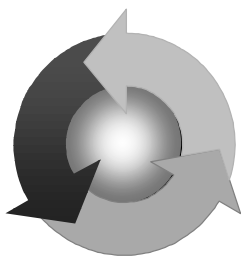


ISSN 1815-6770

Министерство образования и науки Украины  
ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

# **Судовые энергетические установки**



Научно-технический сборник

**Выпуск 32**

Одесса  
2013

ББК 39.46  
С 204  
УДК 629.123.066

Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 32. – Одесса: ОНМА, 2013. –204 с.

Сборник посвящен проблемам судовой энергетики, проектирования, модернизации и эксплуатации судовых энергетических установок, методам повышения эффективности и надёжности использования судовых технических средств. Сборник входит в перечень изданий, одобренных ВАК Украины по разделу технические науки.

Для научных работников и специалистов.

Редакционная коллегия: д.т.н., проф. А.М. Берестовой, АМИ; д.т.н., проф. Л.В. Вишневский, ОНМА; д.т.н., проф. В.А. Голиков, д.т.н., проф. С.И. Горб, ОНМА; д.т.н., проф. Н.Ф. Гречко, ОНМА; д.т.н., проф. В.Н. Захарченко, ОНМА; д.т.н., проф. В.Г. Ивановский, ОНМУ; д.т.н., проф. В.В. Капустин, СНТУ; к.т.н., проф. ОНМА М.А. Колегаев, (редактор); д.т.н., проф. М.В. Миюсов, ОНМА; д.т.н., проф. Н.С. Молодцов, ОНМА; к.т.н., проф. А.Н. Пипченко, ОНМА; д.т.н., проф. Г.Ф. Романовский, НУК; д.т.н., проф. С.С. Рыжков, НУК; д.т.н., проф. П.С. Суворов, Дунайская комиссия по развитию судоходства; д.т.н., проф. В.В. Тарапата, ОНМА; ст.преп. Ю.И. Журавлев, ОНМА.

Адрес редакционной коллегии: 65029, Одесса, ул. Дидрихсона, 8, Одесская национальная морская академия (ОНМА), кафедра ТМС.  
Контактные телефоны редакции (048) 733-49-24, 733-23-52.  
e-mail: zhuravlov.y@ya.ru

Компьютерная вёрстка Журавлев Ю.И.

Утверждено учёным советом ОНМА, протокол №3 от 29.10.13.

© Одесская национальная морская академия

## Содержание

<i>Тарасенко Т.В.</i> Повышение энергоэффективности судов с ВРШ при эксплуатации на коротких морских линиях .....	5
<i>Лалетин Е. Л.</i> Оптимизация периодичности технического обслуживания судовых дизелей .....	12
<i>Богач В.М.</i> Оптимизация процесса маслоподачи системой смазывания длинноходовых двигателей WARTSILA .....	18
<i>Журавлев Ю.И.</i> Методика моделирования повышения показателей надежности сопряжений деталей «Вал-подшипник скольжения» .....	29
<i>Половинка Э.М., Мартынов С.В., Ткач Ю.И.</i> Исследование скоростной характеристики гибридной системы впрыскивания топлива судового среднеоборотного дизеля .....	34
<i>Половинка Э.М., Яковенко А.Ю.</i> Разработка и исследование комбинированного датчика давления топлива .....	41
<i>Половинка Э.М. Албул Д.А.</i> Характеристики топливо-воздушных смесей в качестве рабочего тела для систем топливоподачи судовых дизелей .....	50
<i>Парменова Д.Г.</i> Определяющие факторы при выборе методов оценки риска .....	59
<i>Шевченко О.И.</i> Использование искусственных нейронных сетей для диагностики заболеваний .....	66
<i>Шевченко О.И.</i> Прогнозування ризику ускладненнь травмування внутрішніх органів .....	70
<i>Бобырь В.А., Ворохобин И.И.</i> Оценка эффективности судовых эргатических функций .....	74
<i>Слободянюк Д. И.</i> Диагностическая модель работоспособности поршневого кольца судового двигателя при реализации анизотропных свойств смазывающих материалов .....	83
<i>Парменова Д.Г.</i> Повышение эффективности подготовки моряков по вопросам безопасности труда .....	93
<i>Приходько Е.А.</i> Применение «теории катастроф» для построения базисной модели мониторинга динамических систем .....	97
<i>Добровольский В.В., Солодовников В.Г.</i> Энергетическая эффективность топливных систем современных транспортных судов работающих на высоковязких сортах тяжелых топлив вязкостью 380 мм <sup>2</sup> /с и выше .....	101
<i>Тымкив А.В., Денисов В.Г.</i> Методы и средства диагностирования судовой энергетической установки. ....	113
<i>Приходько Е.А.</i> Аспекты применения риск-менеджмента в условиях повышенной опасности .....	124
<i>Калугин В. Н.</i> Анализ надёжности судовых дизелей .....	129
<i>Калугин В. Н.</i> Адаптация судовых котельных установок к использованию топлив с низким содержанием серы .....	135
<i>Донской В. Г.</i> Эффективность системы контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок .....	141

---

<i>Демидова Н.П.</i> Контроль и оценка качества жидкого топлива .....	144
<i>Гуденко С.Ю., Заичко С.И.</i> Оценка степени влияния естественных помех на радиолокационное обнаружение объектов.....	154
<i>Горюк А.А., Кузнецова А.А., Михайленко В.И.</i> Поглощение и рассеяние лазерного луча в нефтеводяной эмульсии .....	163
<i>Бойко П.А.</i> Современное состояние и перспективы морских перевозок природного газа в Украину.....	168
<i>Шакун К.С., Бондарь С.А, Аболешкин С.Е.</i> Модернизированный подход к описанию эволюции износа судовых механических систем .....	177
<i>Ренетей В.Д.</i> Совершенствование организации управления операциями SAR.....	185
Рефераты.....	195
Правила оформления и представления рукописей для сборника «Судовые энергетические установки».....	203

УДК 656.61.052

Тарасенко Т.В.  
ЧАО «УДП»

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВ С ВРШ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА КОРОТКИХ МОРСКИХ ЛИНИЯХ

В соответствии с Резолюцией ИМО MERC.203 (62) введены поправки к Приложению VI к МАРПОЛ по техническим мерам сокращения выбросов парниковых газов с судов, вступающие в силу с 01.01.2013 г. Установлены два основных требования:

1) для каждого нового судна валовой вместимостью 400 и более тонн должны быть определены требуемый и допустимый конструктивные индексы (коэффициенты) энергетической эффективности (EEDI);

2) на каждом новом или существующем судне валовой вместимостью 400 и более тонн должен иметься и выполняться судовой план управления энергоэффективностью судна (SEEMP).

Достигнутый EEDI должен определяться в соответствии с пересмотренным «Руководством ИМО по методу расчета конструктивного индекса энергетической эффективности для новых судов 2012», приведенном в Резолюции MERC 212 (63).

Согласно [6]

$$EEDI = \frac{P \cdot SFC \cdot C_F}{Capacity \cdot v}, \text{ г/(т} \cdot \text{миля)}.$$

где  $P$  – мощность главного двигателя (ГД), кВт;  $SFC$  – удельный расход топлива, г/(кВт·ч);  $C_F$  – коэффициент выбросов  $CO_2$  (безразмерный конверсионный фактор между потреблением топлива и выбросом  $CO_2$ ),  $C_F = T_{CO_2} / T_{\text{топлива}}$ ;  $Capacity$  – дедвейт для грузовых судов или валовая вместимость, для пассажирских судов, т;  $v$  – скорость судна, узлы. Числитель в этой формуле представляет собой выбросы  $CO_2$ , г, а знаменатель – транспортную работу, т·миля.

Расчёт достижимого  $EEDI_{attained}$  строго регламентирован:

$$EEDI_{attained} = \overbrace{\left\{ \left( \prod_{j=1}^M f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) \right\}}^{\text{Эмиссия } CO_2 \text{ главных двигателей}} +$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Эмиссия } \text{CO}_2 \text{ вспомогательных двигателей} \\
 & + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + \left( \prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \\
 & \left. \left( \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right) \right\} \cdot \frac{1}{\underbrace{f_i \cdot Capacity \cdot v_{ref} \cdot f_w}_{\text{Транспортная работа}}}
 \end{aligned}$$

Показатели ИМО, как и показатели энергетической эффективности следует количественно снижать, что возможно как при уменьшении числителя (расхода топлива всеми судовыми потребителями), так и при увеличении знаменателя (производимой судном работы).

К инновациям, влияющим на знаменатель формулы показателя ИМО, следует отнести:

- полное использование транспортных характеристик судна – грузоподъемности, грузовместимости и т. д.;
- выбор оптимальных скоростей движения судна;
- оптимизацию схем и оборудования управления движением судна и т. п.

К инновациям, влияющим на числитель формулы показателей ИМО, следует отнести, прежде всего, влияние состояния корпуса судна и его движителей, в том числе окраска корпуса судна красками, снижающими сопротивление движению.

Расчет индекса  $EEDI_{attained}$  для судна типа «Измаил» приведен в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные и результаты расчета по т/х «Измаил»

Верфь	ENVC, Португалия
Корпус	92167
ИМО №	9447885
Ледовый класс	ЛЗ
Тип	многоцелевое
Длина, м	88,15
Длина между перпендикулярами, м	82,3
Ширина, м	15,5
Осадка, м	5,67
Дедвейт, т	4109

Главный двигатель	Wärtsilä Vasa
Тип	6R32BC
Топливо	HFO
$C_{FME}$ , $\Gamma_{CO_2}/\Gamma$	3,114
Максимальная продолжительная мощность ( $MCR_{ME}$ ), кВт	1985
$P_{ME} = 0,75 MCR_{ME} - 0,75 P_{SG}/\eta_{SG}$ , кВт	1281
Удельное потребление топлива при 75% MCR (SFC), г/(кВт-ч)	188
Количество главных двигателей	1
Фактор влияния ледового усиления на дедейт $f_j$	0,97–1,00
Фактор влияния ледового усиления на мощность $f_i$	1
Скорость судна на глубокой воде при грузовой осадке при 75% MCR, узл.	11
Винт. Тип	ВРШ
Диаметр, м	3,5
Количество лопастей	4
Количество	1
Дизель-генераторы. Производитель	MAN 02866 TE
Максимальная продолжительная мощность (MCR), кВт	190
Мощность $P_{AE} = 0,05 MCR_{ME}$ , кВт	99
Топливо	DO
$C_{FAE}$ , $\Gamma_{CO_2}/\Gamma$	3,206
Удельное потребление топлива при 50% MCR (SFC)	212
Напряжение, В	380/220В
Количество	2
Валогенератор. Производитель	STAMFORD MNC434E2
Выходная мощность $P_{PTO}$ , кВт	250
Напряжение, В	380/220
КПД валогенератора $\eta_{SG}$	0,89
Количество	1
Утилизационный котел	SUNROD EGE TYP1A
Мощность $P_{PTI}$ , кВт	207
Производительность	7 кг/см <sup>2</sup>
Индекс $EEDI_{attained}$	11,35

Судовой план управления энергоэффективностью судна (SEEMP) разрабатывается компанией для каждого судна с использованием эксплуатационного коэффициента энергетической эффективности (*EEOI*) в соответствии с рекомендациями MERC.1/Circ.684 от 17.08.2009 г., но могут быть использованы и иные показатели.

Проектный (конструктивный) индикатор (индекс) энергетической эффективности для новых судов *EEDI* (индекс эффективности использования энергии (ИЭИЭ) или конструктивный коэффициент энергетической эффективности (ККЭЭ)) и эксплуатационный критерий (показатель, индикатор) энергетической эффективности судна *EEOI* имеют одинаковый физический смысл – отношение количества произведенного парникового газа  $\text{CO}_2$  к величине транспортной работы судна за определенный период времени (рейс, год и т.д.) и различаются лишь способом подсчета составляющих:

$$EEDI = \frac{(M_{\text{ТЭРпроект}} \cdot C_F)}{A_{\text{проект}}}, \frac{\text{масса CO}_2}{\text{Т} \cdot \text{км}}; \quad (1)$$

$$EEOI = \frac{(M_{\text{ТЭРфакт}} \cdot C_F)}{A_{\text{факт}}}, \frac{\text{масса CO}_2}{\text{Т} \cdot \text{км}}; \quad (2)$$

где  $M_{\text{ТЭРпроект}}$ ;  $M_{\text{ТЭРфакт}}$  – проектное и действительное потребление топлива всеми судовыми потребителями энергии, кг топлива/рейс;  $A_{\text{проект}}$ ;  $A_{\text{факт}}$  – проектная и действительная произведенная работа судна, т·км/рейс;  $C_F$  – безразмерный конверсионный фактор приведения расхода топлива к выбросам  $\text{CO}_2$ , кг $\text{CO}_2$ /кгтоплива.

Из анализа физического смысла формул (1) и (2) следует, что индексы *EEDI* и *EEOI* являются не столько показателями энергетической эффективности судна, например, приведенные в [1, 2], сколько показателями генерации парникового газа  $\text{CO}_2$  и отражают взаимосвязи трех факторов:

- расход топлива;
- приведение этого расхода к выбросам  $\text{CO}_2$ ;
- работу судовой энергетической установки или судна в целом.

Таким образом, показатели ИМО характеризуют производство показателей энергетической эффективности работы судна на фактор приведения к выбросу  $\text{CO}_2$ , обозначаемый  $C_F$ . Показатель  $C_F$  зависит



от типа топлива. Его значение в соответствии с документами ИМО выбирается из табл. 2.

Таблица 2. Значение безразмерного конверсионного фактора между потреблением топлива и производством  $\text{CO}_2$

Тип топлива	Ссылка	Содержание углерода	$C_{F,г} \text{CO}_2/\text{г}$ топлива
1. Дизельное топливо/газойль	ИСО 8217 Сорта DMX и DMV	0,8744	3,206
2. Легкое топливо	ИСО 8217 Сорта RMA ч RMD	0,8594	3,151
3. Тяжелое топливо	ИСО 8217 Сорта RME ч RMK	0,8493	3,114
4. Сжиженный нефтяной газ LPG	Пропан	0,8182	3,000
	Бутан	0,8264	3,030
5. Сжиженный природный газ LNG		0,7500	2,750

Определение операционного коэффициента (индекса) энергоэффективности связано с необходимостью учета изменения условий плавания судна в течение рейса. Это связано с изменением направления и интенсивности ветра и волнения, изменения курсового угла встречи волн, прохождения проливов и участков, на которых может ощущаться влияние мелководья на посадку и характеристики ходкости судна, маневровые операции и т.п. На каждом из этапов рейса судна по каждому району перехода  $A_i$  [3], для которых условия движения квазистационарны, значения  $EEOI$  будут различны. Таким образом в идеале задача судоводителя обеспечить такие режимы движения судна в эксплуатации, чтобы на каждом  $A_i$  участке перехода обеспечить выполнение условий  $A$  и  $B$ :

1. допустимое значение  $EEOI_{A_i}$

$$A = (EEOI_{A_i} \rightarrow EEDI \rightarrow EEDI_{attained}); \quad (1)$$

2. минимальный расход топлива

$$B = (B_{q_i} \rightarrow B_{q_{\min}}) \quad (2)$$

При этом очевидно, что условия  $A$  (1) и  $B$  (2) равносильны и логически взаимосвязаны:  $B \Rightarrow A$ .

С эксплуатационной точки зрения наиболее важным является коэффициент  $f_w$  – безразмерный коэффициент, учитывающий снижение скорости судна при изменении метеоусловий (высота волн, скорость ветра и т.д.). В настоящее время не существует рекомендаций по определению его значений. Диапазон значений также не известен. На данном этапе ИМО рекомендует для расчета коэффициентов (индексов) энергетической эффективности принимать значение  $f_w = 1$ .

Однако учитывая, что для судов типа т/х «Измаил» в эксплуатационных условиях были определены характеристики, на основании которых построены зависимости удельного эффективного расхода топлива для волнения различной интенсивности (пример такой графической зависимости приведен в статье [5]), представляется возможным их использование в качестве основы для определения степени влияния морского волнения в эксплуатационных условиях на значения коэффициентов (индексов) энергоэффективности. При этом учитывается, что поддержание частоты вращения  $n = \text{const}$  осуществляется всережимным регулятором частоты вращения (РЧВ) со встроенным ограничителем нагрузки, который определяет рациональные скоростные режимы нагружения дизеля в процессе перемещения рейки топливных насосов высокого давления (ТНВД) в зависимости от темпа роста давления наддувочного воздуха.

Таким образом, учитывая, что коэффициент  $f_w$  является функцией  $f_w = f_w(h_{3\%}, \phi_w)$ , примем

$$f_w(h_{3\%}, \phi_w) = \frac{b_e(h_{3\%}, \phi_w)}{b_{e0}},$$

где  $b_e(h_{3\%}, \phi_w)$  – удельный эффективный расход топлива в эксплуатационных условиях с учетом интенсивности волнения и курсового угла встречи волн;  $b_{e0}$  – нормативное (базовое) значение удельного эффективного расхода топлива, принятое для данного судна.

Тогда для т/х «Измаил» при  $b_{e0} = 0,278$  кг/кВт·ч и  $b_e(h_{3\%}, \phi_w)$ , определенных в результате эксплуатационных наблюдений, значе-

ние фактора  $f_w$  в эксплуатационном диапазоне скоростей и характеристик волнения будет находиться в диапазоне  $f_w = 0,84 \div 1,01$ .

Соответственно, при равных условиях изменение  $EEOI$  для разных этапов и (участков) рейса будет колебаться в пределах  $EEOI_{Ai} = 13,5 \div 11,25$  при скорости движения судна  $v = 11$  уз. в зависимости от условий плавания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков В.А., Обертюр К.Л., Кирис В.А. Модель расчета конструктивной энергоэффективности морского судна на примере контейнеровоза // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – 2012. – Вып. 29. – Одесса: ОНМА. – с. 23-34.

2. Егоров Г.В., Колесник Д.В. Оценка энергоэффективности грузовых судов смешанного плавания // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2012. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – с. 27-43.

3. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Прогнозирование влияния нерегулярного волнения на ходкость одновинтового судна // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2005. – Вып. 10. – Одесса: ОНМА. – с. 76-92.

4. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Задача создания Short Sea Shipping – коротких морских сообщений для Дуная // International Black Sea Transport Forum. Транспортная стратегия Украины. 21–22 октября 2009 г. Официальный каталог – 2009. – Одесса: Mediacompass. – С. 40 - 41.

5. Суворов П.С., Тарасенко Т.В. Экономичные режимы главных двигателей с ВРШ в условиях волнения // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сб. – 2009. – Вып. 15. – Одесса: ОНМА. – с. 83-98.

6. MEPC 60/4/35. Prevention of Air Pollution from Ships, Mandatory EEDI requirements. - Draft text for adding a new part to MARPOL Annex VI for regulation of the energy efficiency of ships.

УДК 621.431.74

Лалетин Е. Л.  
ОНМА

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Для поддержания соответствующего уровня надежности дизелей, в эксплуатации применяются различные мероприятия, одним из которых является установление и применение оптимальной периодичности технического обслуживания (ТО). Согласно действующей на морском флоте системе непрерывного технического обслуживания разборку двигателей и механизмов судовой энергетической установки для профилактического осмотра и ремонта следует производить через определяемые интервалы времени (по величине наработки), указанные в документации. Однако, в настоящее время все еще существуют расхождение между осуществляемой на практике и предусмотренной план-графиками периодичностью технического обслуживания. Вместе с тем, имеющийся статистический материал позволяет достаточно обоснованно определять периодичность технического обслуживания путем ее оптимизации по минимуму затрат.

Вопросы совершенствования системы ТО и ремонта рассматриваются в многочисленных источниках, например в [1] – [6], что указывает на актуальность данной проблемы. Так, в работе [1] указывается на необходимость применения уровня надежности и эксплуатационной технологичности судовой техники, характеризующей безотказность и долговечность судовых элементов, их приспособленность к выполнению технологических операций технического обслуживания и ремонта. Этот уровень предлагается определять по критерию минимальных среднегодовых совокупных затрат на постройку, ТО и ремонт, отнесенных к одному году нормативного срока службы судна. В работе [2] указывается на недостатки проведения мероприятий по ТО и ремонту дизелей с периодичностью, установленной на основе нормативных документов.

Ниже рассматриваются методы установления оптимальной по затратам периодичности ТО для главных малооборотных дизелей. При этом анализ информации о надежности их элементов показывает, что в некоторых случаях элементы двигателя достигают предельного уровня технического состояния прежде выработки ими уста-

новленного срока между вскрытиями, что повышает вероятность отказов. В других случаях элементы после выработки установленного срока между вскрытиями сохраняют значительную долю своей работоспособности. Следовательно их преждевременная разборка вызывает излишние трудовые и материальные затраты, изменяет характер приработки и снижает надежность.

Суммарные затраты на техническое обслуживание можно разделить на две части: первую- на не запланированные работы, вызванные внезапными отказами; вторую- на ТО по план- графикам. Оптимальным временем назначения ТО будет такое, при котором суммарные затраты на поддержании дизеля в безотказном состоянии будут минимальными.

В качестве критерия для оценки оптимальной периодичности ТО дизелей принята функция:

$$C_3(\tau) = \frac{\sum C_{3\text{то}}}{n_0 P(\tau) \tau}, \text{ у.е./ч} \quad (1),$$

где  $\sum C_{3\text{то}}$  - совокупные затраты ( на ТО и вызванные простоями судна вследствие отказов), отнесенные к некоторому установленному периоду времени: году или эксплуатационно-ремонтному циклу ;  
 $n_0$ - количество единиц некоторого элемента дизеля, подлежащие ТО в этот же период;

$\tau$ - наработка дизеля;

$P(\tau)$ - вероятность безотказной работы.

Функция  $C_3(\tau)$  выражает затраты, проходящие на обеспечение одного часа безотказной работы данного элемента дизеля в границах установленного периода.

В величину  $\sum C_{3\text{то}}$  входят затраты, вызванные непредусмотренными план- графиком (неплановыми) работами  $C_{3\text{за}}^*$  и на плановые работы  $C_{3\text{пр}}$ , включающие устранение нормального износа или «невяного» отказа (обнаруживаемого во время проведения ТО);

$$\sum C_{3\text{то}} = C_{3\text{пр}} + C_{3\text{за}}^*, \text{ у.е.} \quad (2)$$

$$C_{3\text{пр}} = C_{33} + S_{\text{пр}}, \text{ у.е.} \quad (3)$$

Сюда входят затраты:

$C_{33}$ - на замену отказавшего узла,

$S_{\text{пр}} = A_{\text{тр}}$ . Втр- на профилактические работы, где  $A_{\text{тр}}$ - трудоемкость профилактических работ, определяемая по статистическим данным;

$V_{\text{тр}}$  - стоимость одного чел. часа

Затем:

$$C_{3A}^* = C_{3B}^* + C_{33}, \text{ у.е.}, \quad (4)$$

Причем, затраты на вынужденную остановку судна

$$C_{3B}^* = C_d \tau_{\text{вм}}, \text{ у.е.}, \quad (5)$$

где  $\tau_{\text{вм}}$  – время вынужденной остановки судна в море ;

$C_d$  – средняя доходная ставка судна в час.

Как видим, в данном случае, в затраты на вынужденную остановку не вошла вероятность отказа элемента в море вследствие того, что при построении модели оптимизации технического обслуживания сделано допущение: постепенные отказы, устраняемые преждевременно (не по графику) на берегу, могли бы перейти во внезапные, аварийные отказы, влекущие остановку судна в море. Поэтому принято для обеспечения «запаса прочности», что все неплановые отказы происходят в море.

Замены деталей вследствие «неявного» отказа или нормального износа могут происходить также при плановом техническом обслуживании. Поэтому в затратах на плановые работы (3), включением  $C_{33}$  также обеспечен запас прочности.

Общие материальные затраты на обеспечение работы некоторого элемента двигателя в течение времени  $\tau$  :

$$\Sigma C_{3\text{то}}(\tau) = C_{3\text{пр}} n_{\text{опр}} + C_{3A}^* n_{\text{оА}} = C_{3\text{пр}} n_0 P(\tau) + C_{3A}^* n_0 [1 - P(\tau)], \text{ у.е.}, \quad (6)$$

где  $n_{\text{опр}} = n_0 P(\tau)$ ;  $n_{\text{оА}} = n_0 [1 - P(\tau)]$  - соответственно количество предусмотренных и непредусмотренных план-графиком работ за время  $\tau$ .

Подставляя выражение (6) в (1), получим:

$$C_3(\tau) = \frac{C_{3\text{пр}} n_0 P(\tau) + C_{3A} n_0 [1 - P(\tau)]}{n_0 P(\tau) \tau} = \frac{C_{3\text{пр}} P(\tau) + C_{3A} [1 - P(\tau)]}{P(\tau) \tau}, \text{ у.е. /ч} \quad (7)$$

Заменим  $C_{3\text{пр}}$  и  $C_{3A}$  их выражениями (3) и (4), тогда

$$C_3(\tau) = \frac{(C_{33} + S_{\text{пр}}) P(\tau) + (C_{33} + C_{3B}^*) [1 - P(\tau)]}{P(\tau) \tau}, \text{ у.е. /ч}$$

Обозначим:

$$Z_1 = \frac{C_{33} + S_{\text{пр}}}{C_{33}}; \quad Z_2 = \frac{C_{33} + C_{3B}^*}{C_{33}}$$

$$\text{Тогда:} \quad \frac{C_3(\tau)}{C_{33}} = \frac{Z_1 P(\tau) + Z_2 [1 - P(\tau)]}{P(\tau)}, \text{ 1/ч} \quad (8)$$

Окончательно:

$$C_3(\tau) = C_{33} \left( \frac{Z_1 - Z_2}{\tau} + \frac{Z_2}{P(\tau)\tau} \right), \text{ у.е. /ч} \quad (9)$$

Если по выражению (9) для каждой детали исследуемых дизелей определить значение функции  $C_3(\tau)$ , то оптимальный период будет соответствовать наименьшему значению этой функции.

В качестве примера приведем расчет оптимальной периодичности технического обслуживания выхлопных клапанов двигателей

7ДКРН 74/160. По формуле  $P(\tau) = \exp[-(\frac{\tau}{a})^b]$ , соответствующей за-

кону распределения Вейбулла и найденными значениями  $a=1400$  и  $b=1,2$  для интервалов времени в 0,25 тыс. часов определены значения вероятности безотказной работы  $P(\tau)$ .

$\tau, 10^3$	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,0	2,25	2,50
$P(\tau)$	0,870	0,725	0,593	0,478	0,381	0,301	0,236	0,184	0,142	0,110

Для расчета отношения  $C_3(\tau) / C_{33}$  использована формула (9).

Для данного случая:  $Z_1=1,154$ ;  $Z_2=1,511$ ;  $C_{33}=229$ ;  $Z_1 - Z_2 = - 0,357$ .

Путем подстановки исходных данных в формулу (9) для первого интервала найдено:

$$C_3(\tau) / C_{33} = - 0,357 / 0,25 + 1,511 / 0,218 = 5,502;$$

$$C_3(\tau) = 5,502 * 229 = 1259 \text{ у.е./ ч}$$

Для всех интервалов получены следующие значения  $C_3(\tau)$ ;

$\tau, 10^3 \text{ ч}$	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,0	2,25	2,5
$C_3(\tau), \text{ у.е./ч}$	1259	790	669	642	660	711	790	901	1046	1234

На рис.1 для данного примера приведена графическая зависимость  $C_3(\tau) = f(\tau)$ .

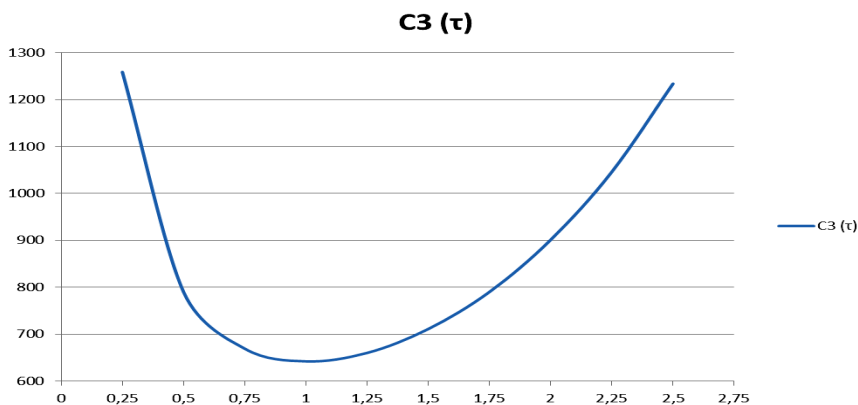


Рис.1. График зависимости  $C_3(\tau) = \hat{f}(\tau)$ .

Оптимальную периодичность технического обслуживания можно также определять по регрессионной зависимости функции  $Z_3 = \tau_{\text{опт}} / \tau_{\text{ср}}$  от аргумента  $Z_4 = C_{\text{зпр}} / C_{\text{зА..}}$

Здесь  $\tau_{\text{ср}}$  - средняя наработка детали между отказами.

На рис.2 показано расположение экспериментальных точек (соединенных ломанной линией) и теоретическая линия регрессии, построенная по уравнению, которое определено с помощью метода наименьших квадратов:

$$Z_3 = 0,328 + 0,653Z_4 . \quad (10)$$

Эта зависимость позволяет находить оптимальный период технического обслуживания двигателей новых судов данной серии или прогнозировать его для последующих модификаций. При этом отношение  $C_{\text{зпр}} / C_{\text{зА..}}$  принимается постоянным, а определяющим является изменение средней наработки между отказами:

$$\tau_{\text{опт}} = Z_3 * \tau_{\text{ср}} . \quad (11)$$

Рассчитав  $\tau_{\text{ср}}$  и определив по величине  $Z_4$  (рис.2) значение  $Z_3$ , находим оптимальный период технического обслуживания -  $\tau_{\text{опт}}$ .



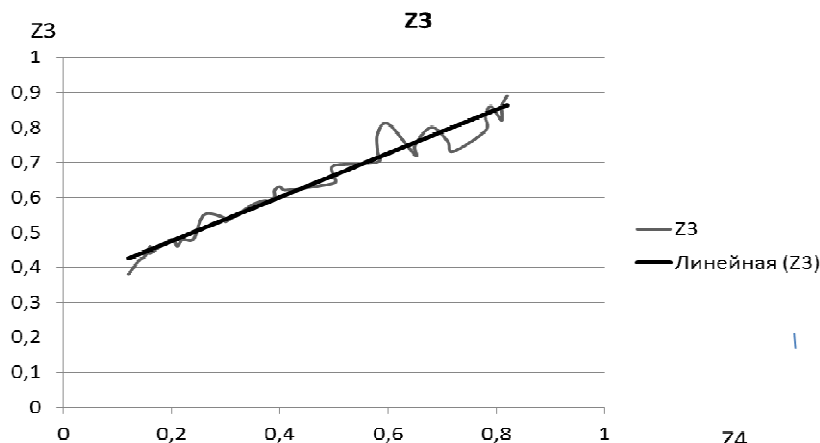


Рис.2. График зависимости  $Z3 = \hat{f}(Z4)$

Полученные значения  $\tau_{\text{опт}}$  должны быть откорректированы по методу кратности, согласно которому периодичность выполнения более сложной работы, например моточистки, должна быть кратной периодичности более простых работ (по клапанам, подшипникам и т.п.).

Использование приведенной выше методики позволяет корректировать план-графики проведения технического обслуживания дизелей, планировать расход сменно-запасных частей, минимизировать суммарные затраты на поддержание дизелей в безотказном состоянии, повышать надежность их работы и эффективность эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов В.С., Гальперин М.М. Управление технической эксплуатацией морского флота. М.: Транспорт, 1987. 298с.
2. Гальперин М.М. Система технического обслуживания и ремонта морских судов. М.: Транспорт, 1981. 302с.
3. Лаханин В.В., Мхиторян В.И. Техническое обслуживание и ремонт флота. М.: Транспорт, 1978. 182с.
4. Мозгалевский А.В., Калявин В.Г. Системы диагностирования судового оборудования. Л.: Судостроение, 1982. 140с.
5. Овсянников М.К., Петухов В.А. Эксплуатационные качества судовых дизелей. Л.: Судостроение, 1982. 202с.
6. Трунин С.В., Промыслов Л.А., Смирнов О.Р. Надежность судовых машин и механизмов. Л.: Судостроение, 1980. 192с.

УДК 621.431.74.03-57

Богач В.М.  
ОНМА

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МАСЛОПОДАЧИ СИСТЕМОЙ СМАЗЫВАНИЯ ДЛИННОХОДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ WARTSILA

Экспериментальные исследования конструкций нагнетательного тракта систем смазывания цилиндров длинноходовых ДВС, позволили определить характеристики его элементов, влияющие на формирование процесса маслоподдачи в цилиндр. К ним в первую очередь относятся геометрические характеристики маслоподводящего канала (рис.1).

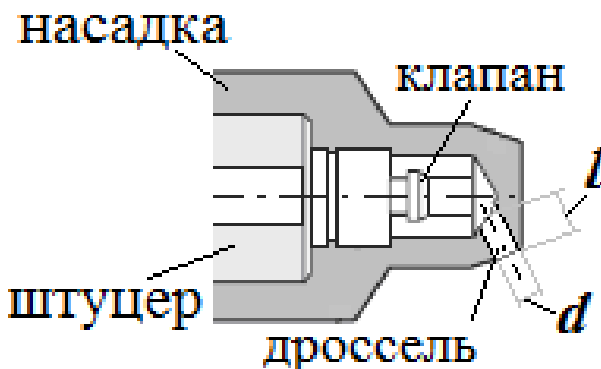


Рис. 1. Геометрия маслоподводящего канала

Для определения путей совершенствования систем смазывания, необходимо отыскание оптимального сочетания таких геометрических параметров, которые обеспечат эффективную работу системы смазывания. Эта задача решалась методом многофакторного эксперимента [6,50,52]. При этом в качестве оценочного показателя совершенства процесса маслоподдачи, выбрано равномерность подачи масла по оборотам двигателя (в процентах).

Для записи плана эксперимента и обработки экспериментальных данных воспользуемся кодированными значениями факторов  $X_i$ , которые связаны с физическими переменными  $\tilde{X}_i$  следующим соотношением:

$$X_i = \frac{\tilde{X}_i - \tilde{X}_{i0}}{J_i} \quad (1)$$

где:  $\tilde{X}_i$  - текущее значение физической переменной;  $\tilde{X}_0$  - основной уровень физической величины фактора;  $J_i$  - физический интервал варьирования. На основании известных значений геометрических параметров маслоподводящего тракта, выбранных в качестве основных факторов (рис.1), были установлены границы их изменения. В этих границах, для каждого из факторов, выбраны основные, верхние и нижние уровни, а также интервалы их варьирования (табл.1).

Таблица 1. Уровни факторов и интервалы варьирования

№ п/п	Факторы	Уровни			Интервалы варьирования
		нижний	основной	верхний	
1	Длина канала дросселя - $l$ ( $X_1$ )	2	3	4	1
2	Жесткость пружины аккумулятора - $g_{ак}$ ( $X_2$ )	4	5	6	1
3	Жесткость пружины клапана - $g_{кл}$ ( $X_3$ )	1	2	3	1
4	Диаметр канала дросселя - $d$ ( $X_4$ )	1	1,5	2	0,5

С целью сокращения количества опытов, воспользуемся дробной репликой от полного факторного эксперимента. После рандомизации опытов получена матрица планирования (табл. 2), которая представляет собой полуреплику от  $2^4$ , заданную генерирующим соотношением  $X_4 = X_1 X_2 X_3$ , с определяющим контрастом -  $1 = X_1 X_2 X_3 X_4$ .

При проведении опытов, для каждого принятого в матрице сочетания факторов, измерялись значения отклика. Для исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними условиями,

последовательность опытов выбиралась на основании таблицы случайных чисел, а уменьшение случайных погрешностей прямого измерения и получение наиболее достоверных результатов, обеспечено путем повторных измерений [64, 66].

Для функции отклика  $Y(X_1X_2X_3X_4)$ , по результатам эксперимента, можно построить уравнение регрессии в виде алгебраического полинома первого порядка

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_{12} + b_{13}X_{13} + b_{23}X_{23} + b_{34}X_{34} + b_{24}X_{24} + b_{14}X_{14}, \quad (2)$$

где:  $b_0, b_1, \dots, b_4$  - коэффициенты уравнения.

Таблица 2. Матрица планирования и результаты экспериментов

№ опыта	Рандомизация	Кодовые обозначения переменных и их значения									Результаты наблюдений					
		$X_0$	$X_{1l}$	$X_{2g_{ак}}$	$X_{3g_{кл}}$	$X_{4d}$	$X_1X_2=X_3X_4$	$X_1X_3=X_2X_4$	$X_2X_3=X_1X_4$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$				
1	9,14,10	+	+	4	+	6	-	1	-	1	+	-	-	71,5	74,5	73,6
2	18,8,12	+	-	2	-	4	-	1	-	1	+	+	+	83,2	83,2	84,5
3	11,17,2	+	+	4	-	4	-	1	+	2	-	-	+	85,3	87,8	84,6
4	15,23,1	+	-	2	+	6	-	1	+	2	-	+	-	80,8	84,6	81,8
5	5,22,3	+	+	4	+	6	+	3	+	2	+	+	+	73,3	75,4	74
6	21,4,24	+	-	2	-	4	+	3	+	2	+	-	-	84,8	87,6	86,3
7	20,7,13	+	+	4	-	4	+	3	-	1	-	+	-	97,9	97,8	98
8	6,16,19	+	-	2	+	6	+	3	-	1	-	-	+	87,7	86,2	85,8

Имея серию повторных опытов с дублированием  $n=3$ , найдем среднее арифметическое всех результатов

$$Y = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{n} \quad (3)$$

где:  $Y_i$  - результат отдельного опыта, и проведем оценку построчной дисперсии, что в данном случае позволяет оценить дисперсию эксперимента с числом степеней свободы  $f_n = n-1$ , по формуле

$$S_{\{y\}}^2 = \sum_1^n \frac{(Y_i - Y)^2}{n-1} \quad (4)$$

Расчет выполняем в среде MS EXCEL.

Полученные результаты измерений располагаем в электронной таблице Excel в столбцах А-Н (рис.2). Оставив место на поясняющие подписи, вычислим соответствующие средние арифметические значения. Для этого в ячейку А8 записываем (или вызываем встроенную функцию) =СРЗНАЧ(А2:А4) и протягиваем ее до ячейки Н8.

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К
1	1	2	3	4	5	6	7	8			
2	71,5	83,2	85,3	80,8	73,3	84,8	97,5	87,7			
3	74,5	83,2	87,8	84,6	75,4	87,6	97,8	86,2			
4	73,6	84,5	84,6	81,8	74	86,3	98	85,8			
5											
6	СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ										
7	1	2	3	4	5	6	7	8			
8	73,2	83,63333	85,9	82,4	74,23333	86,23333	97,76667	86,56667			
9											
10	СУММА КВАДРАТОВ ОТКЛОНЕНИЯ										
11	4,74	1,126667	5,66	7,76	2,286667	3,926667	0,126667	2,006667			
12											
13	ДИСПЕРСИЯ										
14	2,37	0,563333	2,83	3,88	1,143333	1,963333	0,063333	1,003333			
15											

$$Y = \sum_1^n \frac{Y_i}{n}$$

$$S_{\{y\}}^2 = \sum_1^n \frac{(Y_i - Y)^2}{n-1}$$

Рис. 2. Расчет средних значений, сумм квадратов и дисперсии

Для расчета среднеквадратичного отклонения каждой из измеренных величин необходимо просуммировать квадраты разности между каждым измеренным значением и средним арифметическим. Воспользуемся для этого встроенной функцией КВАДРОТКЛ. В ячейке А11 запишем: =КВАДРОТКЛ(А2:А4). Для расчета дисперсии

разделим содержимое ячейки A14 на  $n-1$ , (записав =A14/2) и протягиваем ее до ячейки H8.

Для исключения из экспериментальных данных грубых ошибок, воспользуемся распределением максимального отклонения (рис. 3).

$$r_{\max} = \frac{Y_{\max} - Y_i}{S_{\{y\}} \sqrt{\frac{n-1}{n}}} \quad (5)$$

где  $Y_{\max}$ - наибольшее значение отклика;

$S_{\{y\}} = \sqrt{S_{\{y\}}^2}$  - квадратичная ошибка эксперимента.

Значения отклика однородны, если  $r_{\max} < r_t$ , где  $r_t$  - табличное значение распределения, при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $f_y = n-1$ .

Microsoft Excel - Многофакторный эксперимент									
Значения отклика однородны, при $r_{\max} < r_t$									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ДИСПЕРСИЯ									
2,37	0,563333	2,83	3,88	1,143333	1,963333	0,063333	1,003333	$S_{\{y\}}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - Y)^2}{n-1}$	
КВАДРАТИЧНАЯ ОШИБКА ЭКСПЕРИМЕНТА									
1,53948	0,750555	1,68226	1,969772	1,069268	1,40119	0,251661	1,001665	$S_{\{y\}} = \sqrt{S_{\{y\}}^2}$	
$Y_{\max} - Y_i$									
24,8	14,36667	12,1	15,6	23,76667	11,76667	0,233333	11,43333		
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ									
18,60145	23,44331	8,809227	9,699612	27,22247	10,28495	1,13555	13,97964	$r_{\max} = \frac{Y_{\max} - Y_i}{S_{\{y\}} \sqrt{\frac{n-1}{n}}}$	
Значения отклика однородны, при $r_{\max} < r_t$							$r_t = 1,689$		

Рис. 3. Расчет квадратичной ошибки и распределения максимального отклонения

Для проверки однородности дисперсии воспользуемся критерием Кохрена, который представляет собой отношение максимальной дисперсии  $S_{\max}^2$  к сумме всех дисперсий (рис. 4).

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_1^n S_{\{y\}}^2} \quad (6)$$

дисперсии однородны, если  $G_p < G_t$ ,

где  $G_t$ - табличное значение критерия Кохрена, при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и степенях свободы  $f=n-1$ . При одинаковом числе параллельных опытов во всех точках плана, дисперсия воспроизводимости определяется по выражению

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N S_{\{y\}}^2 \quad (7)$$

где  $N$  - общее число опытов.

Значимость различий 2-х средних проверим по критерию Стьюдента

$$t_{p1} = \frac{Y_{i_{\max}} - Y_{i_{\min}}}{S_y \sqrt{\frac{1}{n_{\max}} - \frac{1}{n_{\min}}}} \quad (8)$$

где  $S_y = \sqrt{S_{\{y\}}^2}$  - погрешность воспроизводимости.

Различия между значениями отклика в различных точках плана существенно, если  $t_{p1} > t_{t1}$ ,

где  $t_{t1}$  - табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и степенях свободы  $f_y = n_{\max} + n_{\min}$ .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
29	ПРОВЕРКА ОДНОРОДНОСТИ ДИСПЕРСИЙ										
30						СУММА ДИСПЕРСИЙ -			13,816667		
31						КРИТЕРИЙ КОХРЕНА -			0,2808203	$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_1^n S_{\{y\}}^2}$	
32	Дисперсии однородны, поскольку $G_p < G_T$ , где $G_T=0,516$										
33											
34											
35											
36						дисперсия воспроизводимости			1,7270833	$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N S_{\{y\}}^2$	
37											
38											
39											
40						критерий Стьюдента			4,3026527	$t_{p1} = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{S_y \sqrt{\frac{1}{n_{\max}} - \frac{1}{n_{\min}}}}$	
41											
42	Различия между значениями отклика существенно, поскольку										
43	$t_{p1} > t_{T1}$ , где $t_{T1}=2,54$										
44											

Рис. 4. Проверка однородности дисперсий

При вычислении коэффициентов выбранной модели (рис.5). используем формулу

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_1^N Y_i X_i \quad (9)$$

значимость коэффициентов проверяем по t - критерию Стьюдента

$$t_{p2} = \frac{|b_i|}{\sqrt{S_{bi}^2}} \quad (10)$$

где  $S_{bi}^2 = \left( \frac{S_y}{\sqrt{Nn}} \right)$  - дисперсия коэффициентов регрессии.

Коэффициенты регрессии считаются значимыми, если  $t_{p2} > t_{t2}$ ,

где:  $t_{t2}$  - табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и степенях свободы  $f_y = N(n-1)$ .



Microsoft Excel - Многофакторный эксперимент

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка Введите вопрос

Times New Roman 12 Ж К Ч

A57 Коэффициенты регрессии значимы, так как  $t_{p2} > t_{t2}$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
44											
45	Вычисление коэффициентов выбранной модели										
46	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_{12}=B_{34}$	$B_{13}=B_{24}$	$B_{23}=B_{14}$			$b_i = \frac{1}{N} \sum_1^N Y_i X_i$
47	83,74167	-0,96667	-4,64167	2,458333	-1,55	-4,41667	0,766667	-1,15833			
48	1	2	3	4	5	6	7	8			
49	Проверяем значимость коэффициентов										
50	дисперсия коэффициентов регрессии										
51	0,314308	0,153237	0,343459	0,402158	0,218307	0,286074	0,05138	0,204505			$S_{bi}^2 = \left( \frac{S_y}{\sqrt{Nn}} \right)$
52											
53											
54	t - критерий Стьюдента										
55	149,3702	2,469419	7,920211	3,876522	3,3174	8,257632	3,382267	2,561425			$t_{p2} = \frac{ b_i }{\sqrt{S_{bi}^2}}$
56											
57	Коэффициенты регрессии значимы, так как $t_{p2} > t_{t2}$ , где $t_{t2} = 2,12$										

Рис.5. Вычисление коэффициентов выбранной модели и проверка их значимости

После подсчета коэффициентов регрессии и проверки их значимости из уравнения (2) получим уравнение регрессии  $\tilde{Y}_u$ . Проверка адекватности уравнения  $\tilde{Y}_u$  опытным данным проведена по F - критерию (Фишера)

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{\{y\}}^2} \quad (11)$$

где  $S_{ad}^2$  - дисперсия адекватности;  $S_{\{y\}}^2$  - дисперсия параметра оптимизации. Оценка дисперсии адекватности производилась по формуле

$$S_{ad}^2 = \frac{nS_{ad}}{N - L} \quad (12)$$

где  $S_{ad} = \sum_1^n (\bar{Y} - \tilde{Y}_u)^2$  - сумма квадратов отклонений средних значений откликов от предсказуемых уравнением регрессии; L - число статистических значимых коэффициентов регрессии.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
59	<b>Проверка адекватности уравнения</b>									
60	Значения откликов из уравнения									
61	74,2333	85,3833	84,4167	81,7	72,7	85	97,3833	84,3		
62	квадраты отклонений									
63	1,067778	3,0625	2,200278	0,49	2,351111	1,521111	0,146944	5,137778	$S_{ad} = \sum_{i=1}^n (\bar{Y} - \tilde{Y}_u)^2$	
64										
65	дисперсия адекватности									
66		2,296875							$S_{ad}^2 = \frac{nS_{ad}}{N-L}$	
67										
68	F - критерий (Фишера)									
69		4,077293							$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_{(y)}^2}$	
70										
71	Модель адекватна, поскольку $F_p < F_t$ ,					где $F_t = 4,5$				
72										
73	УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ									
74	$Y_u = 83,74 - 0,97X_1 - 4,64X_2 + 2,46X_3 - 1,55X_4 - 4,42X_{12} - 4,42X_{34} + 0,77X_{13} + 0,77X_{24} - 1,16X_{23} - 1,16X_{14}$									

Рис. 6. Проверка адекватности модели

Если  $F_p < F_t$ , ( $F_t$  - табличная величина критерия, при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и степенях свободы  $f_{y1} = N-L$ ,  $f_{y2} = N(n-1)$ ), то можно утверждать, что уравнение регрессии адекватно описывает результаты эксперимента (рис. 6) и гипотеза об адекватности модели принимается.

В результате обработки опытных данных получена математическая модель [43,68,69] - уравнение регрессии в кодированных безразмерных значениях факторов равномерности поступления масла по оборотам двигателя:

$$Y_u = 83,74 - 0,97X_1 - 4,64X_2 + 2,46X_3 - 1,55X_4 - 4,42X_{12} - 4,42X_{34} + 0,77X_{13} + 0,77X_{24} - 1,16X_{23} - 1,16X_{14} \quad (13)$$

Полученное уравнение регрессии, используя равенство (2), представим в безразмерной форме натуральной величины равномерности поступления масла по оборотам двигателя

$$R = 83,74 - 0,97l - 4,64g_{ак} + 2,46 g_{кл} - 1,55d - 4,42 l g_{ак} - 4,42 g_{кл} d + 0,77 l g_{кл} + 0,77 g_{ак} d - 1,16 g_{ак} g_{кл} - 1,16 l d \quad (14)$$

Располагая адекватной линейной моделью, предпримем движение по градиенту, с целью отыскания оптимальной геометрии заклапанной полости, обеспечивающей поступление всего масла непосредственно на зеркало цилиндра.

Рассчитываем составляющие градиента из выражения:  $bi Ji$ ,

где  $bi$  - коэффициент  $i$ -го фактора;  $Ji$  - интервал варьирования.

Выбираем шаг и проводим мысленные опыты (табл.5.3), последовательно прибавляя значения шагов к основным уровням факторов.

При адекватной модели, реализацию мысленных опытов начинают с тех, которые, хотя бы по одному из факторов, выходят за область эксперимента. В нашем случае к таким опытам относятся № 15 - в которых по фактору  $X_3$ ,  $X_4$  (жесткости пружин аккумулятора и клапана одинаковы). При таких условия истечение масла приостанавливается.

Указанные опыты реализованы на стенде, при этом получено оптимальное значение отклика, т.е. найдены условия, при которых осуществляется равномерное истечение масла (одинаковое количество масла на каждом обороте двигателя) из канала штуцера. Следовательно, крутое восхождение эффективно и область оптимума достигнута.

В результате проведения многофакторного эксперимента определено, что оптимальными геометрическими параметрами нагнетательного тракта системы цилиндровой смазки, оказывающими основное влияние на качество процесса маслоподачи, являются длина канала дросселя  $l = 2,5-2,6$  мм; жесткость пружины клапана  $g_{кл} = 2,6-2,7$  кГ; диаметр канала дросселя  $d = 1,2-1,25$  мм и жесткость пружины аккумулятора  $g_{ак} = 2,9-3,0$  кГ.

Таблица 3. Расчет кругого восхождения

Фактор	$X_1 (l, \text{мм})$	$X_2 (g_{ак}, \text{кГ})$	$X_3 (g_{кл}, \text{кГ})$	$X_4 (d, \text{мм})$
Основной уровень	3	5	2	1,5
$b_i$	-0,96667	-4,64167	2,458333	-1,55
$b_i J_i$	-0,96667	-4,64167	2,458333	-0,755
Шаг (:30)	-0,025	-0,15	0,05	-0,02
Опыты				
1	2,975	4,85	2,05	1,48
2	2,950	4,70	2,10	1,46
3	2,925	4,55	2,15	1,44
4	2,900	4,40	2,20	1,42
5	2,875	4,25	2,25	1,40
6	2,850	4,10	2,30	1,38
7	2,825	3,95	2,35	1,36
8	2,700	3,80	2,40	1,34
9	2,675	3,65	2,45	1,32
10	2,650	3,50	2,50	1,30
11	2,625	3,35	2,55	1,28
12	2,600	3,20	2,60	1,26
13	2,575	3,05	2,65	1,24
14	2,550	2,90	2,70	1,20
15	2,525	2,75	2,75	1,18

УДК 629.12.565.3

Журавлев Ю.И.  
ОНМА

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СОПРЯЖЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ «ВАЛ-ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ»

Рассмотрена модель, предназначенная для оценки повышения показателей надежности сопряжений «вал-подшипник скольжения», наработки на отказ которых описываются пятью наиболее распространенными законами: нормальным, логарифмически нормальным, экспоненциальным, Эрланга и Вейбулла.

Одно из направлений заключается в выявлении влияния надежности деталей, входящих в состав изделия, на надежность всего узла, агрегата, машины. Это позволяет выявить те детали, которые необходимо совершенствовать в первую очередь, выбрать стратегию повышения надежности технического изделия, оценить количественно величину улучшения характеристик надежности сопряжений «вал-подшипник скольжения», и всей конструкции в целом.

Объектом этих исследований является сопряжение, представляющее собой функциональную систему, состоящую из  $M$  последовательно соединенных деталей. Отказ любой детали приводит к отказу всего узла в целом. Работоспособность узла восстанавливается путем замены вышедшей из строя  $i$ -ой ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) детали новой. Так как отказ происходит в случайный момент, время жизни детали можно описать с помощью процессов восстановления. При этом считается, что каждая  $i$ -я деталь изделия характеризуется наработкой  $t_{cp\ ij}$  от  $(j-1)$  – го до  $j$ - го отказа ( $j = 1, 2, \dots, Z$ ), распределение которых не противоречит одному из следующих законов: нормальному, экспоненциальному, логарифмически-нормальному, Эрланга и двухпараметрическому закону Вейбулла.

Основными характеристиками процесса восстановления, является ведущая функция потока отказов  $\Omega(t)$  и параметр потока отказов  $\omega(t)$ . Так как в ходе исследований разработаны методики расчета ведущей функции потока отказа  $\Omega(t)$  по аналитическим зависимостям [1,2] и методом статистического моделирования [3], то это позволяет анализировать изделия, жизненный цикл которых описывается любым процессом восстановления, в частности, про-

стым, общим и общим нестационарным. С помощью модели также можно рассматривать системы, у которых законы, описывающие наработку до очередной замены, различны.

Целевой функцией математической модели принят минимум суммарных средних удельных затрат  $C_{y0}(t)$  на изготовление технического изделия и поддержания его в исправном состоянии:

$$C_{y0}(t) = \frac{(D+1)}{t} \sum_{i=1}^M C_{di} \Omega_i(t) + \frac{C_u}{t} \quad (1)$$

где  $M$  - количество элементов, входящих в изделие;  $D$  - коэффициент, учитывающий трудозатраты, расход материалов и потери от простоев при замене деталей изделия;  $C_{di}$  - стоимость  $i$ -ой детали;  $C_u$  - первоначальная стоимость изделия;  $\Omega_i(t)$  - ведущая функция потока отказов  $i$ -ой детали.

Кроме минимума суммарных средних удельных затрат  $C_{y0 \min}$ , в качестве оптимизируемых показателей надежности приняты уровень надежности  $n$ , оптимальный ресурс  $t_{omn}$ , а также наработка изделия на первый отказ  $t_{om u}$ .

Для моделирования повышения показателей надежности имитируется замена детали. Деталь, имеющая наихудшие по сравнению с другими деталями изделия надежность характеристики, заменяется более надежной, имеющую более высокие значения показателей безотказности и долговечности, а, значит, имеющую другую стоимость.

Для учета повышения ресурса и снижения относительного рассеивания значений наработок деталей и соответственного изменения стоимостных показателей приняты коэффициенты, введенные в работе [1,2]:

- коэффициент увеличения ресурса -  $\rho$ , показывает, во сколько раз увеличивается ресурс усовершенствованной детали по отношению к исходной,

$$\rho = \dot{t}_{cp \varepsilon} / t_{cp \varepsilon}, \quad (2)$$

где  $\dot{t}_{cp \varepsilon}$  и  $t_{cp \varepsilon}$  - соответственно ресурсы деталей усовершенствованной и исходной;

- коэффициент изменения стоимости детали  $\mu$ , отражает увеличение стоимости детали в результате ее улучшения,

$$\mu = C'_3 / C_3, \quad (3)$$

где  $C'_3$  и  $C_3$  – стоимость детали улучшенной и исходной;

- коэффициент изменения рассеивания ресурса деталей  $\eta$ , показывающий снижение рассеивания ресурса детали изделия при ее усовершенствовании,

$$\eta = \nu_3 / \nu'_3, \quad (4)$$

где  $\nu_3$  и  $\nu'_3$  – коэффициент вариации исходной детали и после ее усовершенствования;

- коэффициент пропорциональности  $k_p$ , отражающий соотношение увеличения стоимости к приращению ресурса детали при ее усовершенствовании;

- коэффициент пропорциональности  $k_\eta$ , отражающий соотношение увеличения стоимости к уменьшению рассеивания ресурса детали при ее усовершенствовании;

- коэффициент  $k_u$ , отражающий соотношение стоимости изделия к суммарной стоимости деталей

$$k_u = \frac{C_u}{\sum_{i=1}^M C_{di}} \quad (5)$$

где  $C_u$  – стоимость изделия;  $C_{di}$  – стоимость  $i$ -той детали.

Перечисленные выше коэффициенты являются управляющими параметрами модели. В ходе моделирования им присваиваются различные значения, а затем пересчитываются основные стоимостные и надежностные характеристики детали.

Стоимость усовершенствованного элемента определяется по формуле

$$C'_d = \mu \cdot C_d, \quad (6)$$

где

$$\mu = 1 + \sqrt{k_p^2 (\rho - 1)^2 + k_\eta^2 (\eta - 1)^2} \quad (7)$$

Стоимость усовершенствованного изделия рассчитывается по зависимости:

$$C_u' = \frac{1}{k_u} \left[ (\mu - 1)C_o + \sum_{i=1}^M C_{oi} \right] \quad (8)$$

Корректировка среднего ресурса и коэффициента вариации детали проводятся с помощью коэффициентов, в зависимости от вида теоретического закона распределения, с учетом изменения параметров закона.

В частности, для нормального закона:

$$t' = t \cdot \rho, \quad (9)$$

$$\sigma = \sigma \cdot \rho / \eta. \quad (10)$$

Так как экспоненциальный закон является однопараметрическим и не зависит от коэффициента рассеивания ресурса, параметр  $\lambda'$  для новой детали рассчитывается по следующей формуле:

$$\lambda = \lambda / \rho. \quad (11)$$

Для закона Эрланга шаг коэффициента рассеивания ресурса изменяется дискретно так, чтобы порядок закона  $m'$  улучшенной детали изменялся на целое число. Порядок закона вычисляется по формуле:

$$m' = m \cdot \eta^2 \quad (12)$$

и округляется до целого значения; параметр закона  $\lambda'$  определяется как

$$\lambda = \lambda \cdot \eta^2 / \rho. \quad (13)$$

Для двухпараметрического закона Вейбулла пересчет параметров проводят поэтапно. Параметр формы зависит только от коэффициента рассеивания ресурса, но связан с коэффициентом вариации с помощью гамма – функции. Поэтому вычисляется, через коэффициент рассеивания ресурса, коэффициент вариации усовершенствованной детали. Затем по полученному значению коэффициента вариации, с помощью таблицы, вычисляется параметр формы и значение гамма – функции для улучшенной детали. Параметр масштаба  $\lambda'$  вычисляется по следующей формуле:



$$\lambda' = \frac{1}{\alpha'} \sqrt{\frac{\lambda^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}{\rho \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}} \quad (14)$$

где  $\Gamma(x)$  - гамма – функция Эйлера,  $\alpha$  и  $\lambda$ - соответственно параметр формы и масштаба закона распределения ресурса исходной детали;  $\alpha'$  и  $\lambda'$ - соответственно параметр формы и масштаба закона распределения ресурса усовершенствованной детали.

Для логарифмически нормального закона, также с начала определяется новое значение параметра  $\sigma'$ , так как этот параметр зависит только от изменения коэффициента вариации. Формула для расчета параметра  $\sigma'$  имеет вид:

$$\sigma' = \sqrt{\ln \left[ \frac{e^{\sigma^2} - 1}{\eta^2} + 1 \right]} \quad (15)$$

где  $\sigma$  - параметр рассеивания ресурс логарифмически-нормального закона для исходной детали.

Параметр  $t'$  логарифмически-нормальной величины пересчитывается для усовершенствованной детали по формуле:

$$t' = \frac{2 \ln \rho + \sigma^2 + 2t - \sigma'^2}{2} \quad (16)$$

где  $\sigma$  - параметр рассеивания ресурса и  $t$  логарифмически-нормального закона для исходной детали;  $\sigma'$  - параметр рассеивания ресурса логарифмически-нормального закона для усовершенствованной детали.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. – М.: Наука, 1984.-328с.
2. Можаев А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пос. Л.: ВМА, 1988. - 68с.
3. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007 г., 278 с.

УДК 621.431.74

Половинка Э.М., Мартынов С.В., Ткач Ю.И.  
ОНМА

## ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА СУДОВОГО СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

Современные судовые дизели требуют значительного улучшения качества смесеобразования, сгорания и снижения вредного воздействия уходящих газов на окружающую среду. Следовательно, необходимо совершенствование топливной аппаратуры, которое заключается в повышении и возможности регулирования давления впрыскивания в зависимости от режима дизеля, управления характеристикой впрыскивания, организации многофазного впрыскивания, внедрении электронного управления процессом топливоподачи. Реализовать эти требования позволяет применение аккумуляторных топливных систем с электронным управлением [1].

Перспективным является подход, обеспечивающий использование аккумуляторной системы в виде дополнительного модуля в сочетании с базовой системой топливоподачи - БСТ. Созданная на базе топливной аппаратуры судового среднеоборотного дизеля такая гибридная система впрыскивания топлива (ГСВТ) первоначально испытана в «статическом» режиме (без запуска БСТ) [2]. Целью дальнейших опытов, представленных в данной работе, было исследование гидродинамических процессов в ГСВТ в реальных условиях использования объединенной системы: БСТ и аккумуляторного модуля (АМ).

Планом эксперимента на данном (начальном) этапе предусматривалось получение скоростной характеристики ГСВТ. В качестве номинального назначен режим с частотой вращения распредвала  $n_p = 250$  об/мин при выходе рейки ТНВД  $m = 20$  мм. В реальных условиях опытов диапазон  $n_p = 53 - 252$  об/мин.

Маркировка снятых осциллограмм принята: 1, 2, 3, 4 – ГСВТ со скоростями съёмки  $V_c = 0,5, 0,25, 0,5$  и  $1,0$  м/с соответственно. Каждому опыту соответствуют свои постоянные обороты распредвала безмоторного стенда (БМС): 1 – 103 об/мин и 2, 3, 4 – 53, 179, 252 об/мин соответственно.

Система оборудована опико-электронным датчиком вращения типа ВЕ-178, выдающим 2500 импульсов на 1 оборот вала, и опорной меткой начала отсчета (МНО) для каждого оборота вала.

Соединение БСТ и АМ производится путем открытия золотникового клапана при помощи компьютерного управления. АМ включает в себя ТНВД, аккумулятор большого объема, аккумулятор малого объема и соединительные трубки ВД (рис. 1). На входе в штатную систему ТП установлен золотниковый и невозвратный клапан. Угол начала подачи управляющего сигнала или угол включения  $\varphi'_{\text{вкл}} = 60^\circ$  п.р.в. от МНО и угол удержания  $\varphi'_{\text{уд}} = 20^\circ$  п.р.в.; давление заправки пружины форсунки 115 бар; давление топлива в аккумуляторе 125 бар. Тарировка датчиков давления осуществлялась для каждой серии опытов.

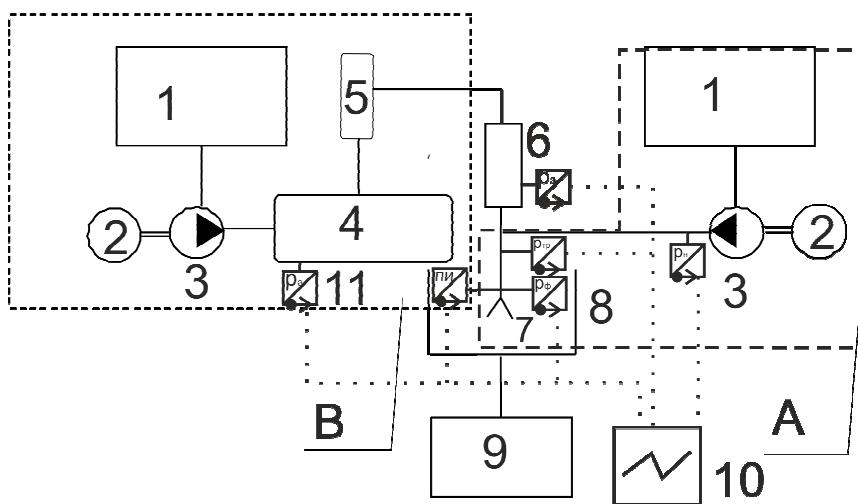


Рис. 1. Комбинированная система впрыскивания топлива:

А – БСТ базовая система топливоподачи; В – система топливоподачи с АМ; 1 – Топливный бак; 2 – привод ТНВД; 3 – ТНВД; 4 – АМ большого объема; 5 – АМ малого объема; 6 – управляющий клапан-золотник (УК); 7 – форсунка; 8 – топливный резервуар; 9 – резервуар сбора топлива; 10 – осциллограф; 11 – датчики давления и ПИ.

На рис. 2 представлена осциллограмма 1 ГСВТ, где параметры, описывающие работу АМ обозначены штрихом «'», а величины без специальных меток – количественные характеристики БСТ. Параметры, характеризующие работу ГСВТ, были приняты следующие:

$i'_z$  — количество подъемов иглы форсунки;  $z'_d$  — процентная доля подъема иглы от максимального при основном впрыскивании;  $\varphi'_{\text{впр}}$ ,  $\varphi_{\text{впр}}$  — общий угол впрыскивания по кривой ПИ при включении аккумулятора модуля и штатной системы ТП соответственно;  $\varphi'_\phi$  — длительность колебания давления на кривой  $p_\phi$  при подаче управляющего сигнала на золотник;  $\varphi'_{\text{зд}}$  — угол задержки изменения давления в золотнике после подачи управляющего импульса, характеризует момент открытия золотника;  $\varphi'_{\text{зпи}}$  — угол задержки подъема иглы после подачи управляющего импульса;  $\varphi'_\kappa$  — угол поворота распределителя между двумя пиками - период времени по углу поворота между двумя колебаниями - подъемами иглы;  $\varphi'_{\text{уд}}$  — угол удержания;  $\Delta p'_{\text{акк}}$  — величина изменения давления в аккумуляторе;  $\Delta p'_{\text{зол ср}}$  — усредненная величина изменения давления в золотнике при работе управляющего клапана;  $\Delta p'_{\text{зол нач}}$  — первоначальное изменение давления в золотнике при открытии золотникового клапана;  $\Delta p'_{\text{зол max}}$  — максимальное значение изменения давления в золотнике, возникающее при запираании форсунки,  $\Delta p_\phi$ ;  $\Delta p_{\text{тр}}$ ,  $\Delta p_{\text{н}}$  и  $\Delta p'_\phi$ ,  $\Delta p'_{\text{тр}}$ ,  $\Delta p'_\text{н}$  — амплитуды изменения давления форсунки, трубопровода и насоса при основном впрыскивании и при срабатывании золотника соответственно;  $+\Delta p_\phi$ ,  $+\Delta p_{\text{тр}}$ ,  $+\Delta p_{\text{н}}$  и  $+\Delta p'_\phi$ ,  $+\Delta p'_{\text{тр}}$ ,  $+\Delta p'_\text{н}$  — возрастание давления форсунки, трубопровода и насоса относительно линии остаточного давления при основном впрыскивании и при работе золотника соответственно;  $-\Delta p_\phi$ ,  $-\Delta p_{\text{тр}}$ ,  $-\Delta p_{\text{н}}$  и  $-\Delta p'_\phi$ ,  $-\Delta p'_{\text{тр}}$ ,  $-\Delta p'_\text{н}$  — падение давления форсунки, трубопровода и насоса относительно линии остаточного давления при основном впрыскивании и работе золотника соответственно.

Наряду с записью на бумагу было проведено компьютерное осциллографирование давления в форсунке, что позволило более качественно оценить параметры и характер изменения величины в зависимости от частоты вращения  $n_p$  распределителя.

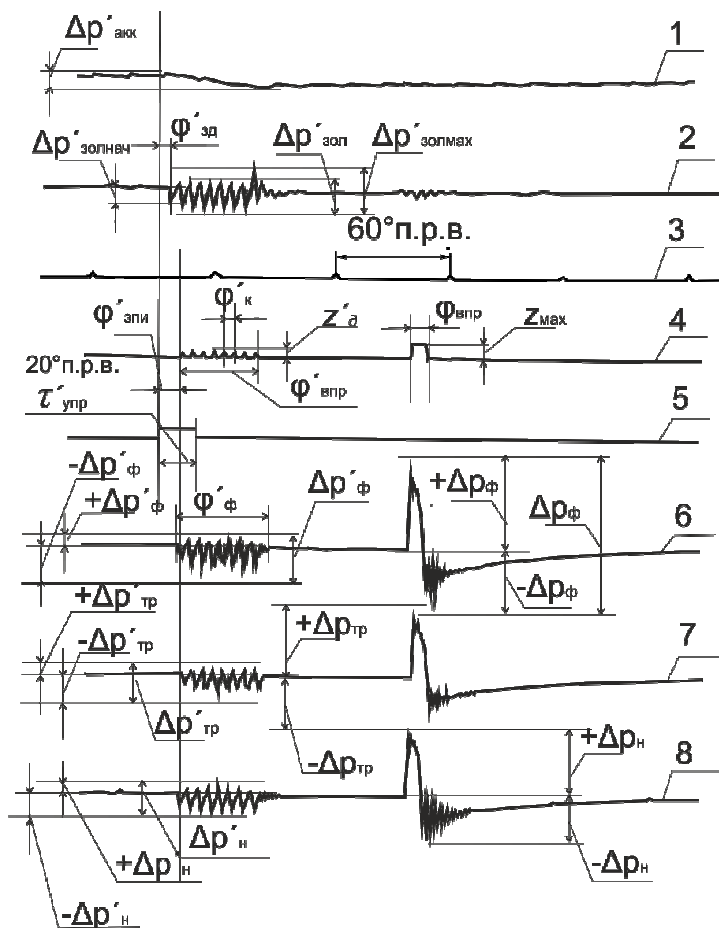


Рис. 2. Осциллограмма ГСВТ при  $n_p = 103$  об/мин :

1 — давление в аккумуляторе  $p_{акк}$ , 2 — давление у золотника  $p_{зол}$ , 3 — угловая отметка  $60^\circ$  п.р.в.  $\varphi_{60}$ , 4 — подъем иглы форсунки ПИ, 5 — управляющий сигнал Упр, 6 — давление форсунки  $p_{ф}$ , 7 — давление в трубопроводе  $p_{тр}$ , 8 — давление штатного ТНВД  $p_{н}$ .

Комплексно рассмотрев осциллограммы можно сказать, что на осциллограммах удалось зафиксировать изменение давления в аккумуляторе, чего нельзя было качественно оценить из более ранних осциллограмм, исследование ГСВТ в статике [2], где характер изменения давления был волновой с малой амплитудой. Здесь же можно увидеть, что при минимальных оборотах давление в аккумуляторе

падает на  $\Delta p_{\text{акк}} = 11$  бар и с ростом частоты вращения, это значение уменьшается до 6 бар на всех режимах. Характер изменения этой величины представлен в графическом виде на рис. 3. При подаче управляющего сигнала (рис. 2) это величина снижается вплоть до посадки иглы, и далее растет до подачи следующего управляющего сигнала.

Изменение давления в элементах ГСВТ соответствует закону перемещения иглы. Так, при подаче управляющего сигнала золотник открывается с некоторой задержкой. Момент открытия золотникового клапана соответствует началу изменения давления в элементах ГСВТ.

При открытии управляющего клапана давление в золотнике резко падает на величину  $\Delta p'_{\text{зол нач}}$ , вероятно, в результате заполнения топливом БСТ – т.к. на осциллограмме не видны изменения в элементах штатной системы при падении давления у золотника. После чего давление в золотнике начинает расти. Момент повышения давления в золотнике соответствует моменту повышения давления в элементах БСТ. Когда давление в подыгольчатой полости превышает величину затяжки пружины, игла начинает движение с углом задержки впрыскивания  $\varphi_{\text{зпи}}$ , который растет с увеличением числа оборотов.

Так, при максимальных оборотах игла начинает подъем с задержкой в  $\varphi'_{\text{зпи}} = 41^\circ$  п.р.в., а давление в золотнике снижается при  $\varphi'_{\text{зд}} = 26,6^\circ$  п.р.в. При этом давление в БСТ падает, пружина пересиливает давление топлива в подыгольчатой полости и игла садится на посадочное место. Затем процесс повторяется. Величина подъема иглы  $z'_0$  на всех осциллограммах составляет 40%. При подъеме иглы давление в АМ снижается, что более заметно при низких частотах вращения распрעדвала, осциллограмма 2 при  $n = 53$  об/мин. Длительность впрыскивания  $\varphi'_{\text{впр}}$  также возрастает с оборотами. Количество подъемов иглы  $i'_z$  уменьшается при увеличении  $n$ , а длительность колебаний  $\varphi'_k$  увеличивается при тех же условиях. Зависимость этих значений от числа оборотов, наряду с другими параметрами, приведены на рис. 3.

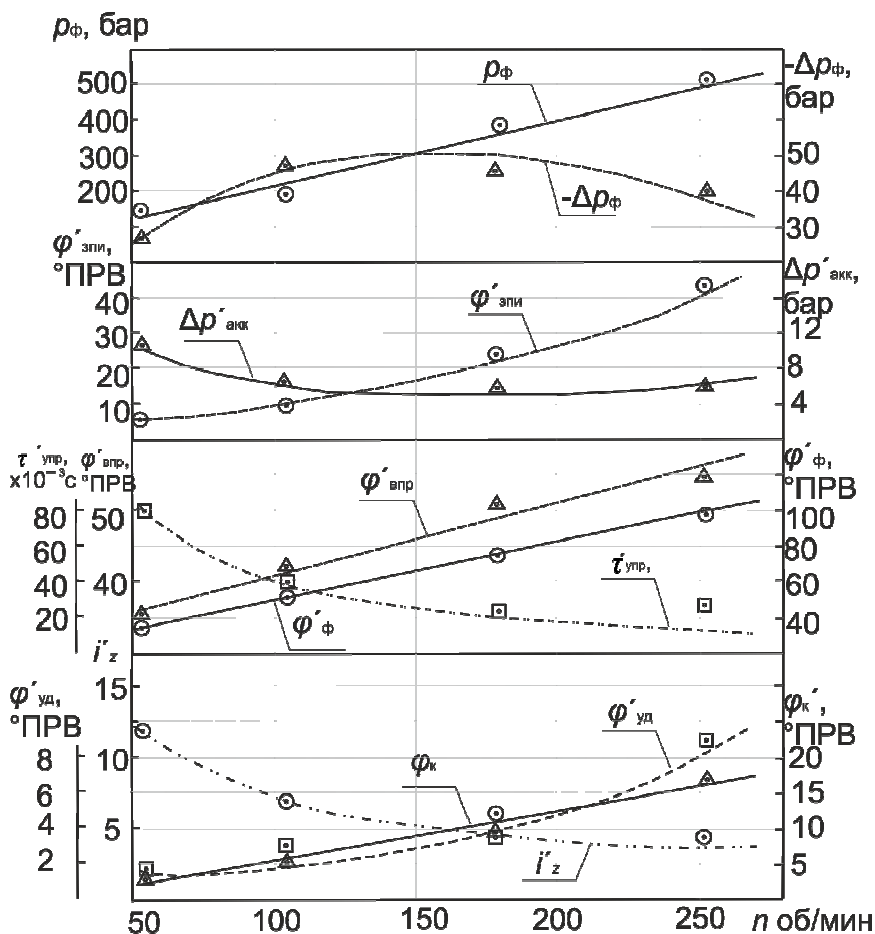


Рис. 3. График зависимостей параметров топливоподачи ГСВТ от частоты вращения распределителя :  $m = 20$ ,  $p_0 = 115$  бар,  $p_{\text{акк}} = 125$  бар

По осциллограмме 1 видно, что после последнего подъема иглы на кривой давления в золотнике имеется характерное колебание амплитуда которого  $\Delta p'_{\text{зол max}}$  выше среднего значения, и является признаком гидроудара в системе. Это говорит о запираии системы со стороны АМ. На кривой  $p_f$  начинается короткий период затухания колебаний с большим коэффициентом затухания. Так период изменения давления форсунки  $\varphi'_{\text{ф}}$  более длительный по сравнению с  $\varphi'_{\text{впр}}$ ,

из-за меньшей задержки  $\varphi'_{зд}$  и затухающих колебаний после посадки иглы на седло распылителя.

При работе штатной системы ГП, подъем иглы осуществляется до упора, что отличается от ТП при открытии золотника. Приняв значение ПИ при основном впрыскивании за 100 %, определяем, что игла при срабатывании золотника поднимается на 40% на всех режимах. Характер изменения максимального давления впрыскивания от оборотов отображен на графике.

При посадке иглы давление БСТ падает ниже остаточного  $-\Delta p_{ф}$ . После посадки иглы характер изменения давления в форсунке, трубопроводе и у насоса имеет волновой характер с затуханием. После прекращения колебаний давление в системе растет вплоть до подачи на золотник управляющего сигнала. По всей видимости, такое изменение давления в БСТ происходит из-за того, что золотник пропускает топливо из аккумулятора системы (АМ), наполняя ее.

#### Выводы.

Исследовано взаимодействие АМ и БСТ на различных режимах скоростной характеристики при неизменных параметрах управления соединительным золотником.

При открытии золотника впрыскивание топлива имеет дробный характер с частичным подъемом иглы, составляющим около 0,4 от полного хода.

Угол задержки открытия золотника  $\varphi'_{зд}$  является функцией частоты вращения. В частности, после подачи управляющего эта величина составила 26,6° п.р.в. при максимальных оборотах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фонов Владимир Владимирович. Компоненты перспективных топливных систем аккумуляторного типа с электронным управлением для транспортных дизелей: Дис. канд. техн. наук: 05.04.02: Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана 2004.- 198 с

2. Половинка Э.М., Мартынов С.В., Москалец А.Р. – Развитие систем топливоподачи судовых дизелей с. 49 – 57. Матеріали науково-технічної конференції “ Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт”, 21.03.2012 – 23.03. 2012. Частина I. – Оdesa: ОНМА, 2012.–177с.



УДК 621.431.74

Половинка Э.М., Яковенко А.Ю.  
ОНМА

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА

Одним из направлений развития измерительной техники в ДВС является разработка для регистрации рабочих процессов встроенных или совмещённых с функциональными элементами преобразователей (датчиков).

В работе [1], представляющей материалы фирмы Optrand, Inc, дана информация по комбинированному датчику давления газов в цилиндре дизеля.

Свеча накаливания с датчиком давления- СНДД- (The Pressure Sense Glow Plug<sup>TM</sup> (PSGP) объединяет малогабаритный высокотемпературный датчик давления и свечу накаливания для дизелей. СНДД выполняются на базе керамических и металлических нагревателей. Оптоволоконный датчик диаметром 1,7 мм приварен к нагревателю, имеющему канал для подвода газов к диафрагме датчика.

Измерительным преобразователем чувствительного элемента является диафрагма. При её деформации под действием давления изменяется сигнал, поступающий на приёмное волокно. Настройка датчика может осуществляться подбором диаметра приёмного волокна, его положением относительно диафрагмы и параметрами цифрового преобразователя.

Идея использования в качестве первичных преобразователей конструктивных элементов топливной аппаратуры призвана обеспечить оптимальную реализацию методов контроля процессов топливоподдачи.

Представленные в данном материале проработки выполнены на базе топливной аппаратуры среднеоборотного судового дизеля ЧН25/34.

Для реализации такого подхода выбрано давление топлива в ТНВД, как один из наиболее информативных параметров процесса впрыскивания. Среди деталей, приемлемых к использованию в качестве комбинированного датчика, предпочтение отдано шпильке крепления привода ТНВД.

Общий вид ТНВД с приводом, представлен на рис. 1.

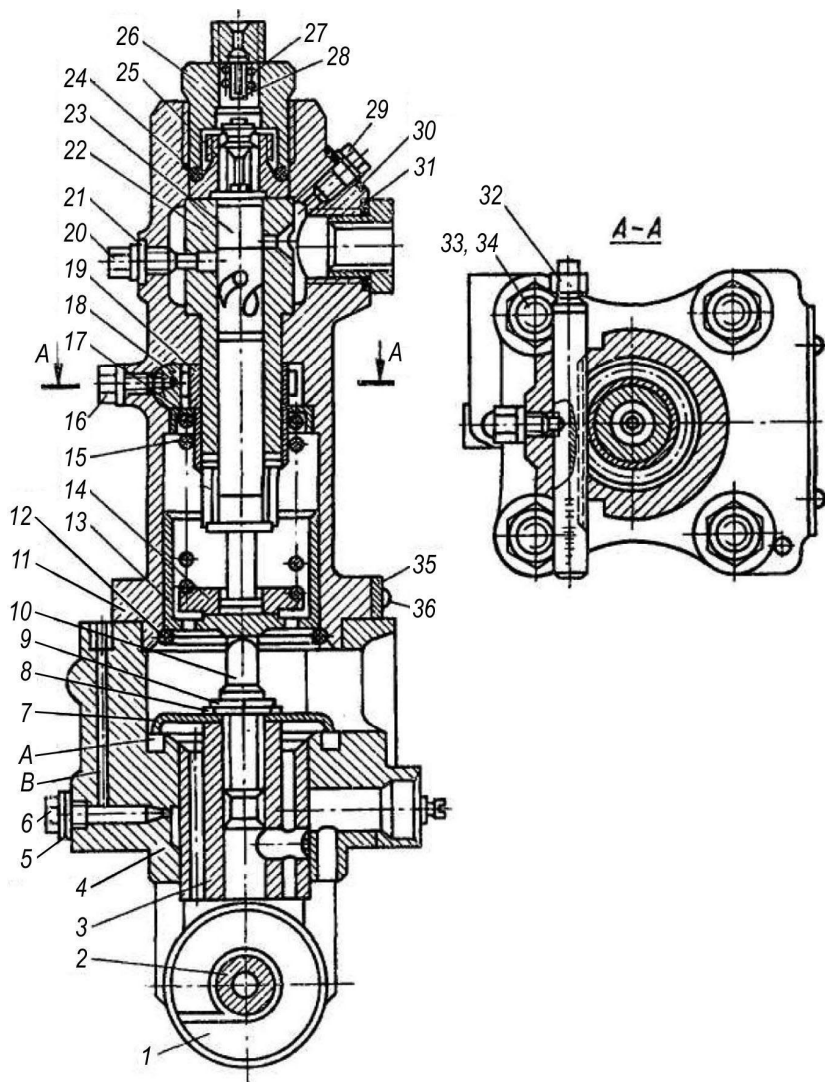


Рис. 1. Топливный насос высокого давления с приводом: 1 – ролик, 2 – ось, 3 – ползун, 4, 11 – корпус, 5, 21, 30, 31 – прокладка, 6, 29 – пробка, 7 – топливоотражатель, 8 – шайба, 9 – контргайка, 10 – толкатель, 12 – стопорное кольцо, 13 – стакан, 14 – нижняя тарелка, 15 – пружина плунжера, 16, 20 – болт, 17 – верхняя тарелка, 18 – рейка, 19 – шестерня, 22 – втулка плунжера, 23 – плунжер, 24 – уплотнительное кольцо, 25 – нагнетательный клапан, 26 – нажимной штуцер, 27 – пружина, 28 – ограничитель, 32, 33 – гайка, 34 – шпилька, 35 – фирменная табличка, 36 – заклепка

Была выполнена предварительная проработка комплектации измерительной системы с комбинированным датчиком, на базе шпильки («шпильки-датчика» - «Ш-Д»).

Проведена оценка метрологических параметров измерительного комплекса, включающего деформируемый элемент, тензометрический преобразователь (проволочный тензодатчик), тензометрический усилитель и регистрирующий блок (гальванометры в составе светолучевого осциллографа). Все элементы системы соответствуют условиям регистрации давления топлива в ТНВД.

Конструктивная проработка шпильки для монтажа тензорезисторов представлена на рис. 2.

При её разработке учтена необходимость крепления (наклеивания) тензорешёток и осуществления электрического монтажа. С целью восприятия осевой деформации растяжения выполнена площадка в сечении А-А, в сечении Б-Б монтируются датчики сжатия. Для вывода соединительных проводов предусмотрены радиальное и осевое сверление диаметром 3 мм. На выходе из шпильки проводники фиксируются сальником М8.

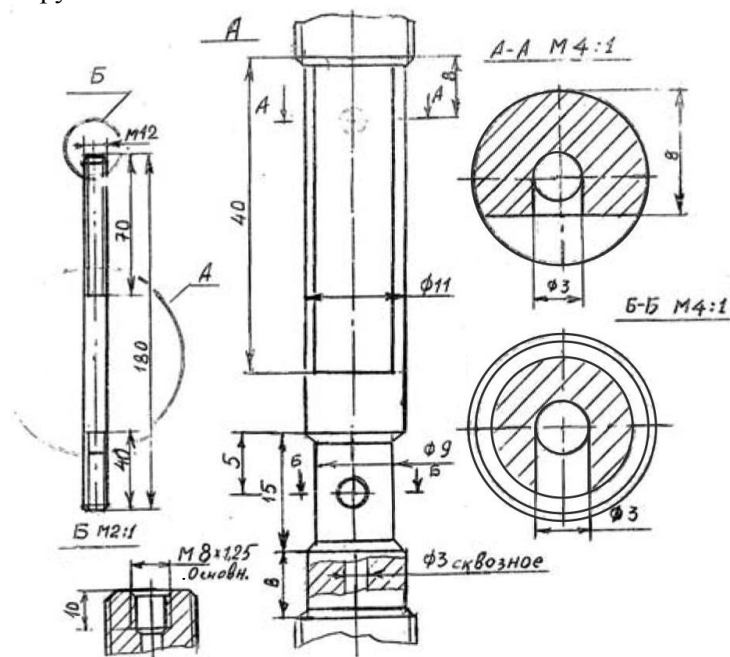


Рис. 2. Шпилька, преработанная для монтажа тензорезисторов

Общий вид комбинированного датчика, подготовленного к испытаниям дан на фотографии рис. 3.

На фотографии рис. 4 показан ТНВД с «Ш-Д» на безмоторном стенде.

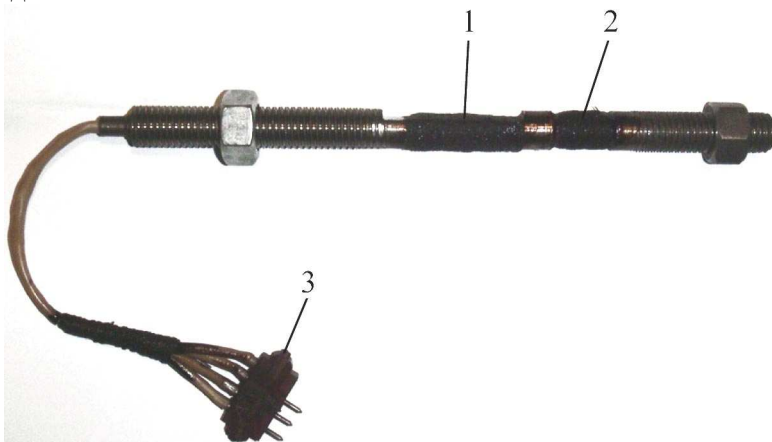


Рис. 3. Препарированная «шпилька-датчик»: 1-активные датчики, 2- компенсационные датчики, 3- электрический разъем



Рис. 4. Датчик давления топлива («Ш-Д») на ТНВД безмоторного стенда: 1 — датчик-шпилька, 2 — ТНВД

В ходе дальнейших испытаний проведено осциллографирование давления топлива двумя датчиками : обычным тензометрическим, установленным на штуцере ТНВД и «Ш-Д». Копии осциллограмм представлены на рис. 5-9.

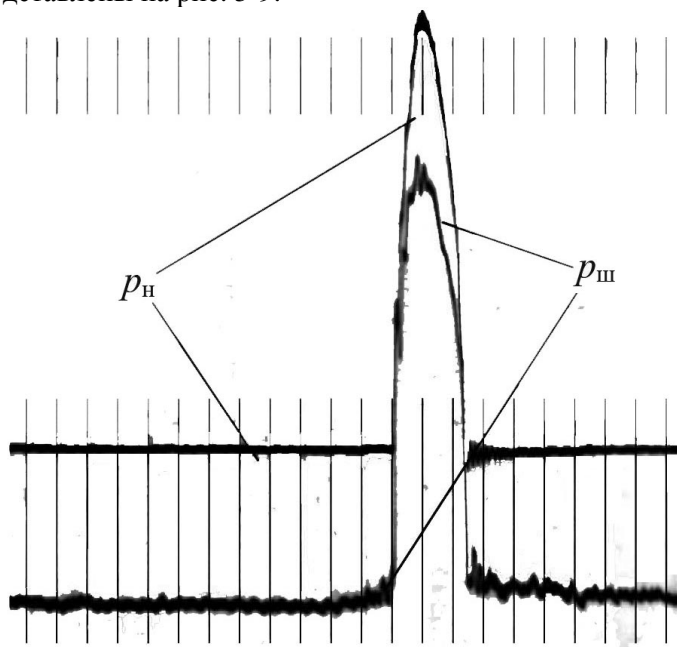


Рис. 5. Осциллограмма топливоподачи при  $n_p=46$  об/мин,  $t=27$

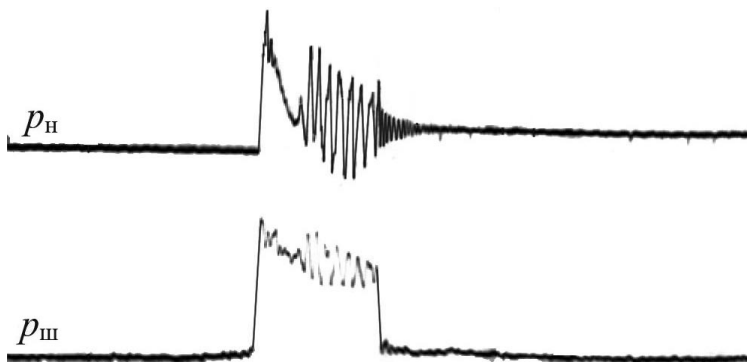


Рис. 6. Осциллограмма топливоподачи при  $n_p=33$  об/мин,  $t=32$

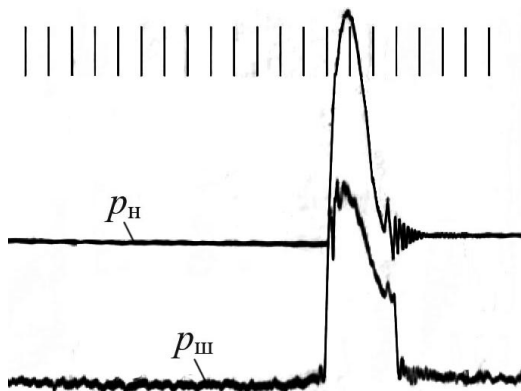
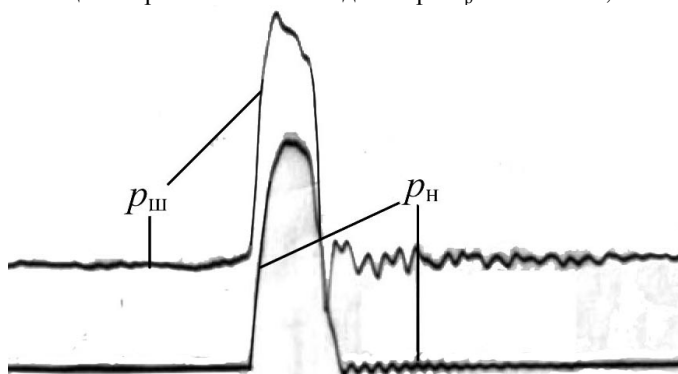
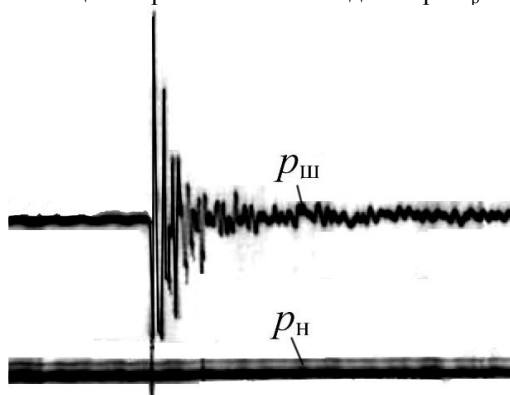
Рис.7. Осциллограмма топливоподачи при  $n_p=49$  об/мин,  $m=32$ Рис. 8. Осциллограмма топливоподачи при  $n_p=248$  об/мин,  $m=32$ 

Рис. 9. Осциллограмма вибрации стенда

Режимы, на которых проводились испытания, соответствуют полному диапазону рабочих частот топливной аппаратуры двигателя. Как указано на осциллограммах, он составил 33-248 об/мин. Различный характер процесса впрыскивания достигался изменением затяжки пружины форсунки.

При её разработке учтена необходимость крепления (наклеивания) тензорешёток и осуществления электрического монтажа. С целью восприятия осевой деформации растяжения выполнена площадка в сечении А-А, в сечении Б-Б монтируются датчики сжатия. Для вывода соединительных проводов предусмотрены радиальное и осевое сверление диаметром 3 мм. На выходе из шпильки проводники фиксируются сальником М8.

Визуальный анализ кривых давления топлива в насосе  $p_n$  и деформации  $p_{ш}$ , записанной «Ш-Д», свидетельствует о приемлемой для практики информативности последней.

Сопоставляя кривые  $p_n$  и  $p_{ш}$ , примем в качестве базовой запись с помощью датчика давления. Обратимся к процессам, представленным на осциллограммах рис. 5 и 8 с крайними частотами вращения распрядвала. На этих режимах наблюдался стабильный процесс топливоподачи.

В обоих случаях можно отметить реакцию «Ш-Д» на появление дополнительной нагрузки в начале движения плунжера ТНВД. Этому отрезку на осциллограмме соответствует незначительный подъём кривой. Быстрый рост давления фиксируется обоими датчиками синхронно. На переднем фронте обеих кривых ( $n_p=46$  об/мин рис. 5) заметны наложенные колебания, более существенные у  $p_{ш}$ . При частоте вращения  $n_p=248$  об/мин (рис. 8) кривые гладкие.

Участок максимальных давлений характерен колебаниями на линии «Ш-Д», отсутствующими у  $p_n$ . Задний фронт особенностей не имеет. Кривая «Ш-Д» несколько полнее в верхней части. По окончании топливоподачи, как и следовало ожидать, у кривой «Ш-Д» виден участок разгрузки, приходящийся на период обратного хода плунжера. При этом в случае  $n_p=248$  об/мин наблюдается обратный пик (ниже базового уровня).

Близкий к описанному имеет вид осциллограмма для  $n_p=49$  об/мин, приведенная на рис. 7.

Что касается дробной работы системы впрыскивания (рис. 6), то различие в кривых более существенно. Естественно полагать, что система, элементом которой является «Ш-Д», оказывает демпфи-

рующее действие, сглаживая реакцию на изменение давления топлива. При этом, однако, частота сохраняется. Форма линий  $p_n$  и  $p_{ш}$  отличается существенно.

При анализе условий работы «Ш-Д» логично предположить, что комбинированный датчик воспринимает деформацию корпусных деталей стенда. Для проверки данного положения записана обоими датчиками вибрация стенда после ударного нагружения плиты, на которой смонтированы подшипники распредвала. Приложенная нагрузка значительно превышает динамическую составляющую рабочих усилий.

Эта осциллограмма (рис. 9) подтверждает предварительную оценку метрологических особенностей «Ш-Д». Действительно, если линия  $p_n$  никак не отражает колебания стенда после удара, то кривой  $p_{ш}$  записана интенсивная затухающая вибрация. И хотя, как указано выше, интенсивность нагрузки гораздо выше рабочей, влияние деформации стенда на «Ш-Д» очевидно.

Проведенные испытания и анализ полученных данных позволяет сделать следующие основные выводы.

В качестве базовой детали для создания комбинированного датчика высокого давления топлива в ТНВД может быть использована шпилька крепления его привода.

Параметры элементов измерительной системы по величинам рабочих деформаций согласуются с существенным запасом по предельным значениям.

На режимах стабильного впрыскивания датчик давления и датчик деформаций имеют близкие метрологические характеристики. На этих режимах можно использовать «Ш-Д» для эксплуатационного контроля.

При испытаниях системы топливоподачи с помощью «Ш-Д» можно, кроме того, регистрировать нагрузки в приводе ТНВД.

При дробном впрыскивании топлива запись с помощью «Ш-Д» существенно отличается от процесса, фиксируемого в ТНВД, из-за демпфирующего действия деталей, связанных с передачей усилий от давления топлива на шпильку.

В качестве дополнительного побочного результата можно, предварительно, рекомендовать использование «Ш-Д» для записи вибрации двигателя в месте установки комбинированного датчика при отключении топливоподачи либо в периоды между впрыскиванием топлива.



*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

High Accuracy Glow Plug-Integrated Cylinder Pressure Sensor for Closed Loop Engine Control .- Marek T. Włodarczyk Optrand, Inc. SAE 2006-01-0184.-5 pgs.- [http://www.le-mark.cn/E-pages/ Appliance/ SAE%20paper%202006-01-0184%20Final.pdf](http://www.le-mark.cn/E-pages/Appliance/SAE%20paper%202006-01-0184%20Final.pdf)

УДК 662.75:621.436

Половинка Э.М. Албул Д.А.  
ОНМА

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ТЕЛА ДЛЯ СИСТЕМ ТОПЛИВОПОДАЧИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Существование топливоздушных структур в различных элементах системы впрыскивания характерно для многих типов топливной аппаратуры дизелей. Однако проведенные исследования в этой области носят ограниченный характер, так как рассматривают лишь условия появления пузырьковой среды в результате выделения растворённого воздуха и паров топлива, не затрагивая организацию управляемого процесса формирования топливоздушной смеси (ТВС) в системе впрыскивания с целью изменения характеристик впрыскивания и смесеобразования [1].

С целью оценки влияния состава ТВС на параметры распыливания на кафедре СЭУ ОНМА выполнен эксперимент с впрыскиванием «чистого» топлива и ТВС с различным содержанием газовой среды в воздух при атмосферном давлении. Опыты проведены на установке, схема которой представлена на рис. 1.

Её основные элементы следующие: 1 – воздушный компрессор, 2 – воздушный баллон, 3 – золотниковый клапан, 4 – смеситель, 5 – форсунка, 6 – топливный насос высокого давления (ТНВД) с ручным приводом, 7 – манометр. Фотографирование факела распыленного топлива осуществлялось камерой Olympus SP-51OUZ.

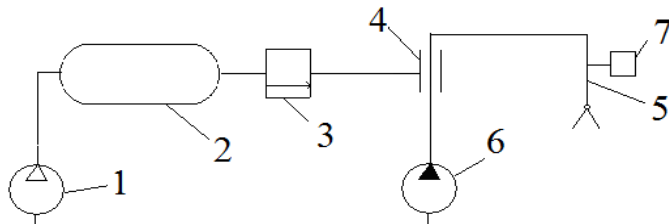


Рис. 1. Экспериментальная установка.

Состав ТВС изменялся путём предварительной подачи воздуха различного давления в систему, заполненную «чистым» топливом. Диапазон изменения давления воздуха составил 0.1 – 5 МПа. Дав-

ление нагнетания регулировалось затяжкой иглы форсунки в пределах 1 – 5 МПа.

Результаты эксперимента показали увеличение ширины факела распыленной ТВС по отношению к «чистому» топливу на 30 – 500% в зависимости от состава и давления нагнетания ТВС. Примеры полученных фотографий приведены на рис. 2 (слева «чистое» топливо, справа ТВС).

Полученные данные подтверждают представления о влиянии добавки воздуха на характеристики распыливания топлива. Очевидно также, что при введении присадки газа изменяются и процессы впрыскивания.

Для анализа гидродинамических параметров топливоподдачи необходимо определить транспортные свойства рабочего тела (плотность, сжимаемость, скорость звука).

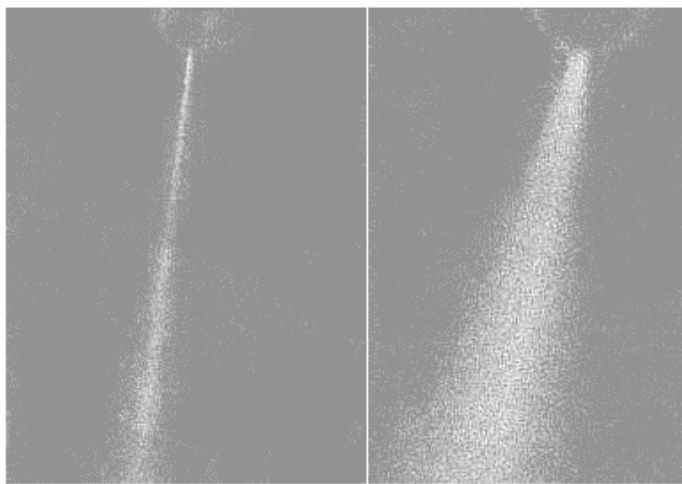


Рис.2. Распыливание ТВС.

Расчётное исследование указанных параметров, представленное в данной работе, выполнено на математической модели при следующих допущениях [2]: 1) топливо считается несжимаемым, и такие его параметры как вязкость и поверхностное натяжение не оказывают влияние на характеристики ТВС; 2) воздух распределён равномерно по объёму смеси, образуя с топливом однородную среду; 3) жидкая и газовая фазы находятся в тепловом и динамическом равновесии (скорости истечения одинаковы); 4) состояние газа под-

чиняется уравнению  $p = \rho_B g R T$ , где  $\rho_B$  - плотность воздуха,  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $T$  - абсолютная температура.

Принимая неизменным соотношение массы воздуха  $M_B$  и топлива  $M_T$ , для расчёта массовой доли воздуха  $\varepsilon_B$  и топлива  $\varepsilon_T$  можно применить формулы:

$$\varepsilon_B = M_B / (M_B + M_T) = M_B / M_{CM} \quad (1)$$

$$\varepsilon_T = 1 - \varepsilon_B = M_T / M_{CM} \quad (2)$$

Так как  $M = \rho V$ , то объёмная доля топлива в смеси при атмосферном давлении:

$$\delta_{T0} = V_T / V_{CM} = 1 / (1 + (\varepsilon_B / (1 - \varepsilon_B))(\rho_T / \rho_B)) \quad (3)$$

где  $V_T$  и  $V_{CM}$  - объёмы топлива и ТВС,  $\rho_T$  - плотность топлива.

Объёмная доля топлива в смеси с увеличением давления выше атмосферного:

$$\delta_T = \delta_{T0} ((p/p_0)/(1 - \delta_{T0} (1 - p/p_0))) \quad (4)$$

где  $p_0$  и  $p$  - давления до и после сопла распылителя соответственно.

Коэффициент сжимаемости воздуха:

$$\alpha_B = 1/p \quad (5)$$

Плотность смеси:

$$\rho_{CM} = \rho_T \delta_T + (1 - \delta_T) \rho_B \quad (6)$$

Коэффициент сжимаемости смеси:

$$\alpha_{CM} = \alpha_T \delta_T + \alpha_B (1 - \delta_T). \quad (7)$$

Наряду с изменением гидродинамических характеристик процессов в системе впрыскивания при использовании ТВС следует ожидать и влияния добавки воздуха на процесс истечения из распылителя форсунки.

Для изотермического процесс истечения упрощённое выражение скорости будет иметь вид:

$$W_{CM} = \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (p_0 - p)} \sqrt{1 - \frac{1 - \delta_{T0}}{\delta_{T0}} \frac{\ln p/p_0}{1 - p/p_0}} = \psi_{CM} \cdot W_T \quad (8)$$

где  $\psi_{CM}$  - коэффициент увеличения скорости смеси;  $W_T$  - скорость истечения топлива,  $p_0$  и  $p$  - давления до и после сопла распылителя,  $\delta_{T0}$  - начальная объёмная доля топлива.

Из (8) следует, что скорость истечения ТВС возрастает с увеличением содержания воздуха в составе смеси, что, в свою очередь, позволяет изменять характеристики распыливания и смесеобразования.

Ещё одним важным параметром, влияющим на скорость истечения топлива, является разность между давлениями до и после распылителя (сопла) форсунки ( $p_0$  и  $p$ ), с увеличением которой возрастает и скорость истечения. Предельную скорость истечения можно найти, как скорость распространения звука, поскольку при равенстве этих величин процесс истечения становится критическим и расход ТВС через сопло не увеличивается. Скорость распространения звука в ТВС можно определить как скорость распространения волн давления и плотности (малых возмущений):

$$a_{\text{см}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{см}}}} \quad (9) ,$$

С учётом (7) получим:

$$a_{\text{см}} = \frac{1}{\sqrt{(\alpha_{\text{Т}} \cdot \delta_{\text{Т}} + \alpha_{\text{В}} (1 - \delta_{\text{Т}})) \rho_{\text{см}}}} \quad (10)$$

Рассмотренная математическая модель реализована в форме программы для ЭВМ. Алгоритм программы представлен блок-схемой на рис. 3.

Рассмотренная математическая модель реализована в форме программы для ЭВМ. При расчётах ставилась задача исследования параметров в заданном диапазоне изменения компонентов ТВС и переменных условий её использования.

Как указано выше, основными параметрами ТВС являются плотность топлива и массовое содержание воздуха. Переменной величиной являлось давление смеси. В соответствии с этим подходом составлен перечень исходных данных, включённых в табл.1.

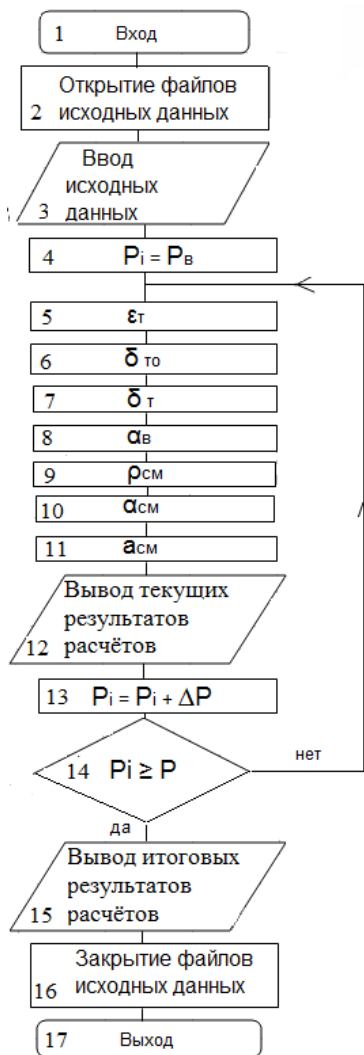


Рис.3 Блок-схема программы.

Кроме того в их число входит диапазон изменения переменного параметра и шаг, с которым ведётся расчёт. После ввода исходных данных (ИД) проводятся вычисления на текущем шаге. Перечень расчётных характеристик и последовательность вычислений приведена в табл. 2.

В списке указан номер блока, символьное обозначение параметра, номер формулы, по которой ведётся расчёт, номер блока программы.

Программа составлена в соответствии с изложенной методикой и предусматривает следующие действия.

1. Открытие файлов исходных данных и результатов расчёта (блок 2)

2. Ввод и печать исходных данных (блок 3).

3. Задание текущей величины давления, равного начальному

значению:  $p_i = p_0$  (блок 4)

4. Основной цикл расчёта параметров ТВС в соответствии с указанным выше перечнем (Табл. 2 (блоки 5-11)).

5. Вывод текущих результатов расчётов (блок 12)

6. Нарращивание текущего значения давления (блок 13) и сравнение его с верхней границей расчётного диапазона (блок 14). В случае превышения границ диапазона осуществляется выход из цикла.

7. Вывод итоговых результатов расчётов (блок 15) и закрытие файлов ИД (блок 16).

Таблица 1. Исходные данные

Условные обозначения		Наименование
В формулах	На языке Фортран	
$\varepsilon_B$	EAIR	массовая доля воздуха
$\rho_B$	ROAIR	
$\rho_T$	ROFL	плотность воздуха при атмосферных условиях
$p_0$	PO	плотность топлива при атмосферных условиях
$p_{\max}$	PMX	
$\Delta p$	DPMX	начальное значение давления топлива
$\alpha_T$	ALFL	конечное значение давления топлива
		шаг наращивания давления топлива
		коэффициент сжимаемости топлива

Как отмечено выше, основным переменным параметром, определяющим состояние ТВС заданного состава, является давление. Поэтому при разработке плана расчетного исследования определены пределы с учётом его изменения в системах впрыскивания топлива.

Таблица 2 Расчётные величины.

Условные обозначения		Наименование, номер формулы, номер блока программы
В формулах	На языке Фортран	
$\varepsilon_T$	EFUEL	массовая доля топлива в смеси; 2, 5
$\delta_{TO}$	DVFL	
$\delta_T$	DVFLP	объёмная доля топлива при атмосферных условиях; 3, 6
$\alpha_B$	ALAIR	объёмная доля топлива в ТВС при максимальном давлении; 4, 7
$\rho_{CM}$	ROMX	
$\alpha_{CM}$	ALMXI	коэффициент сжимаемости воздуха; 5, 8
$\alpha_{CM}$	SPMX	плотность смеси; 6, 9
		коэффициент сжимаемости смеси; 7, 10
		скорость звука в смеси; 11, 11

Кроме того, собственно характеристики ТВС задаются двумя величинами: плотностью топлива  $\rho_T$  и содержанием воздуха  $\varepsilon_B$ . Т.о. в каждом расчетном эксперименте неизменными оставались  $\rho_T$  и  $\varepsilon_B$ .

Проведены расчёты свойств ТВС для следующих условий:  
при различном содержании воздуха в ТВС и неизменной плотностью топлива,

при различной плотности топлива и одинаковом содержании воздуха.

Рассмотрим полученные результаты.

В первой серии расчётов изменялся состав ТВС за счёт переменного  $\varepsilon_b = 0,01 - 0,12$  с шагом 0,01. Диапазон давления составил  $p = 0 - 88$  МПа с шагом 2 МПа.

Результаты моделирования в графической форме даны на рис. 4

Из расчётов следует, что с увеличением  $\varepsilon_b$  плотность ТВС падает. При этом степень влияния зависит от давления смеси.

Так, при давлении  $p = 10$  МПа, уменьшение плотности  $\Delta\rho$  при увеличении массового содержания воздуха на 0,01 составляет 4,5 – 6,8%, при  $p = 20$  МПа  $\Delta\rho = 3 - 3,5$  %, при  $p = 88$  МПа  $\Delta\rho = 0,8 - 0,9$  %. Используя зависимости рис. 4 можно провести анализ влияния давления на плотность и одновременно учесть его характер при различном составе смеси.

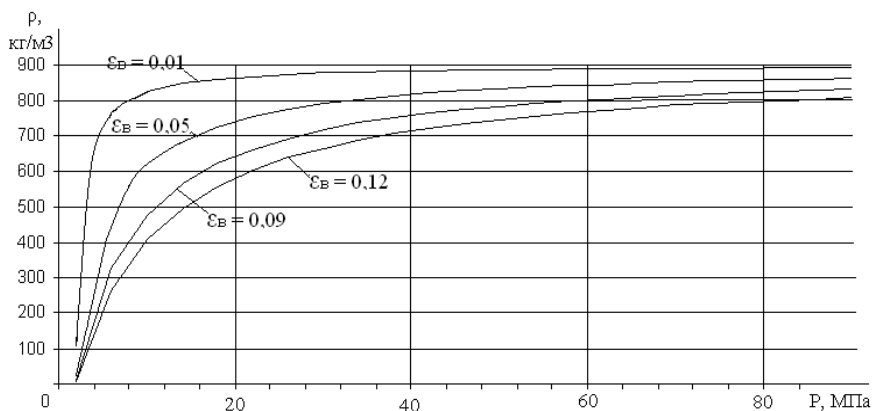


Рис.3. Зависимость плотности от давления и состава ТВС.

Наиболее интенсивно изменение плотности происходит на участке давлений до  $p = 25$  МПа. Действительно, при  $\varepsilon_b = 0,12$  этот диапазон составляет 640 кг/м³, а для  $\varepsilon_b = 0,01$  соответственно 875 кг/м³. Эти данные характеризуют также и влияние  $\varepsilon_b$  на характер зависимости плотности от давления. С ростом содержания воздуха интенсивность изменения плотности падает, что следует из проведенного сравнения  $\Delta\rho$  при различных значениях  $\varepsilon_b$ .



Зависимость скорости звука, от состава и давления ТВС (рис. 5) относится к диапазону  $\epsilon_B = 0,01 - 0,12$ ;  $p = 0 - 88$  МПа.

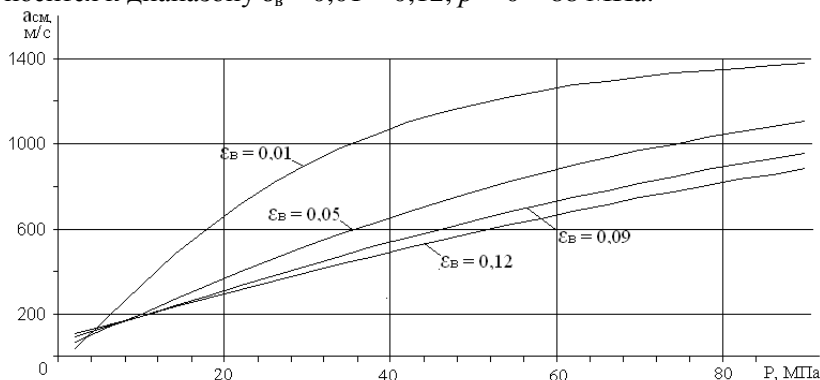


Рис.4. Зависимость скорости звука от давления и состава ТВС.

Из результатов расчётов видно что с ростом содержания воздуха в составе ТВС, скорость звука, а следовательно и критическая скорость истечения ТВС через сопло распылителя, уменьшается. Однако, с ростом  $\epsilon_B$ , интенсивность изменения скорости падает. Так, при повышении  $\epsilon_B$  с 0,01 до 0,02 в диапазоне давлений 20 – 88 МПа, уменьшение скорости звука составило 6,5 – 17 %, а при повышении  $\epsilon_B$  с 0,11 до 0,12 на том же участке давлений – 2,7 – 3 %.

Помимо содержания воздуха, на скорость звука оказывает влияние также и плотность используемого топлива. Очевидно, что с увеличением плотности скорость звука будет также увеличиваться. Для анализа динамики роста или уменьшения скорости звука в ТВС в зависимости от плотности ( $\rho$ ) топлива и давления ( $P$ ) в ТВС, был произведен расчёт с изменением  $\rho = 900 - 990$  кг/м<sup>3</sup>, и  $P = 0 - 88$  МПа (рис. 6).

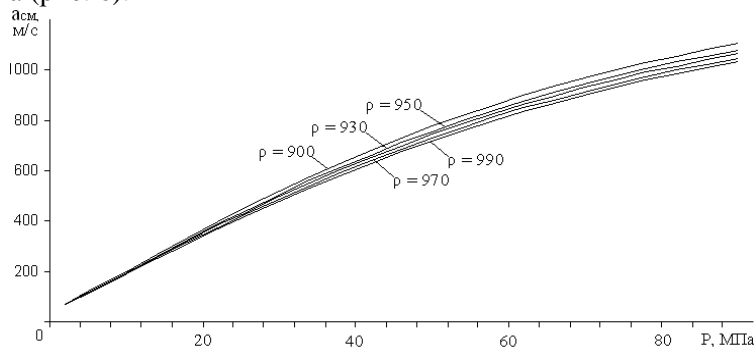


Рис. 5. Зависимость скорости звука в ТВС от плотности топлива и давления ТВС.

Из расчетов следует, что при малых давлениях (до 10 МПа) влияние плотности топлива на скорость звука не существенно, однако наблюдается его плавное и стабильное увеличение с ростом давления свыше 20 МПа.

Так при  $p = 20$  МПа увеличение плотности топлива на каждые  $20 \text{ кг/м}^3$  приводит к увеличению скорости звука в среднем на  $7 \text{ м/с}$ ; при  $p = 40$  МПа -  $13 \text{ м/с}$ ; при  $P = 80$  МПа –  $18 \text{ м/с}$ .

### Выводы

Выполнена предварительная оценка влияния добавки воздуха на характеристики распыливания ТВС. Показано, что с увеличением доли воздуха в смеси существенно возрастает объём факела распыленного топлива.

Составлена математическая модель, алгоритм и программа для имитационного моделирования транспортных свойств ТВС.

Проведен расчёт и анализ зависимости характеристик ТВС, влияющих на гидродинамику топливоподачи, от давления при различном составе ТВС и плотности «чистого» топлива.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.В. Астахов, Л.Н. Голубков, В.И. Трусов и др. Топливные системы и экономичность дизелей - М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
1. Вихерт М. М., Мазинг М.В. Топливная аппаратура автомобильных дизелей: Конструкция и параметры.- М.: Машиностроение, 1978 - 176 с.

УДК 005.334

Парменова Д.Г.  
ОНМА

## **ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ВЫБОРЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА**

Развития современного флота неразрывно связано с решением проблемы сохранения и укрепления здоровья моряков, улучшения условий их труда, быта и отдыха. Одним из важнейших условий сохранения здоровья моряков является обеспечение оптимальных условий работы на судне.

Необходимо осознавать, что вредные или опасные условия труда и ошибочные действия персонала могут привести к потере здоровья, преждевременной смерти, профессиональным заболеваниям. Для того, чтобы эффективно осуществить профилактику и предупреждение производственного травматизма проводится процедура оценки риска на рабочем месте.

Уровень риска оценивается каждый раз, когда происходят какие-либо изменения, влияющие на факторы риска, например: вводится новый технологический процесс, новое оборудование, сырье или материалы; изменяется организация труда или вводятся новые рабочие ситуации.

Выбор метода оценки рисков зависит от следующих факторов:

- характера рабочего места (например, постоянное или временное рабочее место);
- вида деятельности (например, вахтенная работа на мостике (монотонность);
- работа, выполняемая в постоянно изменяющихся условиях; работа по техническому обслуживанию, выполняемая по мере возникновения необходимости;
- выполняемого задания (например, обработка данных, работа с токсичными химическими веществами, около электrorаспределительного оборудования, в условиях замкнутого пространства и т. п.);
- степени технической сложности.

В некоторых случаях достаточно применить один метод, чтобы охватить все рабочее место и существующие на нем риски. В других случаях для различных составляющих рабочего места может применяться несколько различных методов оценки.

Можно использовать самые различные методы оценки риска (и их комбинации) при условии, что они содержат в себе необходимые элементы. Методы оценки рисков обычно разрабатывают на основе:

- наблюдений за рабочей средой (например, условия труда работника - безопасность оборудования, запыленность и задымленность, температура, освещение, шум и т. д.);

- определения рабочих заданий (определить все задания, чтобы убедиться, что они включены в оценку риска);

- анализа рабочих заданий (оценка рисков, появляющихся в результате выполнения заданий работниками);

- наблюдений за происходящей работой (проверка соответствия проводимых работ предусмотренным требованиям, для того чтобы убедиться, не появятся ли какие-либо другие риски);

- характера труда (оценка возможных опасностей);

- внешних факторов, влияющих на рабочее место (например, климатические условия для работников, работающих на открытом воздухе);

- отчета о психологических, социальных и физических факторах, способствующих стрессу на рабочем месте, как они взаимодействуют между собой и с другими факторами организации труда и рабочей среды;

- условий организации труда (наличие регламентированных перерывов и др.).

Сделанные наблюдения необходимо согласовать с критериями норм гигиены труда и другими нормативными актами в сфере охраны труда, принимая за основу:

- а) правовые требования;

- б) действующие стандарты безопасности труда и технические регламенты, инструкции по охране труда, правила трудового распорядка, указания производителей и т. д.;

- в) принципы иерархии устранения рисков, такие как:

- избежание риска;

- замещение опасных рисков безопасными или менее опасными (например, замещение токсичных химических веществ веществами, менее вредными для здоровья);

- ликвидация рисков у самых их истоков;

- внедрение в первую очередь коллективных, а не индивидуальных средств защиты (например, при защите от пыли в помещении

приоритет отдается оборудованию системы местной вытяжной вентиляции, а не использованию противогазов);

- применение передовых технологий и инноваций;
- повышение уровня безопасности.

Процедуру оценки рисков необходимо организовывать и применять, для того чтобы помочь работодателям или их представителям, контролирующим производимую работу:

- определить угрозы, имеющиеся в рабочем процессе, и оценить связанные с ними риски, чтобы, соблюдая требования существующего законодательства, определить, какие мероприятия необходимо осуществить для обеспечения безопасности и сохранности здоровья работников и других лиц;

- оценить риск, чтобы, основываясь на полученной информации, правильно организовать работу, выбрать необходимые для работы оборудование, химические вещества, материалы и т. п.;

- проверить, адекватны ли осуществляемые мероприятия по охране труда;

- определить приоритеты деятельности, если в результате оценки была установлена необходимость в дальнейших мероприятиях;

- показать работникам и их представителям, что все факторы, связанные с работой, приняты во внимание, а также приняты все необходимые меры для организации безопасного труда;

- обеспечить сохранение здоровья и повышение уровня безопасности работающих при помощи превентивных мероприятий, методов и приемов работы, которые были признаны необходимыми и внедрены после проведения оценки рисков.

### **Основные методические и организационные задачи, которые неизбежно приходится решать при проведении оценки риска:**

1. Формирование перечня опасностей, кто это будет выполнять и как, а так же как его использовать в дальнейшем.

2. Связывание опасности с выполняемыми операциями человеком - машиной (оборудованием, инструментом) и внешней средой, в которой выполняется эта операция.

3. Определение частоты (временного периода) присутствия опасности.

4. Дефрагментация трудовой деятельности, с точки зрения связи опасности с конкретной деятельностью и даже действиями, а не с профессией, т.к. наполнение профессии конкретными работами зависит от предприятия.

5. Метод оценивания (измерения) тяжести возможных последствий при реализации опасности, и в каких единицах? На практике этот пункт, пожалуй, один из самых не простых.

Шаги рабочего процесса оценки риска можно представить в виде таблицы 1, которая позволяет определить не только факторы, определяющие уровень риска, но и методы управления ими, а так же способы оценки эффективности и стоимости работ по снижению уровня риска.

При этом целью возможных направлений регулирования выявленных рисков является их снижение.

Таблица 1. Шаги рабочего процесса оценки риска

Факторы уровня опасности		Примечание
Опасность	Частота (А)	Частота выполнения действия, при котором возможно воздействие опасного или вредного производственного фактора
	Тяжесть (В)	Наиболее вероятная тяжесть нанесения ущерба здоровью
	Численность персонала подверженного опасности (С)	Определяет количество работников, подверженных воздействию опасного или вредного производственного факторов
	Вероятность воздействия (D)	Определяется вероятностью воздействия опасного или вредного производственного фактора, частотой его проявления в диапазоне от нулевых последствий до крайних

(А) - фактически это время существования опасности или доля в общем рабочем времени, т.е. фактически это время существования опасности или доля в общем рабочем времени, когда данный вид опасности существует. Отсюда способом управления рисками явля-

ется уменьшение времени существования опасности (в пределе свести к нулю т.е. исключить вообще) – так называемая защита «временем».

Способы решения задачи в этом случае:

1. **Организационные**, т. е. снижение времени затрачиваемого на выполнение операции, нахождения в опасной зоне.

2. Технические меры: автоматизация (удаление человека из процесса), введение новой технологии/техничко-технологического переоснащения – изменения.

**(В)** - Фактически это означает уровень/концентрацию энергии/вещества в единицу времени/ и на единицу площади/объема применительно к человеку. Например, во время проведения работы на высоте тяжесть последствий от потери устойчивости (равновесия) будет зависеть от высоты падения и от наличия и вида предметов, находящихся в зоне падения.

Способы снижения уровня такого воздействия - последствий:

1. технические;
2. средства индивидуальной и коллективной защиты.

**(С)** - количество работников выполняющих работу в присутствии опасности.

Меры управления:

- технические, например автоматизация механизация - повышение производительности труда - сокращение численности персонала;

- организационно-технические вывод части персонала из опасной зоны, организация рабочих мест в других местах.

**(D)** - частота опасных событий (т.е. реализации опасности) наиболее сложный вариант, т.к. в меньшей степени зависит от технической составляющей, а больше от, так называемого «человеческого фактора» т.е. ошибок различного типа.

Число «опасных состояний», связанных с человеком, по результатам расследования несчастных случаев, колеблется от 60% до 90% (по данным различных источников).

Опасные состояния человека определяются множеством факторов: психические и физиологические особенности (состояния) работника (склонность к риску, доминированию, концентрация внимания, скорость реакции, утомляемость и т.д.), умения, навыки, знания (стаж, квалификация), осознание/понимание опасности, роли своей работы в технологической цепи производства, финансовой системой

мотивации (эффективностью и ориентацией этой системы) и другими.

Приведем некоторые группы факторов, которые в различной степени влияют на поведение человека и на реализацию его опасных состояний.

**1. Когнитивный модуль** - знание понимание персоналом причин и последствий несчастных случаев, место и роль выполняемых работ в технологической цепочке производства.

Понимание, осознание опасности (в той или иной степени) и своей роли в технологической цепочке производства оказывает влияние на поведение человека при выполнении работ, наша задача оценить степень этого влияния

**2. Материально-технологический модуль** (работоспособность-надежность оборудования, инструментов, приспособлений, безаварийность оборудования, наличие необходимых средств индивидуальной защиты).

Оценивание того, насколько и в какой степени надежность технических средств обеспечивает безопасность работника т снижает вероятность его опасных действий.

**3. Кадровый модуль.** (психофизиологические характеристики человека, стаж работы по профессии, квалификация).

Определяет насколько значим или насколько влияет подбор персонала (персональные особенности: реакция, умение правильно оценивать обстановку, утомляемость и другие психофизиологические особенности) на качество выполнения работы, на снижение травматизма, на вероятность выполнения опасных действий работником.

**4. Визуализация опасности** (знаки, плакаты, разметка, ограждения и т.п.).

Определяет насколько значима визуализация опасности (предупреждающих, запрещающих знаков, сигнальной разметки, маркировки опасных зон, звуковых сигналов) в предупреждении человека, удержании его от совершения опасных действий и от попадания в опасные ситуации.

Эти параметры, в то же время являются инструментами управления опасными состояниями - поведением работников. Поэтому, зная их роль, значимость или, по-другому, эффективность каждой группы инструментов, можно выбрать наиболее действенный инструмент(ы) для управления.



Нет определенного закона, который бы регулировал методологию проведения оценки риска. Но существуют два принципа, о которых всегда надо помнить при оценке риска:

1. Необходимо учитывать все факторы риска и возможные угрозы.

2. Определив риск, необходимо выяснить, можно ли избавиться от него полностью. Если нет, то необходимо оценить его возможные последствия.

Разработка методов выявления и управления риском основана на создании системы методов и определяющих факторов, которые формируют условия трудовой деятельности. Такая систематизация позволяет определить необходимые и достаточные элементы системы безопасности труда, а также определяет возможности мониторинга динамических изменений состояний системы при изменении условий труда.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Крюков Н.П. Оценка профессиональных рисков [Электронный ресурс]/ Крюков Н.П., Истомин С.В., Турченко В.Н., Ефимова И.В. [и др.] // Справочник специалиста по охране труда. - 2010. – № 8. Режим доступа: <http://www.mcfr.ru>, свободный.

2. Управление рисками и профилактика в сфере труда в новых условиях. Доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда – 2010 / МОТ Субрегиональное бюро для стран Восточной Европы и Центральной Азии. – Москва, МОТ, 2010г., 20с.

УДК 616.07:004.032.26

Шевченко О.И.  
ОНМА

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ**

Идея искусственных нейронных сетей возникла как следствие попыток смоделировать поведение живых существ в процессе исследований в области искусственного интеллекта. В процессе этих исследований делались попытки воспроизведения способности нервных биологических систем обучаться на собственном опыте и исправлять возможные ошибки, полученные в ходе обучения [1-3]. Особенно быстро получила развитие теория нейронных сетей в последние 10-20 лет, когда была создана элементная база для ее практической реализации – цифровые компьютеры.

По аналогии с мозгом человека, ключевым элементом нейронных сетей является понятие искусственного нейрона. Особенность искусственного нейрона в том, что он получает входные сигналы через несколько входных каналов. Каждый входной сигнал проходит через соединение, имеющее определённую интенсивность, что соответствует некоторой активности биологического нейтрона. С каждым нейроном связано определенное пороговое значение его активации, т.е. выход искусственного нейрона равен нулю, если вход отрицательный и единице - при входе положительном.

Выходы нейронов соединяются со входами других нейронов, обеспечивая этим передачу сигнала от одного нейрона к другому. Совокупность нейронов, выполняющих определённую функцию, образуют слой, а объединённые между собой слои образуют сеть. В простейшем случае сеть состоит из входных и выходных слоёв. Но чаще всего в сети могут присутствовать также скрытые (промежуточные) слои, где обычно выполняется основная часть работы сети. Последовательность слоёв нейронов и их соединений образуют так называемую архитектуру сети, конечно имеющую довольно слабую связь с построением реальной биологической нервной ткани из нейронов.

В одной из наиболее распространённых на практике архитектур - многослойном персептроне, каждый нейрон более высокого уровня соединяется своими входами с выходами нейронов нижележащего слоя. Значения входных сигналов поступают на нейроны самого

нижнего слоя и передаются в следующий слой, при этом они преобразуются (ослабляясь или усиливаясь) в зависимости от числовых значений (весов) межнейронных связей. В результате на выходе нейрона самого верхнего слоя получаем сигнал - реакцию всей сети на входное воздействие.

Особая ценность нейронных сетей заключается в том, что их можно обучать. Это обучение обеспечивается благодаря полученным ранее данным, для которых известны как значения входных параметров, так и правильные ответы на них (обучение с учителем). Сам процесс обучения состоит в подборе таких весов межнейронных связей, которые обеспечивают максимальную близость реакции сети к заранее известным правильным ответам. Обучение без учителя - когда формируется ответ сети только на основе входных воздействий. На практике часто последовательно используют оба эти способа.

Другой особенностью нейронных сетей является то, что они нелинейны по своей природе, что позволяет воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости, особенно там, где линейные модели работают плохо. Такие сети оказались способными принимать решения, на основе выявленных ими скрытых закономерностей в многомерных данных.

В качестве примера, ниже приведены некоторые результаты решения нашей задачи с помощью использования некоторых элементов нейронных сетей - пакета Statistica Neural Networks (SNN).

Используя данные Var1 - Var55, полученные из [4] в качестве входных переменных нейронной сети, создаём структуру сети по типу - Многослойный перцептрон (Multilayer Perceptron) [1-3], с количеством входов 55 и выходов - 2 (гладкое и осложнённое течение послеоперационного периода больного). Полученная структура нейронной сети показана на рисунке 1. Она состоит из трёх слоев - входного, состоящего из 55 элементов (Var1 - Var55), промежуточного (M) - 28 элементов и выходного из двух элементов (1 и 2). Из всех входных данных сети программой SNN значимыми были признаны 38, которые программой были разделены на три группы - обучающую, контрольную и тестовую.

Обучение сети выполнялось методом обратного распространения [1]. Алгоритм обратного распространения последовательно обучает сеть на данных из обучающего множества. На каждом шаге обучения (эпохе) наблюдения по очереди поступают на вход сети. Сеть их

обрабатывает и выдаёт выходные значения, которые затем сравниваются с заранее известными (заданными) значениями и их разность (ошибка) используется для корректировки весов межнейронных связей в сторону уменьшения ошибки. В таблице 1 показан образец процесса обучения. Процесс был выполнен за 46 шагов и была достигнута погрешность обучения не превышающая 0,005.

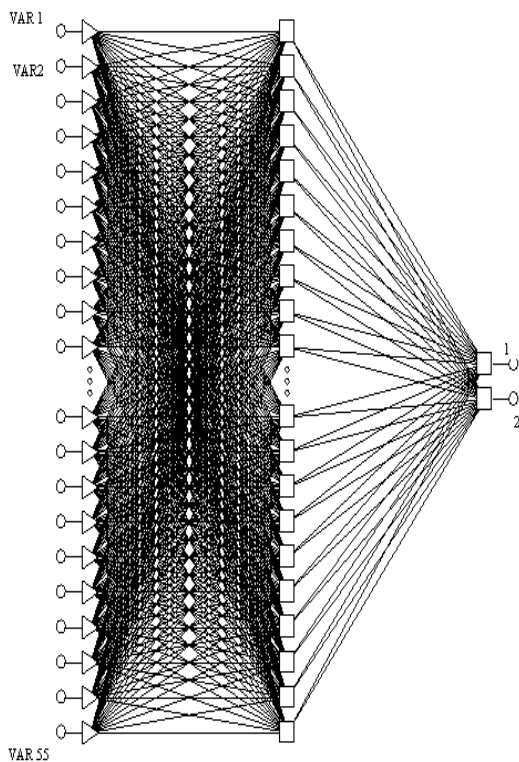


Рис. 1- Структура нейронной сети

Таблица 1. Обучение нейронной сети

<b>N</b>	<b>TRAI</b>	<b>N</b>	<b>TRAI</b>	<b>N</b>	<b>TRAI</b>
<b>1</b>	1,824	<b>18</b>	0,287	<b>34</b>	0,038
<b>2</b>	1,824	<b>19</b>	0,285	<b>35</b>	0,028
<b>3</b>	0,550	<b>20</b>	0,278	<b>36</b>	0,027
<b>4</b>	0,471	<b>21</b>	0,273	<b>37</b>	0,019
<b>5</b>	0,456	<b>22</b>	0,257	<b>38</b>	0,018
<b>6</b>	0,402	<b>23</b>	0,200	<b>39</b>	0,016
<b>7</b>	0,398	<b>24</b>	0,192	<b>40</b>	0,013
<b>8</b>	0,387	<b>25</b>	0,113	<b>41</b>	0,013
<b>9</b>	0,385	<b>26</b>	0,100	<b>42</b>	0,007
<b>10</b>	0,376	<b>27</b>	0,091	<b>43</b>	0,007
<b>11</b>	0,360	<b>28</b>	0,068	<b>44</b>	0,006
<b>12</b>	0,322	<b>29</b>	0,066	<b>45</b>	0,005
<b>13</b>	0,315	<b>30</b>	0,057	<b>46</b>	0,005
<b>14</b>	0,298	<b>31</b>	0,054	<b>47</b>	0,005
<b>15</b>	0,296	<b>32</b>	0,045		
<b>16</b>	0,292	<b>33</b>	0,039		

Обученная, таким образом, сеть может в дальнейшем использоваться для построения прогнозов новых данных. По нашему мнению, круг задач, решаемых такой системой, может быть значительно расширен, так как для этого достаточно иметь необходимый набор входных параметров с известными результатами для создания индивидуализированных схем профилактики заболеваний на судах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейронные сети. Statistica Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных/ Под редакцией В.П. Боровикова-2-е изд.-М.: Горячая линия-Телеком,2008.-392с.
2. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. / Ахим Бююль, Петер Цёфель – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2001. – 608с.
3. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows.-М.:Финансы и Статистика, 2006.-243с.
4. Шевченко О.І. Прогнозування гнійно-септичних ускладнень оперативної лапароскопії в гінекології // Вісник морської медицини. – 2004. - №4. – С.10-12.

УДК 614.8

Шевченко О.І.  
ОНМА

## ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКУ УСКЛАДНЕНЬ ТРАВМУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ОРГАНІВ

**Вступ.** Повідомлення про інфекційні ускладнення, що виникають після різних травмувань, з'являються рідко. Недостача публікувань, присвячених цієї проблемі, пояснюється тим, що в процесі розвитку цієї нової методики основна увага приділялась технічному боку проблеми, а не рідким випадкам виникнення гнійної інфекції (за даними літератури, частота гнійно-септичних ускладнень при малоінвазивних втручаннях не перевищує 3,5%) [2,3]. Однак, інфекційні ускладнення перешкоджають відновленню функції та є причиною порушують відновлення працездатності. Крім того, вони подовжують термін перебування хворих в стаціонарі або приводять до більш тривалої амбулаторної реабілітації, вимагають відповідного консервативного лікування, а іноді і проведення хірургічної корекції та можуть бути фінансово затратними.

Тому, з метою виділення групи ризику щодо виникнення після-операційних гнійно-септичних ускладнень (ПГСУ) та проведення ефективних профілактичних заходів для поліпшення результатів операцій нами розроблено алгоритм та створено математичну модель прогнозування цього патологічного стану.

За даними літератури, для підвищення ефективності досліджень та достовірності одержуваних результатів, в прогнозуванні різних станів повинні застосовуватися багатомірні ймовірнісні моделі, особливою яких є те, що при них враховується інформація про зв'язок багатьох ознак, взаємний вплив їх один на одного [2].

Цім вимогам відповідає метод багатофакторного дискримінантного аналізу, який дає можливість прогнозувати не лише факт виникнення патології, а й ступінь імовірності її виникнення з метою створення індивідуалізованих схем профілактики [1, 2, 3].

**Матеріали та методи.** В якості математичної моделі використовували метод покрокового дискримінантного аналізу, який дозволяє виявити достовірність різниці між групами порівняння за величиною F статистики Фішера, розробити алгоритм прогнозу і провести математичне моделювання. Обробку отриманих даних проводили на персональному комп'ютері з програмним забезпеченням Windows-

2000 Professional та програмним пакетом “Statistica v 6.0 SR” корпорації “StatSoft”.

Інформативність прогностичної системи визначали за формулами:

$$\text{Чутливість} = \frac{A}{(A+C)}, \quad (1)$$

$$\text{Специфічність} = \frac{D}{(D+B)}, \quad (2)$$

$$\text{Діагностична точність} = \frac{(A+D)}{(A+B+C+D)}, \quad (3)$$

де А – справжні позитивні результати;

В – хибно позитивні результати;

С – хибно негативні результати;

Д – справжні негативні результати.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Методом покрокового дискримінантного аналізу встановлено, що найбільший вплив на виникнення ГСУ в післяопераційному періоді мали 8 з 55 проаналізованих факторів.

З урахуванням індексації розраховано величини дискримінантних функцій:

$$f_1 = -0,46 + 1,90X_1 + 1,12X_2 + 1,05X_3 + 1,87X_4 - 2,36X_5 + 0,17X_6 + 0,65X_7 - 0,92X_8,$$

$$f_2 = -0,35 + 1,66X_1 + 0,97X_2 + 0,92X_3 + 1,63X_4 - 2,06X_5 + 0,14X_6 + 0,57X_7 - 0,80X_8,$$

де  $f_1$  – дискримінантна функція, яка визначає вірогідність виникнення ГСУ в післяопераційному періоді;  $f_2$  – заперечує подібну можливість.

При  $f_1 > f_2$  прогнозується можливість виникнення ПГСУ;

при  $f_1 < f_2$  – відкидається подібна можливість.

Для визначення ступеня ризику виникнення ПГСУ розраховували величину  $p$  за формулою:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

де  $z$  – різниця між величинами дискримінантних функцій  $f_1$  і  $f_2$

[3]; величину  $e^{-z}$  визначали за допомогою табличних показників функції  $e^{-x}$  [1].

За величиною  $p$  визначали ступінь імовірності прогнозу:

при  $p < 0,5$  імовірність виникнення ПГСУ вважали низькою,

при  $p = 0,5 - 0,8$  – середньою,

при  $p > 0,8$  – високою.

По результатам проведених розрахунків збудований графік (рис.1), де показується залежність вірогідності  $p$  (Var 3) розвитку ПГСУ від величини  $z$  (Var 2).

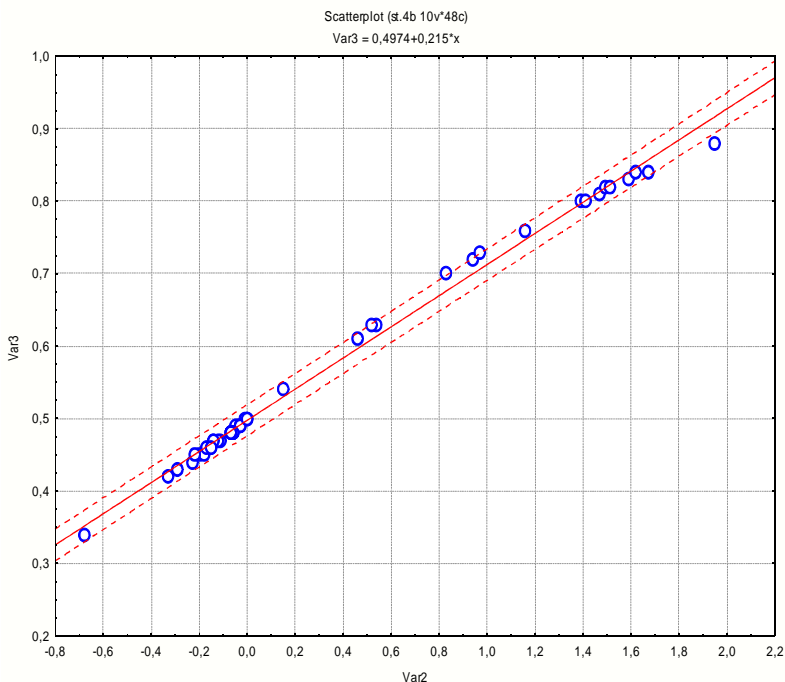


Рис. 1. Залежність вірогідності  $p$  (Var 3) розвитку ПГСУ від різниці дискримінантних функцій  $z$  (Var 2).

Інформативність прогностичної системи визначили за формулами (1, 2, 3):

$$\text{Чутливість} = \frac{12}{12+0} = 1, \text{ що складає } 100\%;$$



$$\text{Специфічність} = \frac{31}{31+5} = 0,861, \text{ що складає } 86,1\%;$$

$$\text{Діагностична точність} = \frac{12+31}{12+5+0+31} = 0,896, \text{ або } 89,6\%.$$

**Висновки.** Розроблена прогностична система характеризується високою чутливістю (100%) та точністю математичної моделі (89,6%).

Проведений покроковий дискримінантний аналіз дає можливість прогнозувати виникнення післяопераційних гнійно-септичних ускладнень, дозволяє в кожному конкретному випадку обгрунтовано оцінити ступінь ризику розвитку ПГСУ і внаслідок цього вчасно провести профілактичні заходи по їх попередженню.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. – С.410.
2. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дх.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; Под ред. И.С. Енюкова. – М.: „Финансы и статистика”, 1989. – 138с.
3. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. / Ахим Бююль, Петер Цёфель – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2001. – 608с.

УДК 656.61

Бобыр В.А., Ворохобин И.И.  
ОНМА

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

*Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.*

Решение многих практических и теоретических задач по реализации судовых эргатических функций основывается на измерениях различных физических, химических и других параметров, как показателей действия законов природы. Результатом этих измерений является достижение целей судовых систем менеджмента – выполнения законодательных и регламентирующих требований каждой из систем. Эти требования представляются в виде эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов. Для эффективной реализации судовых эргатических функций необходимо установить чувствительность этих функций.

В теории систем менеджмента под чувствительностью функции понимается зависимость размера и значительности величины риска по отношению к изменениям параметров входных данных [1].

С точки зрения теории вероятностей чувствительность функции – это предел точности измерений, в пределах которого вероятностные состояния функции – величины ее энтропии неразличимы [2].

Чувствительность в теории систем управления характеризует влияние изменений параметров элементов на их свойства. Вариации элемента системы управления приводит к изменению его передаточной функции, а это в свою очередь вызывает изменение передаточной функции всей системы управления, а значит, в конечном итоге, и изменение величин, характеризующих ее состояние [3].

В математике чувствительность функции является малым параметром, обеспечивающим «хорошее схождение ряда».

Применительно к эргатической функции ее чувствительность означает такую минимально допустимую величину изменения показателя действия закона природы, которая практически не влияет на заданное допустимое изменение эксплуатационного или финансового показателя. Другими словами, изменения энтропии при реализации эргатической функции в пределах ее чувствительности практически незначимы. При этом от величины чувствительности эргати-

ческой функции зависит только начало отсчета, при котором вычисляется энтропия – ее начальное значение [2]. Это позволяет рассчитывать энтропию эргатической функции.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Вопросы, касающиеся характеристик эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов на морском флоте [4], а также точности измерений контролируемых параметров [5], освещены в литературе достаточно полно. Однако проблема взаимосвязи управляемых параметров - показателей действия экономических законов с контролируемыми параметрами – показателями действия законов природы в судовых эргатических функциях осталась нерешенной

Формулирование целей статьи и постановка задачи.

Цель статьи – определить функциональную зависимость показателей законодательных и регламентирующих требований (эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов) от показателей действия законов природы.

Задача статьи – на основе функциональной зависимости показателей законодательных и регламентирующих требований от показателей действия законов природы определить чувствительность судовой эргатической функции.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.

Под эргатической функцией понимается любое действие оператора, направленное на уменьшение энтропии связи элементов внутри эргатической системы и самих элементов, для достижения тех целей, ради которых эта система создана [6]. На морском флоте цели эргатических функций определяются системами менеджмента, внедренными на судах. Например, одной из целей системы менеджмента качества (стандарт ISO 9001:2008) является удовлетворение требований и ожиданий заказчика. Эти требования, называемые в системах менеджмента законодательными и регламентирующими, выражаются с помощью эксплуатационных или финансовых показателей действия экономических законов.

По аналогии с производственными функциями, выражающими технологическую зависимость между выпуском продукции и затратами ресурсов, эргатические функции характеризуют зависимость

между показателями действия экономических законов и показателями действия естественных законов природы. Эту зависимость в общем виде можно представить уравнением:

$$P_{i,j} = \phi(q_{i,j}), \quad (1)$$

где  $P_{i,j}$  – эксплуатационный или финансовый показатель экономического закона, определяемый  $i$ -ым показателем действия  $j$ -го закона природы;  $\phi(q_{i,j})$  – аналитическое описание эргатической функции;  $q_{i,j}$  –  $i$ -ый показатель действия  $j$ -го закона природы.

Выражение (1) представляет собой уравнение управления с помощью эргатической функции. К управляемому параметру относится показатель действия экономического закона, а к контролируруемому – показатель действия закона природы.

Выражение для чувствительности эргатической функции находим в общем виде после дифференцирования (1) по  $P$  и  $q$  и перехода к конечным приращениям:

$$\Delta P_{i,j} = \phi'(q_{i,j}) \Delta q_{i,j}, \quad (2)$$

где  $\Delta P_{i,j}$  – приращение эксплуатационного или финансового показателя экономического закона, определяемого  $i$ -ым показателем действия  $j$ -го закона природы;  $\phi'(q_{i,j})$  – производная функции (1) по  $q$ -тому параметру;  $\Delta q_{i,j}$  – приращение  $i$ -го показателя действия  $j$ -го закона природы.

Показатели действия законов природы контролируются в эргатических функциях путем их измерения. Эти измеряемые показатели являются случайными величинами, а их приращения в (2) по существу – погрешности измерений, которые представляют собой сумму систематических и случайных погрешностей.

Выражение для стохастической модели чувствительности эргатической функции для случая, когда она характеризует зависимость одного эксплуатационного или финансового показателя от показателя действия одного закона природы получаем в общем виде, как показано в [7], после замены  $\Delta q$  на погрешности измерений:

$$\Delta P = \phi'(q) (m + t\sigma), \quad (3)$$

где  $m$  – математическое ожидание погрешности измерений  $q$ -го показателя действия закона природы;  $\sigma$  – дисперсия погрешности измерений  $q$ -го показателя действия закона природы;  $t$  – действительное число для закона распределения, зависящее от заданной до-

верительной вероятности и величины доверительного интервала, выраженного в величинах стандартного отклонения.

Для случая, когда эксплуатационный или финансовый показатель является функцией от нескольких показателей действия нескольких законов природы, стохастическую модель чувствительности эргатической функции при независимых измерениях показателей действия законов природы, получим из (3) с учетом правил сложения математических ожиданий и дисперсий на основе [7]:

$$\Delta P_{i,j} = \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \phi'(q_{i,j}) \cdot m_{i,j} + t \sqrt{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B [\phi'(q_{i,j})]^2 \cdot \sigma_{i,j}^2}, \quad (4)$$

где  $m_{i,j}$  – математическое ожидание погрешности измерений  $i$ -го показателя действия  $j$ -го закона природы;  $\sigma_{i,j}$  – дисперсия погрешности измерений  $i$ -го показателя действия  $j$ -го закона природы;  $A$  – конечное множество числа показателей действия естественных законов природы в данной эргатической функции;  $B$  – конечное множество естественных законов природы в данной эргатической функции.

Математическое ожидание и дисперсия погрешности измерений показателей действия законов природы определяются на основе специальных наблюдений.

Поскольку на практике в судовых условиях одна и та же эргатическая функция может быть реализована различными операторами, то в ходе таких специальных наблюдений математическое ожидание погрешности измерения показателя действия закона природы  $m$  можно получить в виде постоянной поправки, учитывающей влияние систематических погрешностей всех операторов и рассчитываемой по формуле:

$$\alpha = m_{\Sigma} + m_{\text{сп}} + t \sqrt{\sigma_{\text{сп}}^2}, \quad (5)$$

где  $m_{\text{сп}}$  – математическое ожидание погрешности определения  $m_{\Sigma}$ ;  $\sigma_{\text{сп}}$  – стандартное отклонение погрешности определения  $m_{\Sigma}$ , которое для одних и тех же показателей действия законов природы, полученное по результатам измерений различными операторами и принимаемых за случайные величины равно:

$$m_{\Sigma} = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l m_l, \quad (6)$$

$m_i$  - математическое ожидание погрешности измерения показателя действия закона природы  $l$ -тым оператором;  $k = 1, 2, \dots, l$  - количество операторов.

При этом дисперсия погрешности измерений показателя действия закона природы, общая для всех операторов рассчитывается по известной формуле:

$$\sigma^2 = \frac{1}{l-1} \sum_{k=1}^l \sigma_k^2, \quad (7)$$

где  $\sigma_l^2$  - дисперсия погрешности измерения показателя действия закона природы  $l$ -тым оператором.

После подстановки (5-7) в (4) получаем выражение для определения чувствительности эргатических функций на основе использования статистических оценок погрешностей измерения показателей действия законов природы различными операторами:

$$\begin{aligned} \Delta P_{i,j} = & \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \phi'(q_{i,j}) \cdot \left( \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l m_k + m_{\text{сн}} + t \sqrt{\sigma_{\text{сн}}^2} \right)_{i,j} + \\ & + t \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^l [\phi'(q_{i,j})]^2 \cdot \sigma_{i,j,k}^2} \end{aligned} \quad (8)$$

Однако в подавляющем большинстве случаев на судне в эксплуатационных условиях при реализации судовых эргатических функций нет возможности для проведения специальных наблюдений по определению математического ожидания и дисперсии погрешности измерения показателей действия законов природы. В этом случае учет систематических и случайных погрешностей измерений показателей действия законов природы можно осуществлять следующим образом.

Как правило, показатели действия законов природы измеряются с помощью приборов. С одной стороны, у каждого прибора имеется класс точности, который указывается на шкале прибора. Тогда зависимость класса точности прибора от наибольшей систематической приведенной (обобщенной) относительной погрешности измерений данным прибором, получаем по формуле [8]:

$$K = \frac{\Delta}{\alpha_{\text{max}} - \alpha_{\text{min}}} \cdot 100, \quad (9)$$

где  $\Delta$  - наибольшая обобщенная систематическая абсолютная погрешность измерения;  $\alpha_{max}$ ,  $\alpha_{min}$  – значения верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы прибора.

Для приборов с равномерной шкалой значение  $\alpha_{min}$  соответствует началу шкалы - нулю, а для приборов с неравномерной шкалой рабочая часть начинается с 25% начального диапазона измерения.

Из (9) получаем, что наибольшая обобщенная систематическая абсолютная погрешность измерения данным прибором равна:

$$\Delta = 0,01K(\alpha_{max} - \alpha_{min}). \quad (10)$$

Промышленностью выпускаются измерительные приборы с классами точности 0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 и 6,0. Например, для термометра с классом точности 0,2 и равномерной шкалой от 0°C до 100°C наибольшая систематическая абсолютная погрешность измерения будет равна 0,1°C.

С другой стороны, цены делений шкал измерительных приборов позволяют уменьшить влияние случайной составляющей погрешности измерений. В работе [9] показано, что для нормального закона распределения зависимость стандартного отклонения погрешности измерений от цены деления шкалы измерительного прибора для доверительной вероятности  $P = 0,997$  выражается формулой:

$$\sigma = \frac{1,208}{t} c, \quad (11)$$

где  $c$  – цена деления шкалы измерительного прибора.

Это позволяет определить теоретическую технологическую возможность данной судовой эргатической функции для выполнения законодательных и регламентирующих требований к допустимому изменению показателя  $\Delta P_{ij}$ , а также степень метрологического обеспечения с помощью приборов для измерения показателей действия законов природы. После подстановки (11) в уравнение (3) для  $\Delta P$  имеем:

$$\frac{\Delta P}{\varphi'(q) \cdot c} - \frac{m}{c} = 1,208. \quad (12)$$

В формуле (12)  $m$  представляет собой систематическую погрешность измерений, определяемую из выражения (10) как  $\Delta$ :

После подстановки (10) в уравнение (12) получаем:

$$\frac{\Delta P}{\phi'(q) \cdot c} - \frac{0,01K(\alpha_{\max} - \alpha_{\min})}{c} = 1,208 \quad (13)$$

Правое слагаемое в левой части выражения (13) является обратной величиной коэффициента вариации, которая применительно к судовой эргатической функции характеризует степень ее метрологического обеспечения.

Технологическую возможность для данной судовой эргатической функции обеспечить выполнение законодательных и регламентирующих требований системы менеджмента по заданному изменению одного эксплуатационного или финансового показателя в зависимости от каждого в отдельности показателя действия закона природы при имеющихся измерительных приборах получим из выражения (13):

$$\Delta P = \phi'(q) \cdot [0,01K(\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) + 1,208c] \quad (14)$$

Выражение для определения чувствительности эргатической функции при реализации изменений эксплуатационного или финансового показателя в зависимости от нескольких показателей действия нескольких законов природы в совокупности на основе характеристик измерительных приборов – класса точности и цены деления шкалы прибора получаем после подстановки (11) и (14) в (4):

$$\Delta P_{i,j} = \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \phi'(q_{i,j}) \cdot [0,01K(\alpha_{\max} - \alpha_{\min})]_{i,j} + 1,208 \sqrt{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B [\phi'(q_{i,j})]^2 \cdot c_{i,j}^2} \quad (15)$$

где  $K_{i,j}$  – класс точности измерительного прибора  $i$ -го показателя действия  $j$ -го закона природы;  $(\alpha_{\max} - \alpha_{\min})_{i,j}$  – разность значений верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы измерительного прибора  $i$ -го показателя действия  $j$ -го закона природы;  $c_{i,j}$  – цена деления шкалы прибора для измерения  $i$ -го показателя действия  $j$ -го закона природы.

В качестве примера рассмотрим задачу определения класса точности ареометров при определении массы наливного груза  $Q$  объемно-весовым способом на танкере. В этом случае:

$$Q = V \cdot \rho, \quad (16)$$

где  $V$  – объем груза, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность груза, кг/м<sup>3</sup>.



После дифференцирования (16) по  $Q$  и  $\rho$ , перехода к конечным приращениям и преобразований на основе (14) и (16) получим выражение для определения класса точности ареометра при доверительной вероятности  $P = 0,997$ :

$$K = \frac{\rho \cdot \delta_Q - 1,208c}{0,01(\alpha_{max} - \alpha_{min})}, \quad (17)$$

где  $\delta_Q$  – относительная предельная допустимая погрешность определения массы наливного груза на танкере, %;  $c$  – цена деления шкалы ареометра, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_{max}$  и  $\alpha_{min}$  – значения верхнего и нижнего пределов рабочей части шкалы ареометра, кг/м<sup>3</sup>.

Принимая, что средняя плотность нефти равна 850 кг/м<sup>3</sup>, относительная предельная допустимая погрешность определения массы наливного груза на танкере – 0,1%, цена деления шкалы ареометра – 0,5 кг/м<sup>3</sup> и  $\alpha_{max} - \alpha_{min} = 30$  кг/м<sup>3</sup> [10], по (17) определяется класс точности ареометра – 0,82. Это соответствует 1-му классу точности. На практике для определения массы наливного груза на танкере именно с таким классом точности и используются ареометры.

*Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.*

Таким образом, нами получено выражение для определения чувствительности эргатических функций, что позволяет:

- 1) обеспечить основу для оценки энтропии состояния эргатических функций и повышения их надежности, а также эффективности и результативности систем менеджмента на морском флоте;
- 2) принимать обоснованные решения при разработке новых технологий в вопросах обеспечения точности измерений;
- 3) подбирать измерительные приборы по классу их точности и цене деления их шкал для реализации эргатических функций таким образом, чтобы обеспечить заданную допустимую величину изменения эксплуатационных или финансовых показателей.

Однако, для внедрения в практику методов определения чувствительности эргатических функций необходимо дальнейшее научное обоснование и разработка, по крайней мере, методов оценки на судах:

- 1) энтропии эргатических функций;
- 2) эффективности и результативности систем менеджмента.

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. International Standard ISO 31010:2009 «Risk Management - Risk Assessment Techniques». – London: ICS, 2009 – 90 p.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М.: Наука – Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 564 с.
3. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь / Лопатников Л.И. – М.: Дело, 2003. - 520 с.
4. Винников В.В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок) / Винников В.В. – Одесса: Феникс, 2011. – 944 с.
5. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
6. Климов Е.А. Введение в психологию труда / Климов Е.А. – М., Юнити. – 1998. – 249 с.
7. Бобыр В.А. Повышение точности измерений навигационных параметров / Бобыр В.А. // Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА. - Вып. 20. – Одесса: Издат-Информ, 2011. – 16-22 с.
8. Дикий Н.А. Основы научных исследований: теплоэнергетика / Дикий Н.А., Халатов А.А. – К.: Вища школа, 1985. – 223 с.
9. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Румшицкий Л.З. – М.: Недра, 1971. – 192 с.
10. Бобыр В.А. Определение количества наливного груза по судовым замерам / Бобыр В.А. // В сб. трудов ЦНИИМФ "Технология морской перевозки грузов", вып. 272. - Л.: Транспорт, 1982. - 74-83 с.

УДК 621.431.7

Слободянюк Д. И.  
ОНМА

## **ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОРШНЕВОГО КОЛЬЦА СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ СМАЗЫВАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

Рост удельных мощностей в двигателестроении снижает долговечность деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) судового дизеля. Ресурс дизеля до переборки определяется техническим состоянием деталей именно этой группы. Следовательно, очень важно определять наступление момента предельного состояния ЦПГ, начиная с которого эксплуатация должна прекращаться. Нароботка цилиндра до очередного вскрытия определяется работоспособностью поршневых колец (ПК).

Таким образом, первым шагом в решении проблемы повышения эффективности судового дизеля, является получение достоверной оценки технического состояния деталей ЦПГ, которое характеризуется прежде всего работоспособностью ПК.

В этом отношении большие возможности открываются при использовании результатов теории и практики виброакустической диагностики.

Литературный анализ[1-3] показал, что на современных судах проводится мониторинг состояния и выполнения функций отдельными ответственными деталями ЦПГ основанный на виброакустической диагностике.

Специальный быстродействующий датчик установленный выше продувочных окон на цилиндровой втулке двигателя измеряет частоту и амплитуду акустических колебаний возникающих при прохождении кольца мимо датчика. Однако, в применяемых системах мониторинга состояния поршневых колец нет информации о процессах взаимодействия сопряжения «кольцо-втулка» при малых скоростях движения. Особенностью этого процесса является то, что в момент прохождения продувочных окон, режим смазки не является гидродинамическим. В тонком смазочном слое, за счет структурирования молекул пристенных слоев, возникает расклинивающее давление, препятствующее возникновению адгезионного контакта между поршневым кольцом и перемычками окон цилиндра.

Отсутствие сведений о процессах трения при разделении деталей тонкими пленками смазки, находящихся в анизотропном состоянии, являлось серьезным препятствием развития исследований в этом направлении. Полученные нами экспериментальные результаты по величине расклинивающего давления в тонких пленках цилиндрического масла нефтяного происхождения с анизотропными свойствами на металлических поверхностях деталей ЦПГ [5-6] и определение толщины этих пленок, позволяют решить задачу мониторинга и управления процессом трения сопряженных поверхностей при выше указанных условиях.

Задача получения и идентификации сигнала от вибрационного датчика установленного на цилиндрической втулке при прохождении кольцом продувочных окон цилиндра, при малых скоростях движения поршня, не изучалась и ставится впервые, поэтому исследования являются актуальными.

Цель работы – повышение эффективности эксплуатации судовых малооборотных дизелей путем разработка диагностической модели технического состояния поршневого кольца при прохождении кольцом продувочных окон МОД.

При создании системы диагностирования необходимо, чтобы она решала следующие задачи:

1. Определить, может ли узел трения и система смазывания, обслуживающая его по их состоянию, выполнить возложенные на них функции,
2. Определить характер дефекта, возникшего в сопряжении деталей.
3. Предсказать момент времени, когда диагностические показатели достигнут предельного значения.

Функциональное диагностирование наиболее удобно осуществлять по конечному результату работы т.е. триботехническим характеристикам узлов трения, непосредственно в процессе эксплуатации.

Колебательный процесс, возникающий в зоне трения, распространяется по элементам конструкции машин и механизмов и может быть зарегистрирован на достаточном удалении от зоны трения. Низкочастотная область спектра используется для диагностирования целостности элементов узлов трения. Высокочастотная часть спектра вибрации используется для решения задач определения состояния материалов узла трения, интенсивности изнашивания, оценки остаточного ресурса узла трения.

Рассмотрим систему технического диагностирования деталей ЦПГ построенную на использовании анизотропных свойств смазочных материалов, возникающих в тонких пленках смазки за счет структурирования приповерхностных молекул смазки.

Диагностическая модель [1] устанавливает связь между состоянием системы и ее отображением в пространстве диагностических сигналов. В общем случае, диагностические параметры являются функцией нескольких структурных параметров.

$$\begin{cases} P_{\partial_1} = t(P_{C_1}, \dots, P_{C_i}) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ P_{\partial_j} = t(P_{C_1}, \dots, P_{C_i}) \end{cases} \quad (1)$$

Уравнения (1) отражают реально существующие функциональные зависимости между структурными и диагностическими параметрами.

Диагностическими параметрами могут быть: сила трения, тепловыделение, интенсивность изнашивания, вибрация и др.

Структурные параметры: физико-механические характеристики смазочных материалов, физико-механические характеристики узлов трения и др.

Техническое состояние деталей может находиться в конечном множестве состояний  $S$ , которое состоит из подмножества работоспособных состояний  $S_1$  и подмножества неработоспособных состояний  $S_2$ .

Разделение множества  $S$  на подмножества определяется условием работоспособности. При этом, условие работоспособности задают в пространстве диагностических показателей – областью работоспособности, в пределах которой поршневые кольца выполняют свое функциональное назначение.

Существует такой параметр  $P_{дб}$  который позволяет задать область работоспособности деталей.

Таким образом, если диагностический параметр изменяется в пределах

$$0 < P_{\partial_i} < P_{дб} \quad (2),$$

то система считается работоспособной.

В практических задачах диагностирования технического состояния деталей и систем смазывания необходимо использовать заранее назначенные контрольные уровни. Для повышения достоверности оценки технического состояния используется предупредительный уровень  $P_{дс}$ .

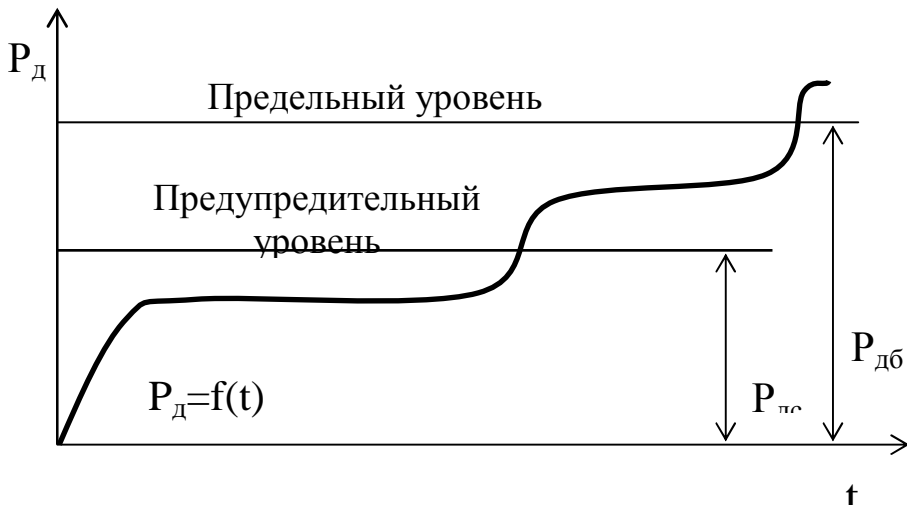


Рис.1. Оценка отклонения диагностируемого параметра по предельным уровням.

Предупредительный уровень соответствует таким значениям диагностируемых параметров, которые соответствуют переходу работы смазочного материала с квазикристаллических свойств на изотропные т.е. наблюдается деструкция смазочного слоя.

В качестве условия срабатывания предупредительной сигнализации будет неравенство;

$$P_{дс} < P_{ди} < P_{дб} \quad (3)$$

Предельный уровень соответствует таким значениям диагностируемых параметров, которые соответствуют работе узла трения с полностью разрушенным смазочным слоем или в его отсутствии.

Предельный и предупредительный уровни определяются на основании испытаний на моделях трения после удаления из зоны трения смазочного материала.

Экспериментальное исследование значения виброакустических параметров, соответствующих предупредительному и предельному

уровням, в зависимости от условий смазывания, проводилось на установке, блок-схема которой представлена на рис.2.

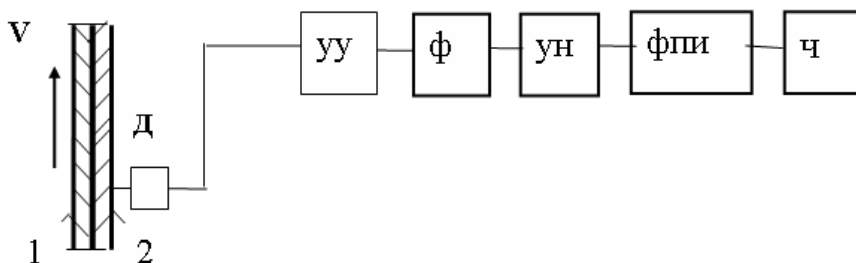


Рис.2. Блок-схема системы диагностики технического состояния поршневых колец.

Д - акустический датчик; УУ – узкополосый усилитель; Ф – фильтр; УН – усилитель напряжения; ФПИ – формирователь прямоугольных импульсов; Ч- частотомер или двухканальный осциллограф.

Для спектрального анализа вибросигналов использовалось дискретное преобразование Фурье.

Усовершенствованная конструкция типового датчика виброускорений, построенного на пьезокерамике ЦТС19, показана на рис. 3.

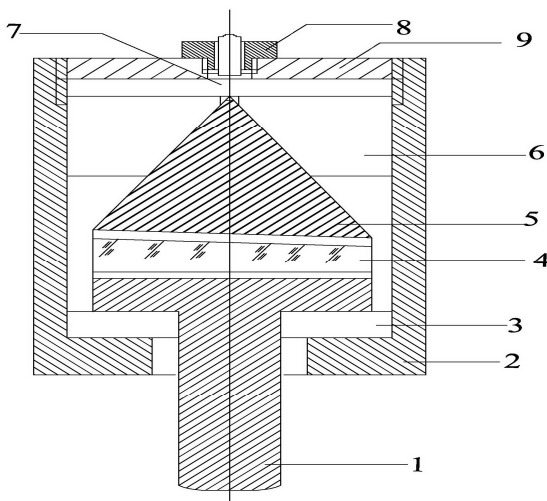


Рис.3. Акустический датчик

1. Входной волновод датчика
2. Корпус датчика
3. Виброизоляционная прокладка
4. Пьезокерамическая шайба (датчик)
5. Ультразвуковая ловушка
6. Вибрационная прокладка
7. Вывод электрического сигнала
8. Сальниковое уплотнение
9. Крышка датчика

Наличие смазки в соединении «кольцо-штулка» варьировалось от толстого слоя с изотропными свойствами до ее полного отсутствия, при котором возникал адгезионный контакт.

При проведении исследований были получены частотные характеристики, которые можно принять за эталонные ввиду отсутствия вибраций и шумов имеющихся на судовом дизеле.

Установлено следующее.

Регистрация акустического сигнала с частотой 0÷100 Гц означает, что техническое состояние колец исправно.

При частичном нарушении смазывания на отдельных перемычках втулок частота сигнала увеличивается до 100÷200 Гц. Однако площадь, занимаемая пленкой смазки с анизотропными свойствами на много превышает площадь контакта с сухим трением, поэтому в данном случае схватывания не наблюдается и вмешательства в процесс эксплуатации не требуется.

Появление частоты 200...300 Гц (рис.4) свидетельствует об отсутствии пленки на отдельных перемычках, что требует выработки сигнала на увеличение подачи смазки. Очевидно, это связано с продувкой, при которой пленка смазки частично сдувается.

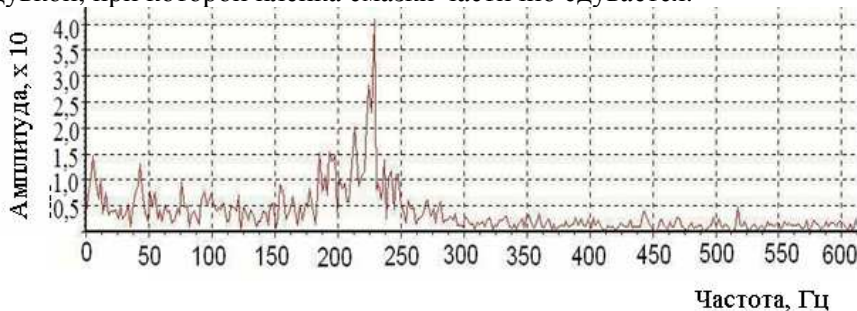


Рис.4. Амплитудно-частотная характеристика сигнала при нарушении смазки на отдельных перемычках.



Сигнал частоты 300÷500Гц (рис.5) соответствует тяжелому режиму граничного трения с адгезионным схватыванием поршневых колец и перемычек втулки цилиндра. Требуется дополнительное увеличение подачи масла, или снижением нагрузки на цилиндр на 25 %.

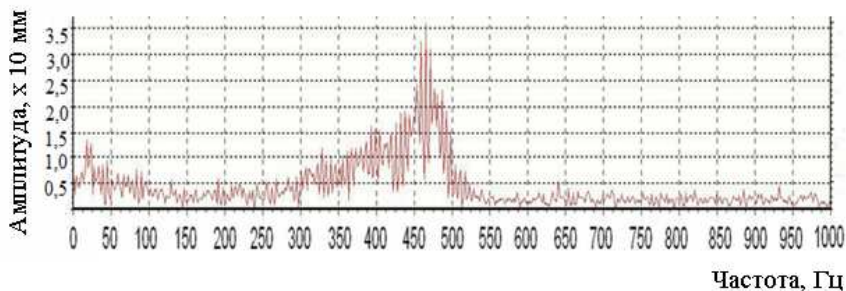


Рис.5. Амплитудно-частотная характеристика сигнала, соответствующая началу процесса схватывания при нарушении смазки на отдельных перемычках.

При появлении частоты сигнала 500÷1000 Гц (рис.6) происходит необратимая деструкция поршневых колец и перемычек втулки цилиндра. Получение сигнала о наступлении сухого трения позволяет своевременно увеличить подачу смазки, а в случае повторения сигнала вырабатывается сигнал на аварийную остановку двигателя.

Продолжение эксплуатации двигателя может привести к характерной в таком случае поломке поршневых колец.

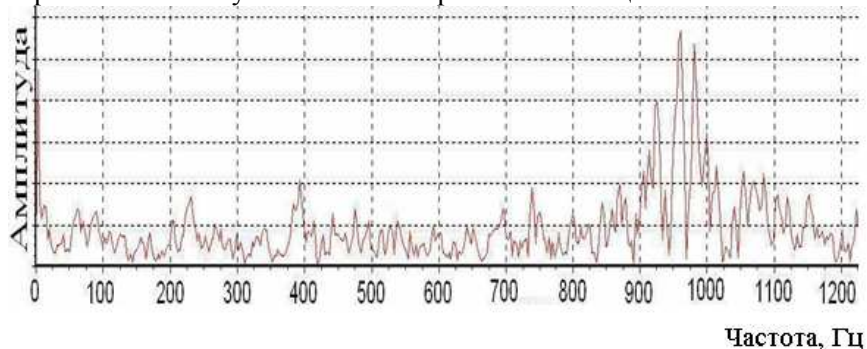


Рис.6. Амплитудно-частотная характеристика сигнала, соответствующая процессу схватывания.

Таким образом, акустический сигнал в результате его идентификации может быть использован:

- в системе автоматического управления подачи масла в цилиндр двигателя;
- в системе сигнализации при выработке сигнала о нарушении процессов смазывания;
- в системе защиты двигателя для исключения аварийных ситуаций в работе деталей ЦПГ.

Полученные результаты положенные в основу диагностической модели работоспособности поршневых колец при реализации квазикристаллических свойств смазочных материалов представленной на рис.7.

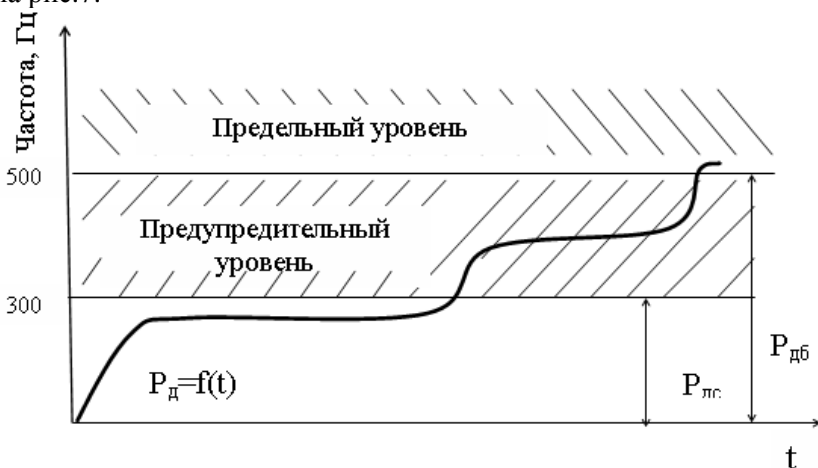


Рис. 7. Диагностическая модель технического состояния поршневых колец МОД.

Сравнивая полученные экспериментальные данные с расчетными, полученными в работе [5], видно, что экспериментальные данные подтверждают полученные теоретически.

Таким образом, система обеспечивает мониторинг технического состояния поршневых колец в моменты прохождения продувочных окон, когда в тонком слое цилиндровой смазки с анизотропными свойствами возникает расклинивающее давление, которое противодействует образованию адгезионного контакта между кольцом и перемычками втулки,

### Выводы

1. Впервые разработана диагностическая модель технического состояния поршневых колец МОД, разделенных с втулкой тонким слоем смазки с анизотропными свойствами, используя методы вибродиагностики,
2. Экспериментально подтверждены теоретические результаты расчета акустической частоты сигнала при движении с малой скоростью кольца.
3. Установлен интервал частотных характеристик 0÷500 Гц, при которых система считается работоспособной. Сигнал с частотой до 500 Гц идентифицируется системой как диагностический, свыше 500 Гц - как опасный.
4. Установлены предупредительные и предельные уровни частотных характеристик требующих вмешательства оператора.
  - Интервал частот акустического сигнала 300÷500 Гц соответствует предупредительному уровню, соответствующего тяжелому режиму граничного трения с адгезионным схватыванием колец и перемычек втулки цилиндра. При поступлении такого сигнала требуется дополнительное увеличение подачи масла, или снижение нагрузки на цилиндр на 25 %.
  - Интервал частот 500÷1200 Гц соответствует предельному уровню. При этом происходит необратимая деструкция поршневого кольца. Вырабатывается сигнал на аварийную остановку двигателя.

Диагностическая модель технического состояния поршневых колец позволит повысить эффективность эксплуатации современных форсированных судовых малооборотных дизелей путем организации своевременного изменения смазки сопряжения «кольцо-втулка», а также предупреждения от аварийной ситуации.

Методика идентификации состояния поршневых колец при прохождении продувочных окон втулок прошла испытание на двигателе МАН В&W 7S 46MC-C мощностью 9170 квт, производства 2006 года, на т/х «Seine Highwax», что подтверждено соответствующим Актом внедрения.

Перспективой развития виброакустической диагностики является применение современных аналого-цифровых преобразователей для ввода сигналов от датчиков в ПЭВМ, что позволит обрабатывать вибросигналы при помощи специальных программ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ханмамедов С.А. Совершенствование функциональных свойств систем смазывания судовых энергетических установок. Дисс. докт. техн. наук, – Николаев; 1990 – с.672.
2. Hellingman, G.J. and Barrow, S.: “Shipboard investigations with Selected Fuels of Tomorrow”, CIMAC 1981, Helsinki.
3. Neate R.J. and Barrow S.: “SIPWA-A Shipowner’s Point of View”, New Sulzer Diesel Ltd, December 1990.
4. Слободянюк Д.И. Совершенствование методики идентификации состояния поршневых колец МОД на основе экспериментального исследования частоты акустического сигнала. //Проблемы техники: Научно-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2012..№3.–С. 68-75.
5. Ханмамедов С.А., Слободянюк Д.И., Горюк А.А., Шакур К.С. Изотермы расклинивающего давления в структурированной пленке цилиндрического масла судового дизеля. //Проблемы техники: Научно-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2011.–№1.–С. 90-101.
6. Слободянюк Д.И., Ханмамедов С.А. Экспериментальные изотермы расклинивающего давления в пленках цилиндрического масла и их применение для повышения надежности судового дизеля. //Проблемы техники: Научно-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2011.–№2.–С. 136-147.
7. Слободянюк Д.И., Колегаев М.А., Слободянюк И.М. Расклинивающее давление в тонких пленках цилиндрического масла на чугунных поршневых кольцах судовых дизелей. //Проблемы техники: Научно-виробничий журнал.–Одеса: ДиолПринт, 2013.–№2.–С.43-52.

УДК 331.45:656.61.089.2-027.236

Парменова Д.Г.  
ОНМА

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ МОРЯКОВ ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА**

Проблемы безопасности трудовой деятельности, в том числе охраны труда, на первый взгляд обыденного сознания здоровых и невредимых людей находятся где-то очень и очень далеко на границах или даже за границами наших жизненно важных интересов. Однако каждую секунду на Земном шаре в рамках производственной деятельности травмируются 4 человека, и каждые 15 секунд один из них получает смертельную травму.

По данным Всемирной организации здравоохранения, смертность от несчастных случаев в наше время занимает третье место после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Но если от заболеваний умирают в основном люди старших возрастов, то от несчастных случаев гибнут, как правило, трудоспособные люди, которым еще жить и жить. Поэтому любой человек должен иметь четкое представление об опасностях трудовой деятельности, принципах, способах и средствах их предотвращения, т.е. об охране труда.

Подготовка курсантов и студентов к работе на морских судах подразумевает получение знаний, пониманий и профессиональных навыков в области охраны труда и техники безопасности, что неразделимо с понятием «культура безопасности», входящим в требования к компетенции моряков согласно Конвенции ПДНВ 95 с поправками 2010 года.

Среди различных работ, выполняемых на судне, особо выделяются работы повышенной опасности. К ним относятся все работы, связанные с подъемными кранами, с работой на высоте, работой в замкнутых помещениях, огневые работы, работы с электросетью высокого напряжения и пр. Разделяя работы на категории высокой и невысокой опасности, следует отметить, что несчастные случаи, как показывает опыт, очень часто возникают не только при работах с повышенной опасностью, а и при выполнении работ с невысоким уровнем опасности.

Перед возникновением несчастного случая, как правило, создается определенная опасная ситуация, когда человек может осознать

приближение такого случая и может принять необходимые меры для его предотвращения. Неумение человека вовремя осознать опасную ситуацию и принять адекватные меры приводит к несчастным случаям и авариям. Человек должен уметь прогнозировать, предвидеть развитие трудового процесса и свое поведение, а так же вовремя осознавать опасную ситуацию и тем самым предотвращать несчастные случаи.

Основным общепризнанным методом охраны труда уже многие годы является использование технических средств безопасности. При этом решаются две основные задачи:

1) Создание машин, инструментов, технологий, при использовании которых опасность возникновения несчастного случая снижается до минимума;

2) Создание специальных средств защиты, охраняющих человека от опасности в процессе труда.

Однако по данным статистики, по крайней мере, в двух из трех несчастных случаях главным виновником является не техника, не технологический процесс, а сам работающий человек, который, по тем или иным причинам, не соблюдал правила безопасности, нарушал нормальное течение трудового процесса, не использовал предусмотренные средства защиты и т.п.

Обстоятельства, способствующие возникновению несчастных случаев и аварий, возникают по вполне объективным причинам:

1) С развитием техники опасность растет быстрее, чем противодействие ей.

2) Рост цены ошибки. Теперь люди чаще гибнут от тока высокого напряжения, калечатся при использовании все более мощных грузоподъемных и транспортных средств, падают с высоты многоэтажных домов, - и падают не на землю, а на асфальт, бетон.

3) Привыкание человека к опасности. Используя блага, даваемые техникой, и привыкая к ним, человек зачастую забывает, что техника обычно является еще и источником высокой опасности, а интенсивное использование ее повышает возможность реализации этой опасности. Постоянное взаимодействие с опасным оборудованием и неосведомленность о массовости несчастных случаев ведут к тому, что человек перестает бояться того, что на самом деле является очень опасным. К счастью, далеко не каждое нарушение влечет за собой несчастный случай. Но это “к счастью” имеет и обратную сторону. Люди, однажды безнаказанно нарушив правила и получив

за счет этого какую-то мелкую выгоду, повторяют подобные нарушения. Постепенно происходит адаптация не только к опасности, но и привычка к нарушениям правил.

Таким образом, безопасность поведения человека на производстве зависит от следующих факторов:

- состояния безусловных рефлексов, которыми человек бессознательно отвечает на различные опасности, которые угрожают ее организма (например, самовольное отодвинуть руки от горячего предмета);

- психофизиологических качеств человека, которые проявляются в его чувствительности к сигналам опасности, скоростных возможностях реагировать на такие сигналы (состояние тревоги обостряет чувство опасности, состояние усталости уменьшает возможности человека относительно определения и противодействия опасности);

- профессиональных качеств и опыта человека, то есть знание профессии и правил безопасности, жизненный опыт;

- мотивации к безопасному труду (у разных людей есть разные мотивы к труду и мер безопасности).

Обучение в учебном заведении должно обеспечить будущему моряку получение того уровня знаний и умений, который позволит ему противодействовать опасностям в труде, опираясь на свои профессиональные качества и опыт. Здесь имеются в виду не столько навыки и умения по достижению трудовой цели, сколько навыки и умения решать такие задачи безопасно. Умение безопасно работать зависит главным образом от знания своей профессии и правил безопасности труда, от жизненного опыта, что дает ему возможность гибко использовать эти факторы для успешного и безопасного решения различных трудовых задач. Это касается не только рядового моряка, который выполняет работу, а и руководителя этой работы, т.е. офицера.

Недостаточный уровень знаний по вопросам охраны труда приводит к тому, что в процессе работы человек не может точно определить, что является опасным, а что безопасным; где последствия ошибки малы, а где высоки. Кроме того, он не может быстро ориентироваться и находить решения в сложных и опасных ситуациях. Такой работник понимает, что он может легко допустить опасную ошибку, осознает, что у него недостаточные возможности противодействовать опасности. Все это порождает тревогу, неуверенность в себе, в безопасности своего труда и приводит к опасным действиям.

Значительное место в повышении безопасности труда и в организации безопасного поведения на судне отводится методам эффективного обучения курсантов и студентов по вопросам охраны труда. В результате обучения будущие офицеры должны получить полное представление о разнообразии опасных и вредных факторов, имеющих место на морских судах, а так же обрести знания по методам предотвращения этих опасностей и защиты от них.

Во время обучения безопасной работе большое внимание следует уделять развитию способности мыслить, умению критически оценивать различные условия судовых работ и способности быть готовым к действиям в новых, спонтанно возникающих, опасных ситуациях.

Надлежащая квалификация и осведомленность моряков по вопросам охраны труда снижает риск получить травму или профессиональное заболевание. Поэтому одним из наиболее приоритетных направлений уменьшения травматизма является повышение уровня знаний и навыков курсантов и студентов по этим вопросам, начиная с учебного заведения.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Гогіташвілі Г.Г. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: навч. посіб. К.: Знання, 2007. – 367 с.
2. Гандзюк МП., Желібо Е.П., Халимовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. - К.: Каравела, 2005. - 393 с.
3. Практическая психология. Учебник./ Под ред. д-ра психол. наук, проф., акад. БПА М. К. Тутушкиной — 4-е изд., перераб., доп. — СПб.: Изд-во «Дидактика Плюс», 2001. — 368 с.



УДК 004.942:004.031.043

Приходько Е.А.  
ОНМА

## **ПРИМЕНЕНИЕ «ТЕОРИИ КАТАСТРОФ» ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗИСНОЙ МОДЕЛИ МОНИТОРИНГА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Теория катастроф возникла на стыке топологии и математического анализа. Ее источниками являются теория особенностей гладких отображений Х.Уитни, а также теория устойчивости и бифуркаций динамических систем А.Пуанкаре, А.Ляпунова и А.Андропова. Слияние этих двух направлений в единую стройную теорию с броским названием «Теория катастроф» обязано усилиям французского математика Р.Тома, который сформулировал и обосновал основные положения этой теории, реализующую идеи А.Пуанкаре применительно к изучению состояний равновесия динамических систем, описываемых потенциальной функцией.

С момента появления теории катастроф прошло уже более 40 лет. Под ее влиянием активно развиваются направления исследований топологии сложных динамических систем в различных областях знаний. В этих направлениях теория катастроф предстает не как замена традиционных методов, а как новое научное направление, поддерживающее анализ качественных закономерностей и получения количественных результатов для широкого класса приложений в науке, технике и технологиях [1], [4]. Вместе с тем, классическая теория катастроф Р.Тома требует существенного расширения и доработки не только в части отражения современных тенденций в исследовании сложных динамических систем, но и формулировки и обоснования различных аспектов поведения таких систем в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. По существу речь идет о принципиально новой интерпретации поведения нелинейных нестационарных самоорганизующихся систем [3].

Теория катастроф служит мощным инструментом при обработке и формализации информации. Она не заменяет прежние методы и дополняет их новыми подходами и моделями, способствуя получению новых знаний о динамике сложных физических систем. При этом реализуется цепочка преобразования информации, связывающая топологический анализ с синтезом системы на основе формальных моделей теории динамических систем и интеллектуальных тех-

нологий [3].

Теория катастроф – математический инструмент, требующий дальнейшего совершенствования в рамках интеллектуальных технологий. Эта теория открывает пути изучения не только качественных, но и количественных интерпретаций процессов и явлений реального мира, не всегда допускающих экспериментальную проверку. Действительно, исследование резких скачкообразных изменений в поведении сложных динамических систем не всегда доступно на основе физического моделирования, а натурный эксперимент опасен и часто невозможен.

Разработка интеллектуальных систем (ИС) новых поколений осуществляется на основе достижений теории катастроф [1], [4] в соединении с современным математическим аппаратом. и средствам производительных вычислений ИС.

Объектом исследования выбрана область практических приложений, связанная с контролем динамики изменений системы. Концептуальный базис нечеткой среды моделирования динамики системы основан на использовании принципов обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде и достижений в области интеллектуальных технологий. Применимы основные принципы преобразования информации в трудноформализуемых средах.

Исследование поведения сложных динамических систем в рамках теории катастроф осуществляется с помощью стандартных процедур – вычисления критических точек некоторого параметризованного семейства функций. Это позволяет сформулировать задачу исследования поведения нелинейного нестационарного объекта, функционирующего в сложной динамической среде. Такая постановка задачи требует проведения ресурсоемких фундаментальных исследований по реконструкции модели катастроф с учетом особенностей динамики нелинейной нестационарной системы, мониторинг которой реализуется с помощью бортовой ИС [2].

Формализованное ядро системы интеллектуальной поддержки процессов построения и использования моделей знаний при анализе текущих ситуаций реализуется в рамках нечеткого логического базиса. Фундаментальной основой такой интерпретации является концепция нечетких целей и ограничений.

Повышение эффективности функционирования процедурной компоненты базы знаний ИС достигается за счет использования принципа конкуренции и формализации процесса обработки нечет-

кой информации. Другими принципами повышения эффективности ИС новых поколений являются принцип открытости, принцип сложности и принцип нелинейной самоорганизации.

Реализация указанных принципов осуществляется в рамках концепции мягких вычислений [2]. Построение нечеткой среды моделирования, включающей различные сочетания исследуемых сценариев взаимодействия, осуществляется в виде ситуационной модели игры с динамически меняющимся классом стратегий и управляемым сценарием.

Для решения этой задачи предварительно формулируется сценарий, структура представляет собой объединение всех рассматриваемых (эталонных) ситуаций с учетом моментов времени, определяющих управления, а структура описывает переходы между эталонными ситуациями с помощью отображения множества тактик оператора как лица, принимающего решения в множество вариантов и полезностей этих тактик – в множество вариантов. Задача нечеткого моделирования сводится к построению ситуационной модели с динамически изменяющимся классом стратегий и управлением сценариями.

Весь этот цикл задач охватывает общую проблему формирования методологической базы приложения теории катастроф для решения сложных задач геометрической и аналитической интерпретации информации в современных исследованиях динамик и сложных физических систем, особенно самоорганизующихся систем, функционирующих в условиях неопределенности [3].

Динамическая модель катастрофы, отображающая поведение сложного объекта, может быть представлена в виде:

$$DM(Cat) = \langle H(Cat), A(Cat) \rangle, \quad (1)$$

где  $H(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе геометрической модели катастроф;

$A(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе аналитической модели катастроф.

Геометрическая интерпретация физической картины взаимодействия на основе компоненты  $H(Cat)$  имеет вид:

$$H(Cat) = \langle B(\theta, t), GZ((\theta, t), C(\theta, t)) \rangle, \quad (2)$$

где  $H(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе геометрической модели катастроф;

$A(Cat)$  – компонента, интерпретирующая динамическую среду на основе аналитической модели катастроф;

$B(\theta, t)$  – бифуркационное множество, представляющее собой образ особого множества в пространстве управляющих параметров;

$GZ(\theta, t)$  – множество, отображающее динамическую среду, интегрирующую влияние внешних возмущений и особенностей динамики объекта;

$C(\theta, t)$  – множество, отображающее структурные изменения в форме элемента исследуемого объекта, вызванные непрерывным изменением действующего параметра.

Аналитическая интерпретация физической картины взаимодействия на основе компоненты  $A(Cat)$  имеет вид:

$$A(Cat) = \langle A(CR), A(PH), A(NF) \rangle, \quad (3)$$

где  $A(CR)$  – математическая модель, отображающая оценку динамической среды взаимодействия на основе критериальных соотношений, разработанных в рамках стандартных алгоритмов исследуемой проблемной области;

$A(PH)$  – математическая модель, отображающая оценку динамической среды на фазовой плоскости с помощью теории стохастических систем, теории детерминированного хаоса и синергетической парадигмы;

$A(NF)$  – математическая модель, отображающая оценку динамической среды на основе чувствительной нечеткой системы.

Интеграция этих подходов позволил сформулировать концептуальный базис для применения современной теории катастроф для анализа сложных динамических систем в условиях неопределенности и неполноты исходной информации [3].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Наука, 1990.
2. Бортовые интеллектуальные системы. Часть 2. Корабельные системы. – М.: Радиотехника, 2006.
3. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – Санкт-Петербург. Арт-Экспресс, 2011.
4. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф. – М.: Мир.1980.

УДК: 621.431.74-611

Добровольский В.В., Солодовников В.Г.  
ОНМА

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ РАБОТАЮЩИХ НА ВЫСОКОВЯЗКИХ СОРТАХ ТЯЖЕЛЫХ ТОПЛИВ ВЯЗКОСТЬЮ 380 ММ<sup>2</sup>/С И ВЫШЕ**

В современных рыночных условиях морские и речные судоходные компании, основную материальную базу которых составляет транспортный флот, испытывают серьёзные экономические и финансовые трудности в конкурентной борьбе на мировом рынке транспортных услуг. Большинство транспортных судов эксплуатируются 10–20 лет судоходными компаниями.

Для сохранения своего присутствия на рынке судовладельцы вынуждены искать пути существенного сокращения собственных затрат с тем, чтобы не только конкурировать с другими судовладельцами, но и обеспечить уровень доходов, который бы создавал условия для расширенного воспроизводства. Судоходные компании реализуют сокращения собственных финансовых затрат различными путями, например снижением заработных плат экипажу, сокращением количества экипажа на судне, снижением основных эксплуатационных затрат за счет перехода на дешёвые сорта высоковязких топлив вязкостью выше 380 мм<sup>2</sup>/с. Один из перспективных методов снижения финансовых затрат является переход на путь оптимизирования энергопотребления и повышения энергоэффективности судов.

С 1 января 2013 года в соответствии с положениями Резолюции ИМО МЕРС.203(62) вступили в силу новые правила Конвенции МАРПОЛ, направленные на повышение энергоэффективности судов. На все новые суда, построенные после 1 января 2013 года, распространяются требования по расчету Конструктивного коэффициента энергоэффективности судна (EEDI), а для судов, находящихся в эксплуатации, с этой даты вводится требование по наличию на борту Судового плана управления энергетической эффективностью судна (SEEMP).

Цель работы - определить, сколько затрачивается непрерывно энергии на доподготовку высоковязкого топлива RMG 380 в топливной системе малооборотного двигателя внутреннего сгорания MAN

V&W 7S70MC, мощностью 21163 кВт, контейнеровоза E. R. Hamburg дедвейтом 26125 т, с часовым расходом топлива 2,108 м<sup>3</sup>/с при 46% нагрузки главного двигателя от номинальной. Минимизировать энергетические затраты на доподготовку высоковязкого топлива RMG 380 в топливной системе главного двигателя. Этим и обусловлена актуальность данного исследования.

На первом этапе исследований, был проведен анализ функционирования топливоподготовки, контейнеровоза E.R. Hamburg который показал, что на судне используется общепринятая система топливоподготовки двигателя, рекомендованная международным советом по двигателям внутреннего сгорания (СІМАС) [1]. Данная система включает в себе все предыдущие топливные системы, поэтому может быть рассмотрена как одна общепринятая система топливоподготовки, используемая в мировом судоходстве. Она состоит из последовательно включенных активных и пассивных элементов с двукратным резервированием, управляющие реологическими характеристиками топлив.

Основные процессы, которые в ней протекают: отстой; фильтрация; сепарация; нагрев; распыливание топлива; дозирование подачи и синхронизация с движением поршня. В настоящее время, при эксплуатации этой системы нет общепринятой концепции номинирования параметров работы ее элементов. Документы, регламентирующие подготовку топлива на судне, обычно состоят из нормативных документов классификационных обществ, инструкций завода строителя двигателя, изготовителя элементов топливной системы (насосов, фильтров, подогревателей и т.п.), анализов топлива, а также рекомендаций по поддержанию температуры топлива в танках запаса и перед ТНВД.

Высоковязкие топлива, которые используются в СЭУ, могут быть описаны несколькими моделями поведения жидкости – это ньютоновское поведение жидкости и неньютоновское поведение жидкости. Неньютоновское поведения жидкости, делится еще на ряд моделей – модель Шведова, Бингама и т.д. Графические зависимости ньютоновской и неньютоновской жидкости можно увидеть на графике рис. 1.

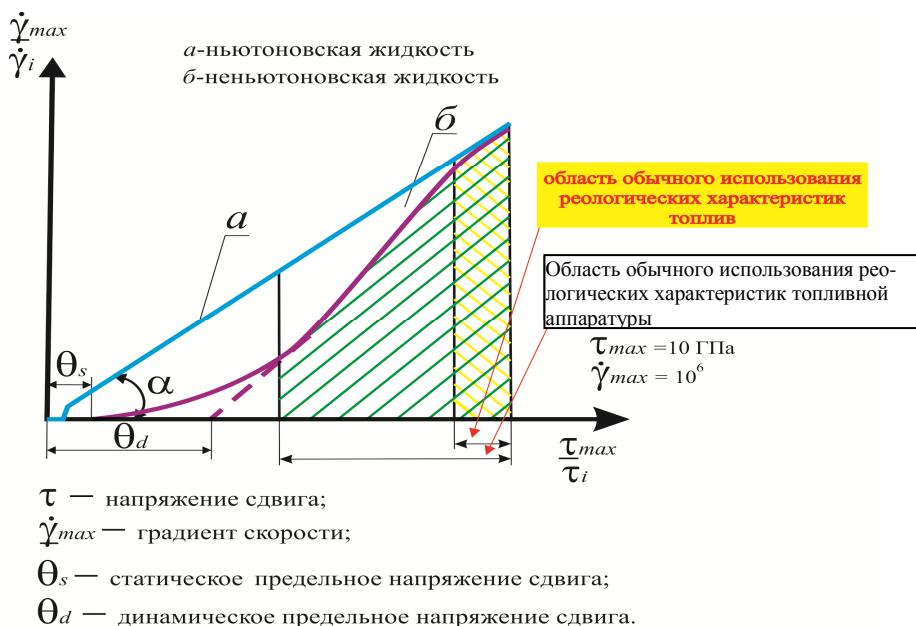


Рис. 1. Реологические зависимости «ньютоновской» и «неньютоновской» жидкости.

В научно-технической литературе, процессы, протекающие в высоковязких топливах в системах топливоподготовки СДВС, обычно для упрощения считаются имеющие линейную зависимость, т.е. описаны при помощи ньютоновской модели поведения. Хотя в области линейной зависимости работает небольшое число элементов топливной аппаратуры, например плунжер ТНВД. Все остальные элементы топливной системы в процессе ламинарного сдвигового течения обнаруживают нелинейное вязкопластичное течение.

Пространственное размещение молекул в кристалле «упаковка» тяжелого топлива должна следовать термодинамическому закону, выражающему стремление системы к минимуму свободной энергии [2]. Плотнейшая упаковка молекул должна достигаться при таких условиях, когда «выступы» конфигурации данной молекулы наилучшим образом заполняют «выемки» конфигурацией ее соседей (рис. 2). На рис. 2 показана схема упаковки молекул парафина в высоковязких топливах.

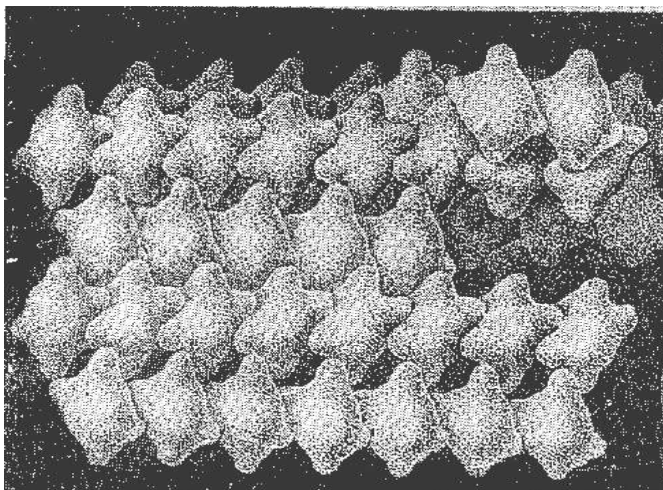


Рис. 2. Схема плотнейшей упаковки молекул в кристалле.

Целенаправленное регулирование молекулярной структуры высоковязких топлив, полярности, а также количества дефектов дисперсной фазы путем воздействия внешними параметрами, такими, как температура, давление, ультразвуковые и электрические поля, позволяют в ряде случаев добиться таких реологических свойств топлив, которые наиболее благоприятны для их сжигания в дизелях.

Подготовка высоковязких топлив в топливной системе, требует затраты энергии для перестройки ее структуры и получения однородных дефектов с линейным размером 20 мкм перед форсункой двигателя [3]. Размер дефекта структуры топлива в 20 мкм-он, обеспечивает формирование капли с линейным размером приблизительно 20 мкм, при выходе их сопла форсунки имеет скорость 200-300 м/с, и обеспечивает полное сгорание высоковязких топлив в дизелях.

Для определения непрерывно затрачиваемой энергии на до подготовку высоковязкого топлива RMG 380 в топливной системе главного малооборотного двигателя внутреннего сгорания, данная топливная система СИМАС была условно разделена на шесть последовательно включенных блоков [4], связанных короткими трубопроводами. Каждый блок состоит из последовательно включенных активных и пассивных элементов с двукратным резервированием, объединённых по принципу реализации одной из функций топливоподготовки, в пределах данного блока. Все параметры в пределах дан-



ного блока считаются сосредоточенными, и подчинены общему закону Бернулли.

Таким образом, процессы, протекающие в каждом из блоков топливной системы могут быть описаны известными физическими уравнениями:

- уравнение неразрывности (сплошности) потока:

$$Q = u_i \omega_i \cdot const = 1 \dots 6, \quad (1)$$

- уравнение Бернулли:

$$\frac{P_{i_{(0-0)}}}{\gamma} + z_{i_{(0-0)}} + \alpha \frac{u_{i_{(0-0)}}^2}{2g} = \frac{P_{i_{(1-1)}}}{\gamma} + z_{i_{(1-1)}} + \alpha \frac{u_{i_{(1-1)}}^2}{2g} + h_{f_i} + \sum h_{\omega_i},$$

$$i = 1 \dots 6, \quad (2)$$

$$\frac{P_{i_{(2-2)}}}{\gamma} + z_{i_{(2-2)}} + \alpha \frac{u_{i_{(2-2)}}^2}{2g} = \frac{P_{i_{(3-3)}}}{\gamma} + z_{i_{(3-3)}} + \alpha \frac{u_{i_{(3-3)}}^2}{2g} + h_{f_i} + \sum h_{\omega_i},$$

$$i = 1 \dots 6, \quad (3)$$

где  $h_{f_i} = \lambda_f \frac{l}{d} \frac{u^2}{2g}, i = 1 \dots 6,$  (4)

- уравнение Дарси (потери напора по длине трубопровода);

$$h_{\omega_i} = \zeta \frac{u^2}{2g}, i = 1 \dots 6, \quad (5)$$

- местные потери напора в топливной системе;

- уравнение, определяющее количество тепла подведенного к топливу на -ом участке:

$$W_{i_{T_i}} = c_i m_i (T_{i_{k_i}} - T_{i_{in_i}}), i = 1 \dots 6, \quad (6)$$

- закон Джоуля, определяющий количество электрической энергии, подведенное к элементам участка:

$$\dot{i}_{(3-3)} - P_{i_{(0-0)}} = \dot{i}_{P_{\square}} = \dot{i}_{Q_{i_{(1-1)}}} = \dot{i}_{W_{in}} = \dot{i} \quad (7)$$

- суммарные энергетические затраты на подготовку топлива состоят из затрат энергии подведённой к электродвигателю насосов или сепаратора тяжелого топлива и количества тепла подведенного к топливу в  $i$ -ом блоке:

$$W_{i\Sigma} = W_{iT} + W_{in} \quad (8)$$

- суммарные энергетические затраты системы топливоподготовки МОДВС вычисляются по формуле

$$W = \sum_{i=1}^{i=6} W_{i\Sigma} \rightarrow \min. \quad (9)$$

Гидравлические потери напора по длине трубопровода  $h_f$  в системе топливоподготовки, рассчитываются согласно классическим уравнениям гидромеханики для трубопровода с диаметром трубы от 0,1 м до 0,254 м и длиной до 100 м. Они известны из справочников гидромеханики [5] и составляют 3%. Расчет энергозатрат системы топливоподготовки был произведен с учетом этих гидравлических потерь.

Реологические свойства топлив могут быть описаны в рамках жидкокристаллического состояния [6], [7]. Экспериментальные исследования структуры в судовых топливах были осуществлены методом диэлектрической спектроскопии в диапазоне частот 100Гц–30МГц [8], и подтверждают предположение, что тяжелые судовые топлива ведут себя как жидкокристаллические вещества [8].

На следующем этапе были проведены экспериментальные исследования рабочих параметров системы топливоподготовки. Экспериментальное исследование рабочих параметров системы топливоподготовки, проводилось согласно разработанной методики [9] для определения энергетических затрат на топливоподготовку тяжелого топлива МОДВС на судне E.R. Hamburg дедвейтом 26125 т, с главной силовой установкой MAN B&W 7S70MC, мощностью 21163 кВт, при 46% нагрузки главного двигателя от номинальной и секундном расходе топлива 0,0005856 м<sup>3</sup>/с.

Основные параметры топливной системы температуры и давления тяжелого топлива RMG 380 относительно длины трубопровода, снимались в реальном времени на судне. Для этого система топливоподготовки была оборудована дополнительными контрольно-измерительными приборами – манометрами и термометрами. До-

полнительные измерительные приборы были установлены в максимально приближенных местах к рассматриваемым сечениям.

В первом блоке системы топливоподготовки, реализуется преобразование структуры тяжелого топлива из твердого состояния в смектическую фазу  $S_c$ , с образованием дефектов структуры. Во втором блоке реализуется преобразование структуры тяжелого топлива из состояния смектической фазы  $S_c$  в смектическую фазу  $S_A$ , а также формирование дефектов структуры. В третьем и четвертом блоках реализуется преобразование структуры тяжелого топлива в пределах нематической фазы  $N$ , с формированием дефектов структуры в высоковязких топливах. В пятом блоке реализуется преобразование структуры тяжелого топлива из нематической фазы  $N$  в близкое к изотропному состоянию  $I$ , с формированием дефектов структуры топлива. В шестом блоке показанном реализуется управление структурой имеющую изотропную фазу, количеством и формой дефектов высоковязких топлив. Снятые параметры системы топливоподготовки давления, температуры, вязкости тяжелого топлива в реальном времени при постоянной нагрузке ГД 46%, а также полученные в результате экспериментальных исследований значения удельной теплостойкости и вязкости тяжелого топлива подставлялись в разработанную реологическую модель поведения процессов высоковязкого топлива в системе топливоподготовки МОДВС [9], которые описаны уравнениями (1)–(9) для шести блоков топливной системы. Расчет суммарных энергетических затрат системы топливоподготовки, был произведен в пакете MATLAB R2011b. Получены следующие результаты суммарных энергетических затрат на подготовку тяжелого топлива RMG 380:

I блок –  $\Sigma W_I = 89,953$  кВт;

II блок –  $\Sigma W_{II} = 69,29$  кВт;

III блок –  $\Sigma W_{III} = 4,956$  кВт;

IV блок –  $\Sigma W_{IV} = 0,487$  кВт;

V блок –  $\Sigma W_V = 0,487$  кВт;

VI блок –  $\Sigma W_{VI} = 15,513$  кВт;

$\Sigma W_{I-VI} = 208,967$  кВт.

Суммарные энергетические затраты на топливоподготовку тяжелого топлива RMG 380 при 46% нагрузки ГД от номинальной, составили 208,967 кВт (2,13%) от мощности главного двигателя.

Проверка погрешности разработанного метода выполнена на основании сравнения расчетных и экспериментальных данных опреде-

ление энергозатрат на топливоподготовку тяжелого топлива в топливной системе двигателя MAN B&W 7S70MC и не превышает 7%.

Следующим этапом исследований была оптимизация работы системы топливоподготовки малооборотных двигателей внутреннего сгорания.

В качестве целевой функции была выбрана величина энергетических затрат на топливоподготовку высоковязких топлив. Решение позволяющее минимизировать энергетические затраты на топливоподготовку, заключалось в назначении соответствующих рабочих параметров топливной системы - давлений и температур, которые удовлетворяют минимальному решению целевой функции.

Расчет суммарных энергетических затрат системы топливоподготовки был произведен в пакете MATLAB R2011b. Для решения данной методики нахождения минимальной функции были заданы пределы изменения основных параметров топливной системы  $p$ ,  $T$  для топлива RMG 380.

Минимизация энергетических затрат на подготовку тяжелого топлива в VI-ом блоке системы топливоподготовки не рациональна. Причиной этого является ничтожно малое изменение давления в сечении (2 – 2) на выходе с ТНВД (196,1 МПа) при его регулировке путем изменения угла опережения подачи тяжелого топлива, по сравнению с давлением ГТ в сечении (0 – 0) и (1 – 1) перед ТНВД (840 кПа). Затраты энергии на топливоподготовку VI-го блока состоят из затрат энергии в ТНВД ГД и составляют 15,513 кВт. Также, отсутствие штатных манометров в сечениях (1 – 1) (перед ТНВД) и сечении (2 – 2) (после ТНВД) не позволяют определить параметры изменения давления при регулировке давлений в этих сечениях.

После подстановки заданных условий давлений и температур в программу MATLAB R2011b, были получены следующие результаты минимизирования энергетических затрат на топливоподготовку тяжелого топлива RMG 380.

I блок –  $\Sigma W_I = 28,028$  кВт;

II блок –  $\Sigma W_{II} = 44,11$  кВт;

III блок –  $\Sigma W_{III} = 3,379$  кВт;

IV блок –  $\Sigma W_{IV} = 0,403$  кВт;

V блок –  $\Sigma W_V = 19,807$  кВт;

VI блок –  $\Sigma W_{VI} = 15,513$  кВт;

$\Sigma W_{I-VI} = 111,513$  кВт.

Суммарная минимизация энергетических затрат на топливоподготовку всей топливной системы, при возможности регулировки основных параметров топливной согласно заданным пределам системы  $p$ ,  $T$  для тяжелого топлива RMG 380 составляет– 111,513 кВт, т.е. снижение затрат на 46,64 % (97,45 кВт).

Окончательную настройку основных параметров топливной системы  $p$ ,  $T$  на данной нагрузке ГД согласно выбранным пределам минимизации нет возможности реализовать в связи с конструктивными особенностями данной системы. Поэтому перенастройка основных параметров топливной системы  $p$ ,  $T$  была произведена не для всех выбранных пределов.

Для I блока, была произведена только настройка температур подогрева тяжелого топлива по танкам запаса.

Для II блока, была произведена настройка температур подогрева тяжелого топлива в отстойных танках тяжелого топлива и подогревателя топлива для сепаратора тяжелого топлива, а также давления всасывания и нагнетания топливоподающего насоса сепаратора тяжелого топлива согласно выбранным пределам минимизации.

Для III блока, была произведена настройка давления входа и выхода в сепаратор тяжелого топлива согласно выбранным пределам минимизации.

Для IV блока, была произведена настройка давления всасывания и нагнетания бустерного насоса согласно выбранным пределам минимизации.

Для V блока, была произведена настройка температур подогрева тяжелого топлива в подогревателе тяжелого топлива главного двигателя, а также давления всасывания и нагнетания циркуляционного насоса тяжелого топлива главного двигателя согласно выбранным пределам минимизации.

После перенастройки основных параметров топливной системы  $p$ ,  $T$  согласно выбранным пределам минимизации, были сняты параметры системы топливоподготовки в реальном времени на постоянной нагрузке ГД 46% и произведен расчет энергозатрат топливной системы. Расчет суммарных энергетических затрат системы топливоподготовки, был произведен в пакете MATLAB R2011b. Получены следующие результаты суммарных энергетических затрат на подготовку тяжелого топлива RMG 380 после настройки:

I блок –  $\Sigma W_I = 41,195$  кВт;

II блок –  $\Sigma W_{II} = 49,14$  кВт;

III блок –  $\Sigma W_{III}=4,304$  кВт;

IV блок –  $\Sigma W_{IV}=0,366$  кВт;

V блок –  $\Sigma W_V=24,052$  кВт;

VI блок –  $\Sigma W_{VI}=15,513$  кВт;

$\Sigma W_{I-VI}=134,57$  кВт.

Произведенная настройка параметров системы топливоподготовки температур и давлений, согласно полученным результатам методики минимизации энергетических затрат на топливоподготовку снизила энергозатраты на 35,6% (74,4 кВт). Это позволило сэкономить 5.39 м.т. тяжелого топлива – 3773 \$ USD (при условной стоимости 1 м.т. топлива 700 \$ USD) за время 126.7 часов на переходах в море при эксплуатационной нагрузке ГД 46%.

За время календарного года, исключая работу на маневренных режимах, рейдовых и портовых стоянок, экономия тяжелого топлива RMG 380 после произведенной настройки основных параметров топливной системы, составляет 113.71 м.т., что при условной стоимости 700 \$ USD за одну 1 м.т., составляет 79597 \$ USD/год.

Зависимость энергетических затрат на подготовку тяжелого топлива RMG 380 до регулировки основных параметров топливной системы, зависимость энергетических затрат после минимизации энергетических затрат на подготовку тяжелого топлива RMG 380 и зависимость энергетических затрат после регулировки основных параметров топливной системы изображены на рис. 3.

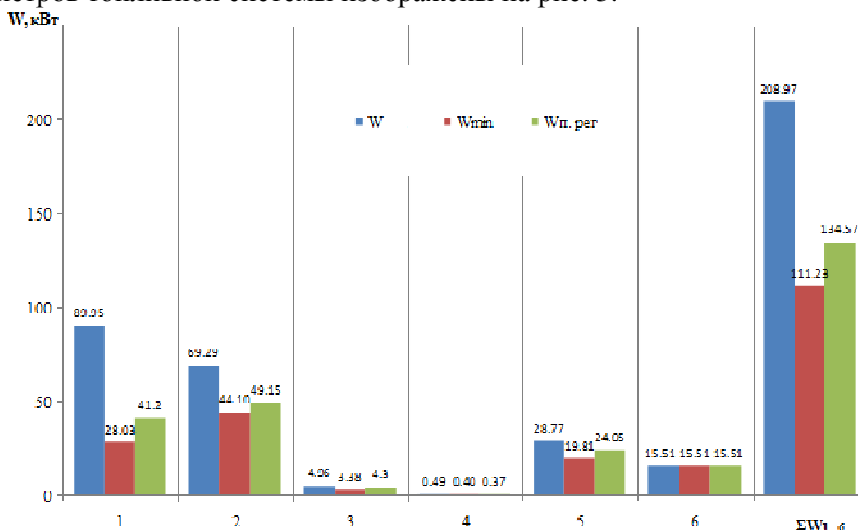


Рис. 3. Зависимость энергетических затрат на топливоподготовку тяжелого топлива RMG 380.

### Выводы.

Измерение величины энергетических затрат системы топливоподготовки судового малооборотного двигателя MAN B&W 7S70MC, работающего на тяжелом топливе RMG380 показывает, что величина расходов составляет 2,13 % от мощности ГД.

Для оценки энергетической эффективности работы системы топливоподготовки тяжелого топлива в качестве целевой функции была выбрана величина энергетических затрат на подготовку тяжелого топлива RMG 380 и выполнена минимизация целевой функции путем оптимизации основных параметров системы топливоподготовки (давлений и температур).

Использование методики минимизации энергетических затрат на топливоподготовку тяжелого топлива RMG 380, при дополнительной модификации топливной системы, позволит обеспечивать снижение абсолютной величины энергетических затрат в процессе топливоподготовки малооборотного двигателя MAN B&W 7S70MC на 46,64 %.

Настройка основных параметров топливной системы согласно выбранных пределов давлений и температур, позволила снизить энергозатраты на топливоподготовку тяжелого топлива RMG 380 на 35,6 %.

Экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы на контейнеровозе «E.R. Hamburg» при использовании тяжелого топлива RMG 380, составляет экономию 5,39 м.т. тяжелого топлива – 3773 \$ USD (при условной стоимости 1 м.т. топлива 700 \$ USD) за время 126,7 часов на переходах в море при эксплуатационной нагрузке ГД 46% или 113,71 м.т за время календарного года, исключая работу на маневренных режимах, рейдовых и портовых стоянок стоимостью 79597 \$ USD/год.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Камкин С.В. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок: Камкин С. В. Эксплуатация судовых дизелей [Текст] : Учебник для ВУЗов / С. В. Камкин, И. В. Возницкий, В. Ф. Большаков – М. : Транспорт, 1996. – 432 с.

Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения [Текст] / А. С. Ахматов. – М. : Физматгиз, 1963. – 472 с.

Лышевский А. В. Распыливание жидкостей [Текст] / А. В. Лышевский – М. : Машиностроение, 1977, – 208 с.

Добровольский В.В. Энергетические затраты на топливоподготовку судовых малооборотных двигателей / В.В. Добровольский, С.А. Ханмамедов // Вісник НУК. – 2010. - №5(434). – Николаев: НУК. – С. 97-104.

Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] // Под ред. М. О. Штейнберга.–3–е изд., перераб. и доп.–М.: Машиностроение, 1992.–672 с.

Кардаш В.П., Ханмамедов С.А. Повышение эффективности эксплуатации судовых устройств // Судовые энергетические установки: науч.–техн. сб.–2007.–Вып. 18–Одесса: ОНМА.–с.70–77.

Капустин А.П., Капустина О.А. Акустика жидких кристаллов // Москва идательство наука, 1986.–248 с.

Добровольский В.В. Энергетические затраты на топливоподготовку судовых ма-лооборотных двигателей / В.В. Добровольский, Л.В. Пизинцали // Проблеми техніки: на-ук.-техн. збірн. – 2010. – Вип. 3. – Одеса: ОНМУ. – С. 129 – 137.

Добровольский В.В. Энергосберегающая технология подготовки высоковязких топлив малооборотных двигателей внутреннего сгорания [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Добровольский Валерий Валериевич ; Одес. нац. мор. акад. - О., 2012. – 243с .



УДК 629.5.064: 681.518.54

Тымкив А.В., Денисов В.Г.  
ОНМА

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ.**

Техническая эксплуатация судовых энергетических установок неотделима от эксплуатации судов. Бурное развитие науки, техники и технологии, которое характерно для последних десяти лет, привело к появлению новых типов судов, новых принципов построения судовой энергетической установки. Техническая эксплуатация судовых энергетических установок неотделима от эксплуатации судов. Бурное развитие науки, техники и технологии, которое характерно для последних десяти лет, привело к появлению новых типов судов, новых принципов построения судовой энергетической установки. Отличия в типе энергетической установки, виде используемого энергоносителя (жидкого топлива, газообразного, твердого) ставит вопрос совершенствования методов и средств технического использования, обслуживания и ремонта.

Сегодня, в связи с ростом цен на энергоносители, возрастающей сложностью механизмов, систем и конструкций судна, повышением требований к надежности и экономической безопасности со стороны международных, классификационных обществ, значительно увеличиваются расходы судовладельцев на содержание судна и техническое обслуживание.

Повышается значение и актуальность задач предотвращения возможных отказов, прогнозирования остаточного ресурса, оптимизация сроков и объемов технического обслуживания и ремонта судовых технических средств, с учетом особенностей характеристик группы судов конкретной судоходной компании (тип судна, возраст, район плавания и т.д.). В свою очередь, это требует разработки новых методов, форм и средств технического обслуживания с учетом современных требований.

Анализ показывает, что важное место в решении этих проблем занимает задача совершенствования информационных процессов для обеспечения технической эксплуатации судна и энергетической установки. Технологические процессы сбора, анализа и обработки

информации, а тем более принятия решения остаются прерогативой опыта и интуиции судовых специалистов.

Современное развитие информационных технологий, использующих новые поколения микропроцессорной техники, системы спутниковой связи, измерительной техники создает предпосылки для реализации информационных процессов технической эксплуатации на качественно новом уровне.

Развитие методов технической эксплуатации СЭУ на базе информационных технологий требует высокого уровня формализации процедур сбора, обработки и анализа исходной информации и ее эволюции вплоть до получения нужного решения, т.е. качественно другого уровня организации информационной среды.

Можно утверждать, что решение этих проблем возможно путем комплексных исследований существующих методов и средств получения, обработки, анализа информации и разработки методов технической эксплуатации судовой энергетической установки на базе современных информационных технологий и внедрения нового информационно-технического обеспечения.

Вопросы исследования и разработки энергосберегающих, ресурсосберегающих и экологических технологий является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса. Реализация этого направления применительно к судовым энергетическим установкам (СЭУ) прямо связана с повышением эффективности их технической эксплуатации.

Повышение безопасности и эффективности работы механизмов СЭУ во многом связано с развитием и усовершенствованием информационных методов контроля и мониторинга параметров характеризующих безотказность основных узлов.

Широкое использование технической диагностики (ТД) вызвано как стремлением максимально использовать ресурс работы машин и механизмов, так и требованием снижения их энерго- и материалоемкости.

Предупредительный характер ТД заключается в постоянном наблюдении и контроле технического состояния трибосистемы (ТС) с целью обнаружения ее состояния, предшествующего выходу из строя. Различают тестовую диагностику, связанную с необходимостью осуществления специальных внешних воздействий, и функциональную, которая служит для оценки работоспособности ТС в процессе ее функционирования [3].

Трибодиагностика как совокупность средств и методов непрерывного контроля состояния фрикционных характеристик подвижных сопряжений играет все более важную роль в развитии теории и практики трения, изнашивания и смазки. Эта роль обусловлена общей тенденцией современной техники создания замкнутых систем с так называемым мониторингом, изменяющих свою работу в соответствии с заданной программой и изменением внешних условий. В такой системе реализуется функция измерения (оценки) структурных параметров трибосистемы, непрерывного контроля, прогнозирования ее технического состояния, автоматического управления [6].

С точки зрения практики одним из основных этапов трибодиагностики является создание диагностического комплекса, практически реализующего идею распознавания состояния ТС. Диагностический комплекс воспринимает характеристические сигналы от датчиков и с помощью определенных операций формирует ряд диагностических признаков, которым в соответствие ставятся определенные состояния ТС, или значения ее внутренних параметров, и дает заключение о возможности дальнейшей эксплуатации.

Для получения диагностической информации измеряют параметрические характеристики ТС: коэффициент трения, температуру в зоне контакта, скорость изнашивания, величины вибраций, акустических колебаний, переменных деформаций и усилий. Текущий контроль параметров, а также исследование продуктов изнашивания — наиболее эффективные методы диагностики ТС.

Одна из тенденций современной техники — стремление создать системы, не требующие замены смазочного материала, т.е. сопряжения с автокомпенсацией износа, самосмазывающиеся, с одноразовой подачей смазочного материала. Однако, несмотря на большую перспективность таких систем, они, по-видимому, не могут быть использованы во всех без исключения машинах и механизмах. Для контроля состояния смазочной среды с целью поддержания ее свойств в нужных пределах требуются средства диагностики различной сложности, которые могут быть ориентированы на определение содержания в смазочной среде частиц изнашивания, параметров химического состава среды.

Нейторно-активационный метод. Если облучить детали узлов трения, то по изменению радиоактивности частиц износа этих деталей, попадающих в систему смазки в результате изнашивания, можно осуществлять непрерывный контроль технического состояния

узлов трения с точностью до микрометра. Другое направление развития этого метода связано с анализом концентрации радионуклидов в смазочном масле.

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) этот метод основан на резонансном поглощении электромагнитных волн веществом, помещенным в сильное магнитное поле при наложении значительно более слабого переменного радиочастотного магнитного поля, которое возмущает прецессию ядер — носителей магнетизма. С помощью ЯМР определяется состав, строение, межмолекулярное взаимодействие веществ в твердых, жидких или газообразных состояниях.

Эмиссионная спектрофотометрия. Интенсивность изнашивания трущихся сопряжений, используя этот метод, можно оценить, измеряя в масле концентрацию элементов, попадающих туда в результате изнашивания деталей пар трения. Спектральный анализ позволяет дифференцированно оценивать суммарный износ нескольких групп.

Атомно-абсорбционная спектрометрия этот метод основан на испарении исследуемой пробы в анализаторе (в пламени, плазме) и измерении интенсивности света от источника дискретного излучения, проходящего через пар исследуемой пробы. По степени ослабления интенсивностей линий определяемого элемента судят о концентрации его в пробе. Анализ эффективности определения содержания продуктов изнашивания в масле показывает, что этот метод обеспечивает учет преимущественно мелких частиц (меньше 10 мкм), находящихся в пробе масла [8].

Атомно-флуоресцентная спектрофотометрия этот метод заключается в том, что пары исследуемой пробы облучают резонансным для искомого элемента излучением и регистрируют его флуоресценцию. Обычно для облучения пробы используют рентгеновское излучение. Этот метод не накладывает ограничений на размер частиц изнашивания, находящихся в пробе, поэтому можно быстро определить присутствие в смазочном материале крупных «частиц, характеризующих катастрофический режим изнашивания. Атомно-флуоресцентная спектрофотометрия пригодна лишь для тех металлов, которые обладают регистрируемым резонансным излучением. Метод рентгеновской флуоресценции близок по своим возможностям к методу атомноабсорбционной спектрометрии, за исключением определения таких металлов, как литий и магний. Однако, несмотря на свои достоинства, этот метод не нашел широкого применения в практике диагностирования.

ИК- и УФ-спектроскопия. С помощью методов качественного и количественного молекулярного спектрального анализа устанавливают молекулярный состав исследуемого образца и определяют содержание продуктов окисления масла, солей карбоновых кислот, сульфатов и неорганических нитритов. С этой целью проводят сравнение ИК- и УФ-спектров масла до и после эксплуатации, и по изменению интенсивности полос поглощения судят о его степени загрязненности. Для регистрации ИК-спектров могут быть использованы приборы типа ИКС и СФ-26.

Абсорбционная спектрофотометрия этот метод количественного молекулярного анализа основан на использовании закона Бугера-Ламберга-Бера (БЛБ), устанавливающего связь между интенсивностями падающего и прошедшего через вещество света в зависимости от толщины поглощающего слоя и концентрации вещества.

Однако, применительно к маслам, закон БЛБ необходимо рассматривать как полуэмпирический. Этот метод позволяет оценить эффективность работы масляных фильтров и качество рабочего процесса двигателя, а использование светофильтров с различной длиной волны пропускания — среднюю дисперсность частиц.

Спектральные методы имеют ряд существенных недостатков:

- с их помощью нельзя установить характер износа в парах трения;
- форму и размер частиц износа;
- соотношение наибольшего их размера с наименьшим;
- общее число частиц износа в пробе масла;
- спектрометры не реагируют на частицы больших размеров (более 10 мкм), т.е. на частицы износа образующиеся при аварийном или катастрофическом изнашивании;
- спектральные установки сложны, громоздки, дорогостоящи и требуют квалифицированного обслуживания.

В условиях эксплуатации судовых технических средств (СТС) имеет место значительная необратимость технического состояния деталей и узлов механизмов и возможных отклонений от нормальных состояний.

Существует большое количество методов обнаружения отклонений от нормального технического состояния, среди которых наиболее широкое распространение приобрели статистические, которые основаны на контроле фазовых координат объекта и, прежде всего,

методы, основанные на теории статистических решений и анализе временных рядов.

Статистические методы определения нарушений в работе СТС. Существует множество подходов к выявлению нарушений в работе сложных систем, в частности, диагностика системы на основе контроля переменных в реальном времени. Синтез алгоритмов определения нарушений в этих подходах начинается с выбора набора контролируемых переменных, которые довольно полно характеризуют объект управления. Естественно, что проще всего контролировать входные и выходные переменные объекта, или сигналы обновлений (погрешностей) между выходами объекта и модели, которая настраивается в контуре идентификации адаптивной системы управления.

Идентификационный подход к раннему выявлению нарушений в работе сложных систем состоит в следующем. Рассматривается задача последовательного выявления нарушений в процессе адаптивной идентификации модели объекта управления. Исходной информацией для решения задачи идентификации и определения нарушений являются временные ряды  $y(t)$ ,  $u(t)$ , поступающие в реальном масштабе времени на адаптивный идентификатор. На практике широкое распространение приобрели алгоритмы, связанные с критерием минимума суммы квадратов погрешностей идентификации и его модификации, которые определяются принятой системой весов. Наиболее распространенным является метод наименьших квадратов, в котором все погрешности имеют одинаковый вес.

Методы определения нарушений в работе СТС на основании прогноза. Прогнозирование технического состояния (ТС), наряду с задачами контроля ТС и поиска места и причин отказа, также являются задачами технического диагностирования. С целью обеспечения высокой надежности современной техники в производстве и поддержания ее в процессе эксплуатации широко используют разнообразные методы и автоматизированные средства неразрушающего контроля и технического диагностирования. Однако, трудоемкость операций контроля для различных видов техники составляет от 15 до 50% трудоемкости основных операций ее изготовления. Затраты за весь период эксплуатации на ремонт и техническое обслуживание техники в связи с ее износом превышают стоимость новых машин в 5—8 раз.

С момента начала создания и применения объекта появляется возможность проведения экспериментальных исследований. Таким образом, появляется возможность экспериментальной проверки правильности ранее использованных моделей и принятых решений [7].

Методы эвристического прогнозирования. Эвристическое прогнозирование заключается в интуитивном выборе важнейших и решающих обстоятельств. Большая часть этой интуиции состоит в полусознательном сравнении всех величин и вариантов, с помощью которых быстро устраняется все маловажное и несущественное. Несомненным достоинством эвристических методов является возможность избежать грубых ошибок, особенно в области скачкообразных изменений прогнозируемой величины. Преимущества индивидуальных методов заключаются в максимальном использовании индивидуальных способностей эксперта и незначительности психологического давления на отдельного эксперта [5].

Исследования, проведенные с индуктивными датчиками износа и апробация данного метода [1, 2] в системе диагностирования Д-3 показали преимущества данного способа по сравнению с традиционными методами контроля: сокращение ряда трудоемких операций, таких как отбор, транспортировка, хранение, приготовление проб масла; возможность получения непрерывной информации о процессе изнашивания.

Данный метод позволяет значительно сократить стоимость и трудоемкость процесса диагностирования, а так же автоматизировать процесс обработки и анализа диагностической информации.

Использование датчика для диагностики механизмов различной мощности требует разработки методики расчета основных его параметров и конструктивных элементов.

К параметрам работы датчика можно отнести диапазон измерений, чувствительность, точность, период работы до насыщения и т.д. В свою очередь, параметры датчика связаны с габаритными размерами конструктивных элементов датчика. Поэтому необходимо установить общие закономерности процесса поступления продуктов изнашивания на датчик.

В результате работы механизма происходит изменение физико-химических свойств масла и его старение. Это связано с тем, что масло, работая при высокой температуре, соприкасается с воздухом внешней среды, парами воды, пылью, продуктами сгорания топлива,

металлическими поверхностями деталей механизма. Кроме того, в масло постоянно поступают продукты изнашивания узлов трения.

Таблица 1. Классификация методов обнаружения нарушений в работе СТС

Класс	Подкласс	Виды	Особенности	
Без прогноза	Математические (по $y(t)$ )	Расстояние от аналогов	Необходимость полного списка диагнозов и их признаков	
	Отнесение образов (по $y(t)$ )	Отнесение к одному из классов-образов		
	Статистические (по $y(t)$ )	Применение теории статистических решений		
		Анализ временных рядов		
	Идентификационные (по $y(t)$ и $u(t)$ )	С бесконечной памятью		Контроль обновляющих последовательностей
				Контроль нормализующих последовательностей
				Использование F-статистики
				По алгоритму Калмана—Мейна
				По критическим значениям
				По возникновению «прыжка» параметров
				С конечной памятью
Многомодельный подход				

Продукты загрязнения масла разделяются на органические и неорганические. Органические примеси состоят, в основном, из продуктов неполного сгорания топлива, поступающих в масло из камеры сгорания, а также продуктов термического разложения, окисления и полимеризации масла. Также в масло поступает вода, соеди-



нения серы и свинца. Неорганические примеси состоят из ПИ, а также неорганических загрязнений. Исследование состава загрязнений методами седиментационного анализа [4] показало, что размер 80% частиц загрязнений находится в пределах 0,5—2 мкм, но отдельные частицы загрязнений достигают размера 100 мкм и более.

Загрязнение масла в работающем механизме идет непрерывно. На скорость поступления загрязнений в масло оказывают влияние множество факторов:

- качество масла;
- вид топлива;
- тип двигателя;
- система смазки;
- техническое состояние механизма;
- режим и условия работы.

Накопление примесей в масле происходит постепенно и со временем может приостановиться.

Контроль содержания различных видов загрязнений в масле позволяет судить о техническом состоянии отдельных агрегатов двигателей и обслуживающих систем.

Наиболее полную информацию о техническом состоянии узлов трения механизмов несут "прямые" свидетели разрушения трущихся поверхностей — продукты изнашивания, поступающие в масло.

В целях диагностирования износа в различных областях народного хозяйства нашли использование спектральные, феррографические, эмиссионные и другие методы анализа смазочного масла на содержание ПИ. Применяются различные параметры диагностирования для оценки технического состояния механизмов по результатам анализа масла. Наибольшее распространение в качестве параметра диагностирования технического состояния получила концентрация ПИ. При этом по результатам исследований обосновываются предельно допустимые значения концентраций, при повышении которых механизмы выводятся из эксплуатации для проведения работ по ТО. Этот параметр привлекает внимание тем, что он непосредственно замеряется в процессе контроля и не требует дальнейшей обработки данных. Так же в качестве параметра диагностирования используется скорость возрастания концентрации ПИ в масле. Развитие исследований в этой области вызвано тем, что концентрация ПИ в масле не всегда объективно отражает состояние механизма. Известны случаи наносных отказов механизмов при

концентрации ПИ, не превышающей предельно допустимые значения.

Наличие большого количества методов диагностирования и отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по их выбору в зависимости от задач исследований вызывают необходимость проведения анализа, позволяющего обосновать применение того или иного метода.

Для выбора параметра диагностирования технического состояния механизмов необходимо сформулировать требования, которым он должен удовлетворять.

Параметр должен зависеть только от технического состояния механизма.

Величина параметра должна зависеть от технического состояния механизма однозначно, т.е. любому техническому состоянию должно соответствовать только одно значение параметра.

Кроме того, метод диагностирования должен быть достаточно чувствительным для возможности определения износного отказа на ранних стадиях его возникновения.

Можно сделать вывод о том, что применение методики определения величины износа узлов трения по изменению количества осевших ПИ на датчиках, установленных в системы смазки с учетом времени работы механизма дает возможность получения непрерывной информации о состоянии механизма и прогнозирования времени его работы до проведения ремонтных работ.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Балицкий Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, М. А. Иванова, М.А. Соколова, Е.И. Хомяков. / Отв. ред. М.Д. Генкин. — М.: Наука, 1984. — 119 с.
2. Балицкий Ф.Я. Современные методы и средства виброакустического диагностирования машин и конструкций / Ф.Я. Балицкий, М.Д. Генкин, М.А. Иванова и др. / Под ред. КВ- Фролова. — М., 1990. — 252 с.
3. Биргер И.А. Определение диагностической ценности признаков // Кибернетика. — 1968. — № 3. — С. 80-85.
4. Денисов В.Г., Матвеевский Б.Р. Контроль состояния узлов судовых двигателей в процессе эксплуатации // Вестник машиностроения. — 1989.

5. Логов А.Б. Теоретические основы функциональной вибродиагностики горных машин: Автореф. дис... докт. техн. наук. — Кемерово, 1991. — 41 с.
6. Лосев Б. М. Точность, достоверность и помехозащищенность спектральных методов виброакустического диагностирования Вибрация и вибродиагностика. Проблемы стандартизации: Тез. докл. 2 Всесоюз. науч.-техн. конф. — Горький, сент., 1988. — С. 170.
7. Макаров Р.А. Средства технической диагностики машин. — М.: Машиностроение, 1989. — 233 с.
8. Марченко Б.Г., Мыслович М.В. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин. — Киев: Наук, думка, 1992. — 195 с.

УДК 344.63

Приходько Е.А.  
ОНМА

## АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

Как известно, конкурентоспособность предприятия выражается в его возможности успешно функционировать и развиваться на определённом рынке. В связи с этим для эффективного управления предприятием и постоянного поддержания его конкурентоспособности на достаточном уровне необходимо осуществлять непрерывный мониторинг и учёт многообразных внешних и внутренних факторов, влияющих на положение предприятия в конкурентной рыночной среде. При этом специфика внешних и внутренних рискообразующих факторов заключается в том, что последними предприятие может активно манипулировать в определённых границах, в то время как, внешние рискообразующие факторы оно вынуждено принимать такими, как есть. В соответствии с этим в риск-менеджменте существуют различные подходы к управлению внешними и внутренними источниками риска.

Возможность непосредственного активного воздействия предприятия на внутренние рискообразующие факторы даёт ему неоспоримый шанс позитивно влиять на эффективность своей деятельности, а, следовательно, и укреплять свои конкурентные позиции. Таким образом, немаловажным условием выживания предприятия в острой конкурентной борьбе является умение и способность его менеджмента построить грамотную и эффективную политику в области управления рисками.

Проблема управления рисками предприятия в той или иной степени получила отражение в достаточно большом количестве научных трудов. Среди теоретиков, внесших реальный вклад в развитие теории риска, можно выделить таких ученых, как А. П. Альгин, Дж. М. Кейнс, А. Маршалл, О. Моргенштейн, Ф. Найт, Дж. Нейман, Б. А. Райзберг и др.

**Оценка рисков** - это простое, но тщательное исследование того, что может нанести вред людям в рабочей среде, проводимое таким образом, чтобы работодатель мог взвесить, достаточно ли мер предосторожности уже предпринято, и что именно должно быть сделано с тем, чтобы предотвратить возможные вредные последствия. Ра-

ботники и другие лица имеют право на защиту от вреда, нанесенного в результате несчастного случая, право на принятие разумных мер контроля.

### **Организация системы риск-менеджмента:**

Теоретические аспекты риск-менеджмента

Сущность риск-менеджмента

Виды рисков

Способы оценки рисков

Управление рисками

Совершенствование системы способов минимизации рисков

Анализ системы риск-менеджмента

Оценка риска на основе показателей уровней риска

Анализ риска и методы его минимизации

Управление — это процесс, в котором можно в общем случае выделить несколько функций (стадий):

1. Анализ и оценка состояния объекта;
2. Прогнозирование и планирование мероприятий для достижения целей и задач управления;
3. Организация, т.е. непосредственное формирование управляемой и управляющей систем;
4. Контроль - это система наблюдения и проверки за ходом организации управления;
5. Определение эффективности мероприятий;
6. