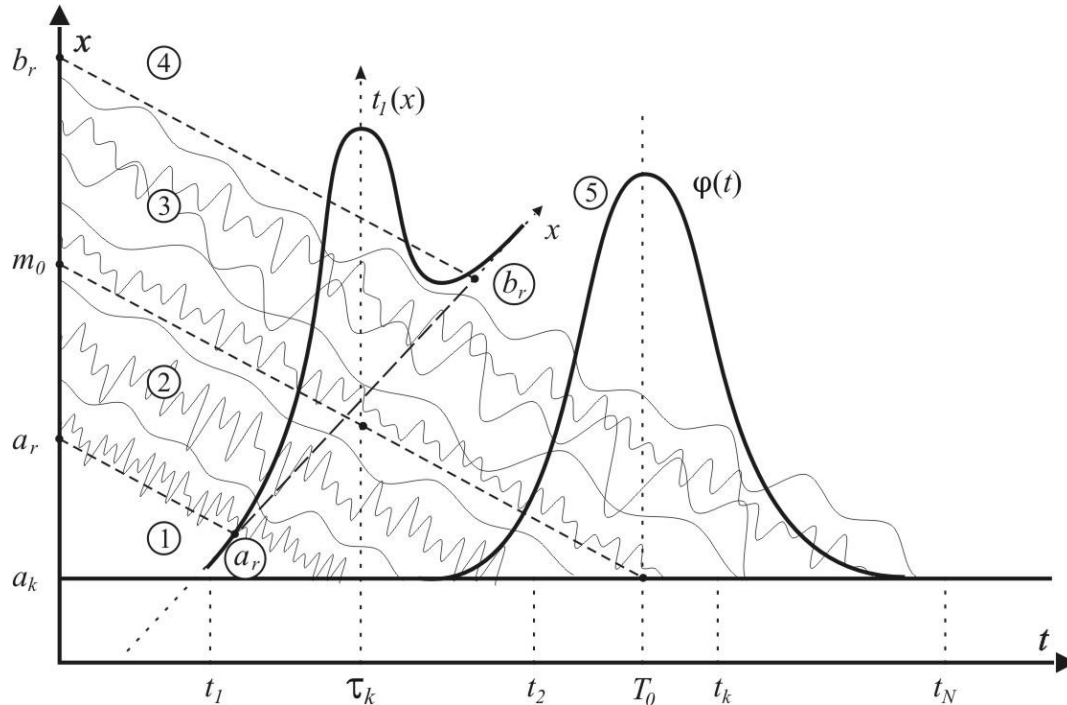


Рис. 3 – Влияние шума на контроль

Формирование пространственных и временных характеристик контроля диагностических параметров. На рис. 3 показана реализация $X(t)$ при уменьшении значений контролируемого параметра, кривая имеет аналогичный вид и при увеличении значений параметра. И в том, и в другом случаях, можно рассматривать изменения, например, так:

$$Z(t) = \begin{cases} \frac{X(t) - X_{kp}}{m_0 - X_{kp}}, & m'_x(t) < 0 \\ \frac{X_{kp} - X(t)}{X_{kp} - m_0}, & m'_x(t) > 0, \quad t \in [0, T] \end{cases}, \quad (12)$$

где $M'_x(t) = \frac{d}{dt} m_x(t)$ – производная; T – интервал наблюдения.

Параметр $Z(t) \in [0, 1]$, при $X(t) = m_0$, $Z(t) = 1$, при $X(t) = X_{kp}$, $Z(t) = 0$. Отсюда следует, что в результате нормирования $X(t)$, противоположные направления изменения значений параметров $X(t)$, сводятся к следующему: сначала параметр $Z(t)$ принимает значение, равное единице, а потом уменьшается до нуля. Отсюда следует, что справедливо утверждение, что регрессии изменяются так, как показано на рис. 3, тем более, что в большинстве случаев, ухудшение состояния измерения ассоциируется с уменьшением значения контролируемого параметра.

Кроме того, рис. 3 показывает шумы контроля, а также поля для основных параметров расчета достоверности.

Используя проведенные расчеты, во время перенастройки системы контроля параметров судового ДВС был получен следующий результат, приведенный на рис. 4.

