

возникновения;

- сокращение расхода топлива путем своевременного обнаружения и устранения дефектов и нарушений в настройке топливной аппаратуры.

- проведение модернизации с использованием результатов трендового анализа для создания систем управления СЭУ по техническому состоянию

**Список литературы:**

1. Варбанец Р. А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей / Р. А. Варбанец // Судостроение. – 2004. – № 6. – С. 24-27. 2. Суворов П.С. Управление режимами главных судовых дизелей / Суворов П.С. – Одесса: ЛАТСТАР, 2000. – 238с. 3. Wartsila 2-stroke engines Manual “Operator flexView” – Switzerland: Wartsila, 2008, – P. 152. 4. Wartsila RT-flex82C Operating manual “Marine” – Switzerland: Wartsila, 2009, revision 2.3.1 – P. 42. 5. Миська А.Р. Информационный подход к мониторингу техни-

ческого состояния судовых дизель-генераторных установок / А.Р. Миська, А.О. Дранкова, Н.И. Муха // Авиационно-космическая техника и технология: Научно-технический журнал. – Харьков: ХАИ. – 2010. – № 8(75). – С.136 – 139.

**Bibliography (transliterated):**

1. Varbanec R. A. Sistemy komp'juternoj diagnostiki sudovyh dizelej / R. A. Varbanec // Sudohodstvo. – 2004. – № 6. – S. 24-27. 2. Suvorov P.S. Upravlenie rezhimami glavnyh sudovyh dizelej / P.S. Suvorov. – Odessa: LATSTAR, 2000. – 238s. 3. Wartsila 2-stroke engines Manual “Operator flexView” – Switzerland: Wartsila, 2008, – P. 152. 4. Wartsila RT-flex82C Operating manual “Ma-rine” – Switzerland: Wartsila, 2009, revision 2.3.1 – P. 42. 5. Mis'ka A.R. Informacionnyj podhod k monitoringu tehničko-go sostojanija sudovyh dizel'-generatornyh ustano-vok / A.R. Mis'ka, A.O. Drankova, N.I. Muha // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija: Nauchno-tehnicheskij zhurnal. – Har'kov: HAI. – 2010. - № 8(75). – S.136 – 139.

УДК 681.518.54

**А.Г. Гацуц, асп.**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

**Введение**

На морских судах до 80% аварий происходит от неверных действий судовых операторов или непонимания ими процессов, происходящих в судовой энергетической установке (СЭУ), особенно в экстремальных условиях. До 20% аварий происходит вследствие внезапных отказов судовых технических средств [1].

Для совершенствования технической эксплуатации СЭУ на сегодняшний день были внедрены мониторинговая система, информационно-менеджментная система и человеко-машинные интерфейсы [2]. Однако применение мониторинговой системы не всегда эффективно. Современные мониторинговые системы позволяют делать до 10<sup>8</sup> измерений параметров СЭУ за секунду. Усреднение результатов мониторинга лишает его главной технической характеристики. Результаты мониторинга трудно обрабатывать в судовых условиях без использования экспертных систем. Экспертные системы позволяют наиболее эффективно использовать результаты мониторинга для решения эксплуатационных вопросов. Они имеют свойство решать эксплуатационные вопросы подобно судовым операторам. На морских судах при эксплуатации СЭУ, наряду с информационным контуром, существует контур знаний [2]. Очевидно, от конту-

ра знаний во многом зависит уровень эксплуатации СЭУ, что вносит особенности в их техническую эксплуатацию.

**Постановка проблемы и цель исследования**

В настоящее время СЭУ с экспертными системами характеризуются небольшим объемом базы знаний и невысокой эффективностью логического блока. Отсутствуют структурные знания по необратимым процессам при их рассмотрении на выходе мониторинговой системы. Экспертные системы служат, в первую очередь, для быстрой и лучшей идентификации процессов, происходящих в СЭУ. Совершенствование эксплуатации СЭУ с экспертными системами путем дополнения контура знаний приводит к повышению искусственной компетентности экспертной системы при решении эксплуатационных вопросов. Необходимо отметить, что работы по наполнению контура знаний глубинными знаниями значительно менее успешны, чем технические возможности современных компьютеров [3].

Концепция СЭУ с экспертными системами состоит в слиянии судовых технических средств (СТС), защищенных от ошибок оператора, с искусственной компетентностью их технической эксплуатации. Экспертные системы являются нераздельной частью СТС. Это образует искусственную

интеллектуальную систему [4]. Отметим, что для морских судов при помощи экспертных систем можно исследовать надежность СЭУ и принцип их построения. СЭУ с экспертными системами целесообразно разрабатывать с децентрализованными системами наблюдения, контроля и управления. Применение подобных систем (EMDAS, GEAMAP100ISL и другие) приводит к уменьшению расхода топлива, более полному представлению о процессах и лучшим возможностям для их проведения и оптимизации. На рис. 1 представлена схема эксплуатации СТС с экспертными системами [2], 1 - процесс преобразования энергии в СТС (опреснители, электрические машины и др.); 2 - управляющая система параметрами СТС; 3 - мониторинговая система параметров СТС; 4 - информационно-менеджментная система; 5 - человеко-машинный

интерфейс; 6,7 - экспертные системы. В [2] Доказано, что использование экспертных систем является закономерным этапом в совершенствовании эксплуатации СТС. Мониторинговая система позволяет получать информацию о процессах для малых промежутков времени. При этом оператор перегружен информацией, но из-за малых промежутков времени, этой информации недостаточно для принятия решений. Характер информации не всегда понятен оператору из-за стохастического поведения параметров. При отсутствии экспертных систем знания приобретались экспертами, которые обучали судовых операторов. С появлением экспертных систем возникает контур знаний, который играет важную роль для совершенствования эксплуатации СТС.

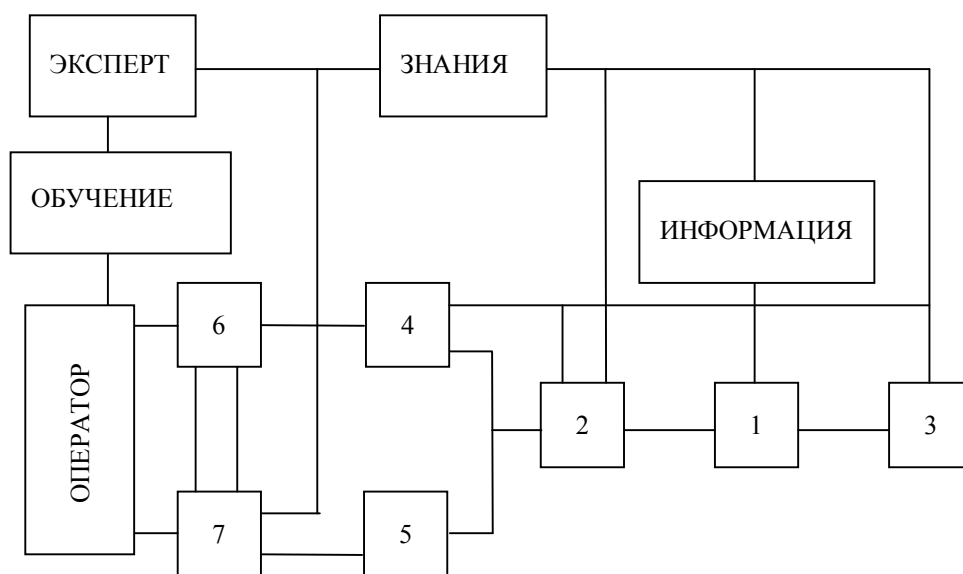


Рис.1. Схема эксплуатации СТС с экспертными системами:

1 - процесс преобразования энергии в СТС (опреснители, электрические машины и др.); 2 - управляющая система параметрами СТС; 3 - мониторинговая система параметров СТС; 4 - информационно-менеджментная система; 5 - человеко-машинный интерфейс; 6,7 - экспертные системы

#### Применение нового принципа концептуализации непрерывных и дискретных моделей

С целью наполнения контура знаний экспертных систем в [5] было постулировано понятие интераптона для необратимых тепловых или электрических процессов. Интераптон - это мезоскопическое локальное количество теплоты или электричества со стохастическим временем "жизни" без внутренних микроскопических и внешних макроскопических воздействий. Новый термин введен необходимостью присвоения уникального имени

новому понятию и возможностью его наделения экспертной системой [6]. При этом осуществлен переход от понятий тепловых и электрических полей к структурным представлениям о необратимых процессах.

В [7] доказано, что непрерывные и дискретные модели необходимо концептуализировать при помощи нового принципа, который в [7] назван интераптивностью. Этот принцип исключает идеализированные представления о времени "жизни" для рассматриваемых временных интервалов. От-

метим, что результаты математического моделирования можно использовать для обучения экспертной системы [8]. Используя эти результаты, она сможет получать новые понятия, классы необратимых тепловых или электрических процессов.

**Решение проблемы**

Так, для адекватного обучения экспертной системы управлению системой охлаждения ДВС, которая наиболее часто применяется в СЭУ, необходимо создать такую математическую модель теплонпряженности цилиндропоршневой группы (ЦПГ) судового ДВС, которая учитывала бы стохастическое свойство тепловых потоков.

В соответствии с [7] принимаем неклассическое определение теплового процесса, как временной способ взаимосвязи локальных явлений. При такой трактовке время уже не является математическим временем классической механики или термодинамики, а является главным понятием для процесса.

Определим локальные тепловые явления, которые описываются законами

$$\Delta D = q, \tag{1}$$

$$\Delta j = -dq/dt, \tag{2}$$

$$D = \tau \cdot j, \tag{3}$$

где  $\Delta$  - символ математической дивергенции;  $D, j$  - векторы теплового смещения и искомого теплового потока;  $q$  - объемное количество теплоты;  $t$  - математическое время;  $\partial q/\partial t$  - неинтерпретированная производная;  $\tau$  - параметр, который обеспечивает взаимосвязь локальных явлений.

Уравнение (1) описывает локальные тепловые взаимодействия, уравнение (2) - локальное взаимодействие тепловых потоков. Уравнения (1) и (2) используются при описании тепловых процессов. Уравнение (3) записано по аналогии с электрическими процессами [7].

Тепловой процесс протекает при определённых граничных условиях. Для случая ЦПГ судового ДВС граничными условиями могут быть температура газов в цилиндре и температура охлаждающей среды. Принятие данных граничных условий обусловлено тем, что они соответствуют понятию термодинамической температуры, и их измерение не составляет труда.

В [9] отмечается, что для математического моделирования ЦПГ дизеля можно использовать схему из плоских слоёв, которые характеризуются тепловыми параметрами. Например, необходимо учитывать следующие слои:

- ядро заряда смеси в цилиндре;
- граничный слой заряда смеси;
- слой масла и нагара на втулке;
- слой тела втулки;
- слой накипи на втулке и охлаждающей среды.

Стоит отметить, что принимать более десяти слоёв для ЦПГ судового ДВС не рационально [9].

Для схемы двухслойной теплопроводящей среды (рис.2) запишем систему уравнений в соответствии с [10].

$$Q_{12} = \tau_2 \cdot j_2 - \tau_1 \cdot j_1, \tag{4}$$

$$\frac{dQ_{12}}{dt} = j_1 \cdot j_2, \tag{5}$$

$$\frac{d_1}{x_1} \cdot j_1 + \frac{d_2}{x_2} \cdot j_2 = T_0 - T_2, \tag{6}$$

где  $j_1 = x_1(T_0 - T_1)d_1^{-1}$ ;  $j_2 = x_2(T_1 - T_2)d_2^{-1}$ ;  $d/dt$  - неинтерпретированная производная.

Уравнение (6) записано по аналогии закона электрических напряжений. В [10] обоснована возможность рассмотрения системы уравнений (4) - (5) как системы уравнений для двухслойной электрической модели, рассмотренной в [7], что соответствует известному принципу единства математического описания тепловых и электрических процессов [11].

Преобразование системы уравнений (4) - (5) даёт

$$\frac{dQ_{12}}{dt} = -g_{11} \cdot Q_{12} + g_{12} \cdot (T_0 - T_2), \tag{7}$$

где  $g_{11} = (d_1 x_1^{-1} + d_2 x_2^{-1}) (\tau_2 d_1 x_1^{-1} + \tau_1 d_2 x_2^{-1})^{-1}$ ;  
 $g_{12} = (\tau_2 + \tau_1) (\tau_2 d_1 x_1^{-1} + \tau_1 d_2 x_2^{-1})^{-1}$ .

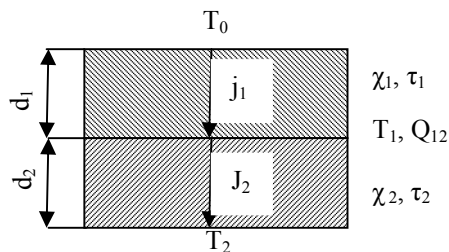


Рис. 2 Двухслойная теплопроводящая среда:  $T_0, T_2$  - абсолютные температуры;  $j_1, j_2$  - искомые тепловые потоки в слоях;  $T_1$  - абсолютная температура между слоями;  $Q_{12}$  - поверхностное количество теплоты на границе слоёв;  $\chi_1, \chi_2$  - теплопроводности слоёв;  $\tau_1, \tau_2$  - параметры слоев;  $d_1, d_2$  - толщины слоёв

На рис.2 абсолютные температуры  $T_0, T_2$  приняты граничными условиями,  $j_1, j_2$  - искомые тепло-

вые потоки в слоях,  $T_1$  - абсолютная температура между слоями,  $Q_{12}$  - поверхностное количество теплоты на границе слоёв,  $\chi_1, \chi_2$  - теплопроводности слоёв,  $\tau_1, \tau_2$  - параметры слоев, которые зависят от энергии слоя и интенсивности её рассеяния,  $d_1, d_2$  - толщины слоёв.

По аналогии составим систему уравнений для семислойной теплопроводящей среды (рис.3).

$$\begin{aligned} \frac{dQ_{12}}{dt} &= -\sum_{n=1}^6 g_{1n} \cdot Q_{nn+1} + g_{17} \cdot (T_0 - T_7), \\ \frac{dQ_{23}}{dt} &= -\sum_{n=1}^6 g_{2n} \cdot Q_{nn+1} + g_{27} \cdot (T_0 - T_7), \\ \frac{dQ_{67}}{dt} &= -\sum_{n=1}^6 g_{6n} \cdot Q_{nn+1} + g_{67} \cdot (T_0 - T_7), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $Q_{12}, \dots, Q_{67}$  - поверхностные количества теплоты между слоями;  $g_{11}, \dots, g_{67}$  - коэффициенты, зависящие от параметров слоёв;  $T_0, T_7$  - абсолютные температуры, являющиеся граничными условиями.

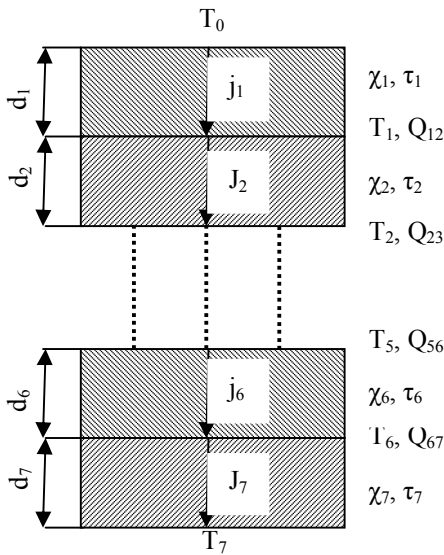


Рис.3 Семислойная теплопроводящая среда:  $T_0, T_7$  - абсолютные температуры;  $j_1 \dots j_7$  - искомые тепловые потоки в слоях;  $T_1 \dots T_6$  - абсолютная температура между слоями;  $Q_{12} \dots Q_{67}$  - поверхностное количество теплоты на границе слоёв;  $\chi_1 \dots \chi_7$  - теплопроводности слоёв;  $\tau_1 \dots \tau_7$  - параметры слоев;  $d_1 \dots d_7$  - толщины слоёв

Для системы (8), в соответствии с [3, 7], формулы для расчёта коэффициентов будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} g_{11} &= [\tau_1^{-1} \cdot \sum_{n=2}^6 (d_n \cdot \tau_n^{-1} \cdot x_n^{-1}) + \tau_2^{-1} \cdot d_1 \cdot x_1^{-1} \cdot \tau_1^{-1}] \times \\ &\times [\sum_{n=1}^6 (d_n \cdot \tau_n^{-1} \cdot x_n^{-1})]^{-1}, \\ g_{67} &= (\tau_6^{-1} - \tau_7^{-1}) \cdot [\sum_{n=1}^6 (d_n \cdot \tau_n^{-1} \cdot x_n^{-1})]^{-1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Значения искомых тепловых потоков рассчитываются в соответствии с формулами, приведенными в [1, 10].

Систему уравнений (8) невозможно сразу считать классической и интегрировать классическим путём для поиска неизвестных  $Q_{12}, \dots, Q_{67}$  [1 10]. Коэффициенты данной системы уравнений содержат параметры слоёв  $\tau_1, \dots, \tau_7$ , которые в соответствии с классическими представлениями определяются как отношение энергии слоя к её рассеянию. В частном случае параметры  $\tau_1, \dots, \tau_7$  равняются произведению теплоёмкости слоя на его температурное сопротивление. Именно флуктуации этих параметров обеспечивают временную связь локальных тепловых явлений, которые описываются уравнениями (1), (2). В системе уравнений (8) уже невозможно считать  $Q_{12}, \dots, Q_{67}$  классическими поверхностными количествами теплоты, поэтому в соответствии с [3 7] можно их называть поверхностными интераптонами. Числовое интегрирование данной интерактивной системы уравнений можно выполнять на основе теории стохастического интеграла Римана-Стилтьеса. Параметры  $\tau_1, \dots, \tau_7$  определим в виде:

$$\tau = \{\tau_\xi\} + \xi, \quad (10)$$

где  $\{\tau_\xi\}$  - средние значения параметров  $\tau_1, \dots, \tau_7$ ;  $\xi$  - составляющая, которая непрерывно изменяется.

### Заключение

Применение новых принципов интерактивности для описания тепловых процессов дает возможность создавать адекватные математические модели процессов многослойной теплопередачи, которые, в свою очередь, можно использовать для обучения экспертных систем управления СЭУ, тем самым, повышая их искусственную компетентность.

Однако для определения числовых значений коэффициентов (9), которые используются в моделях, необходимы дополнительные самостоятельные исследования.

**Список литературы:**

1. Реферативный журнал. 05. Водный транспорт. Сводный том. №6. – М.: ВИНТИ, 1995. – 40с. 2. *Modeling and control of marine craft* /Ed. by M.M.A. Pourzanjam, G.N. Roberts. – Essex: EAS, 1991. – 417 p. 3. *Diagnostic and preventive maintenance strategies in manufacturing systems*/Ed. by V.R. Milacic, G.F. McWaters. – Amsetrdam etc.: North-Holland, 1991. – 252с. 4 Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен. – М.: Мир, 1989. – 388 с. 5. Радченко А.П. Мониторинг рабочих процессов в судовых энергетических установках. – дис. ... канд. техн. наук / А.П. Радченко. – Одесса. – 1996. – 298 с. 6. Элти Дж. Экспертные системы: Концепция и примеры / Дж. Элти, М. Кумбс. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 191 с. 7. Радченко А.П. Интерактоны / А.П. Радченко. – К.:Лыбидь, 1991.-188с. 8. Мичи Д. Компьютер – творец / Д. Мичи, Р. Джонсон. – М.: Мир, 1987. – 255 с. 9. Горб С.И. Моделирование судовых дизельных установок и систем управления / С.И. Горб. – М.: Транспорт, 1993. – 134 с. 10. Радченко А.П. Стохастическая модель теплонпряженности судового дизель-генератора / А.П. Радченко, Букхалфа Бендахман, Рашид Буда // Судовые энергетические установки.: Науч.тех.сб. – Одесса, ОГМА. – 2000 – №5. – с.94-98. 11.

Фейман Р. Феймановские лекции по физике / Р. Фейман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Вып.5. – М.:Мир, 1966.-295 с.

**Bibliography (transliterated):**

1. Referativnyj zhurnal. 05. Vodnyj transport. Svodnyj tom. №6. – М.: VINITI, 1995. – 40s. 2. *Modeling and control of marine craft* /Ed. by M.M.A. Pourzanjam, G.N. Roberts. – Essex: EAS, 1991. – 417 p. 3. *Diagnostic and preventive maintenance strategies in manufacturing systems*/Ed. by V.R. Milacic, G.F. McWaters. – Amsetrdam etc.: North-Holland, 1991. – 252с. 4 Uotermen D. Rukovodstvo po jekspertnym sistemam / D. Uotermen. – М.: Mir, 1989. – 388 s. 5. Radchenko A.P. Monitoring rabochih pro-cessov v sudovyh jenergeticheskikh ustanovkah. – dis. ... kand. tehn. nauk / A.P. Radchenko. – Odessa. – 1996. – 298 s. 6. Jelti Dzh. Jekspertnye sistemy: Konceptmm i pri-mery / Dzh. Jelti, M. Kumbs. – М.: Finansy i statistika, 1987. – 191 s. 7. Radchenko A.P. Interaptony / A.P. Radchenko. – К.:Lybid', 1991.-188s. 8. Michi D. Kom-p'juter – tvorec / D. Michi, R. Dzhonson. – М.: Mir, 1987. – 255 s. 9. Gorb S.I. Modelirovanie sudovyh di-zel'nyh ustanovok i sistem upravlenija / S.I. Gorb. – М.: Transport, 1993. – 134 s. 10. Radchenko A.P. Stohasticheskaja model' teplonaprzzhennosti sudovogo dizel'-generatora / A.P. Radchenko, Bukhhalfa Bendahman, Rashid Buda // Sudovye jenergeticheskie ustanovki.: Na-uch.teh.sb. – Odessa, OGMA. – 2000 – №5. – s.94-98. 11. Fejman R. Fejmanovskie lekicii po fizike / R. Fejman, R. Lejton, M. Sjends. Vyp.5. – М.:Mir, 1966.-295 s.