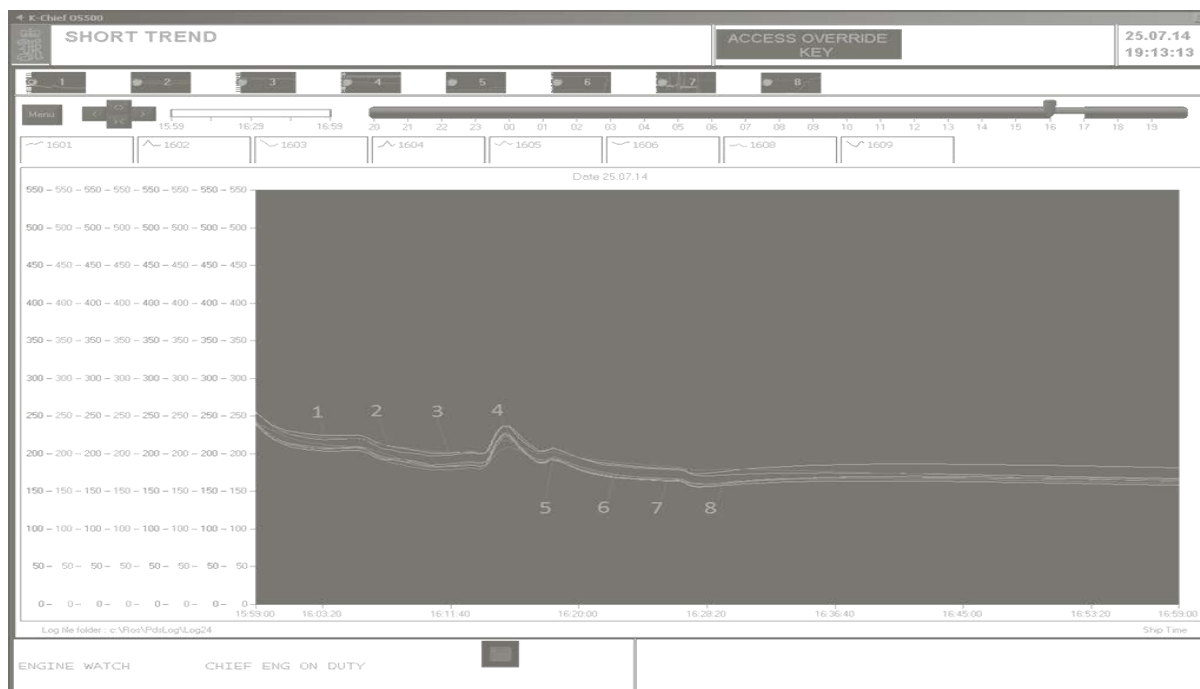


Рис.4 – График кривых изменения значений температуры выпускных газов ДВС при изменении условий внешней среды

График настроен таким образом, что: кривая 1 – температура выпускных газов цилиндра №1; кривая 2 – температура выпускных газов цилиндра №2; кривая 3 – температура выпускных газов цилиндра №3; кривая 4 – температура выпускных газов цилиндра №4; кривая 5 – температура выпускных газов цилиндра №5; кривая 6 – температура выпускных газов цилиндра №6; кривая 7 – температура выпускных газов на входе газовой турбины; кривая 8 – температура выпускных газов на выходе газовой турбины;

Следует отметить, что кривые изменения значений температуры цилиндров ДВС при изменении внешних условий эксплуатации, имеют практически идентичный переходной процесс, а так же уменьшенную разность в показаниях, по сравнению с механическими термометрами, установленными на ДВС.

Данные графиков получены экспериментальным путем с судового главного двигателя внутреннего сгорания типа WARTSILA-SULCER 6 RT-flex 50b с электронным впрыском топлива, действующего судна «m/v ER Turku» проекта WJZ24, 2009 года постройки [3].

Автоматизированная система мониторинга и контроля фирмы «KONGSBERG», позволяет механику-оператору совершить настройки метода и характера воспроизведения параметров контролируемого механизма по собственному желанию. В данном примере использована программа «Short trend», которая дает возможность в виде кривых проследить за изменением значений температуры выпускных газов ДВС.

Расчеты показывают, что шум не оказывает влияния на результаты контроля – при его малой величине, или определенном стечении обстоятельств, в другом случае влияние его существенно, что проявляется в виде появления ошибок первого и второго рода.

Показанные плоскости $X(t)$ (1), $\varphi(t)$ (2) и $\xi(t)$ (3), границы полей допусков: гарантированных – a_1 , b_1 и контрольных – a_2 , b_2 , среднеквадратическое отклонение σ_x , σ_ξ и σ_y , соответственно, X , Y и ξ . Наглядно показано проявление ошибки первого рода, когда значение X_2 из-за действия точки ξ_2 выходит за границы интервала.

Аналогічно показано проявлення помилки другого роду, коли значення $X_3 \notin [a_1, b_1]$ із-за дії шуму ξ_3 перетворюється в $\varphi_3 \in [a_1, b_1]$. В той же час, якщо на протязі контролю використовувати допуски a_2, b_2 , тоді і в тому, і в іншому випадку значення параметра визначається як достовірне, оскільки Y_2 і Y_3 потрапляють в середину інтервалу $[a_2, b_2]$.

Таким чином, моделювання показує вплив критеріїв вибору гарантованого і контрольних допусків контролюваного параметра на достовірність контролю.

Висновки. В статті показано вплив помилки першого роду, коли значення контролюваного параметра виходить за межі інтервалу допусків параметрів роботи ДВС. Це призводить до нестабільності роботи системи контролю і моніторингу, яка в свою чергу здійснює помилкове керуюче вплив по відношенню до об'єкта регулювання – ДВС (зменшує/збільшує подачу палива в певний циліндр без потреби). Також наявність помилки другого роду, яка виникає при наявності шуму і перевищенні значенням X_3 меж допусків. Це в результаті передбачає бездіяльність системи управління і моніторингу в момент потреби подати на об'єкт регулювання керуючий сигнал (зменшити/збільшити подачу палива в певний циліндр).

Таким чином, можна зробити висновок, що проявлення помилок першого і другого роду, а також шуми вимірювання, мають негативний вплив на роботу системи контролю і моніторингу, зменшують тим самим показник надійності її роботи, а також надійності роботи ДВС.

Слід зауважити, що при налаштуванні системи вимірювання (практичної реалізації вищевказаних розрахунків), в процесі експлуатації механізму, можна уникнути зниження ефективності його роботи. А також, збільшити інтервали планових технічних оглядів/ремонтів, в результаті покращення умов експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сергиєнко Л. І. Електроенергетичні системи морських судів / Л. І. Сергиєнко, В. В. Міронов. – М. : Транспорт, 1991.
2. Надійність, ремонт і монтаж металургічних машин / В. Д. Плахтін. – М. : Металургія, 1983. – 415 с.
3. KONGSBERG K-Chief 500 Alarm and Monitoring System user & maintenance manual, SeaMate 2004 (Edition : 3.6.51.68 DB version: 6.8.4) ; Project No.: P4359701/03/04/05, 758 p.

Ісась Є.О., Сіманенков А.Л. ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ ДІАГНОСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ ДВЗ

Стаття розглядає проблематику налаштування параметрів роботи системи контролю та діагностування динамічних характеристик суднового двигуна внутрішнього згорання, на прикладі двотактного шестициліндрового ДВЗ типу WARTSILA-SULCER 6 RT-flex 50b. На прикладі кривих змінень значень температури випускних газів суднового ДВЗ під час змінень умов зовнішнього середовища, показано вплив значень гарантованого та контрольних допусків на прийняття системою моніторингу рішення, щодо регулюючого впливу на об'єкт керування (ДВЗ). Аналітичним методом показаний вплив помилок першого та другого рівнів на роботу автоматичної системи стеження та управління під час змінень умов зовнішнього середовища. Авторами доведена важливість прорахунку та дослідження впливів заданих допусків, а також шумів вимірювання під час моделювання та вибору критеріїв оцінювання роботи системи вимірювання та контролю параметрів роботи суднових ДВЗ.

Ключові слова: система контролю та діагностики суднового ДВЗ, гарантований допуск, контрольний допуск, помилка вимірювання.

Isaev J.A., Simanenkov A.L. RELIABILITY ESTIMATION FOR CONTROL OF THE SHIPS ICE DIAGNOSTICS CHARACTERISTICS

This article deals with the control and diagnostic system parameters of the ship internal combustion engine dynamic characteristics, evidence from two – stroke 6 – cylinders ICE type WARTSILA-SULCER 6 RT-flex 50b. The influence of the guaranteed and pilot limits value on the monitoring system decision acceptance about the control action given to the plant lag (ICE) is exemplified by measuring curves changing of ICE exhaust gas temperature in accordance with external environment conditions changes. The analytical method was used to illustrate the impact of the first and second stage errors on the automatic monitoring and regulating system, in accordance with changes of external environmental conditions. The authors have proved the importance of calculation and researches of the suppositions mentioned above, as well as measurement patters value during modeling and choosing criteria for ships ICE working parameters control and monitoring system working estimation.

Keywords: ships ICE parameters control and monitoring system, guaranteed limit, pilot limit, measurement error.

© Ісаєв Є.О., Сіманенков А.Л.

Статтю прийнято
до редакції 15.09.14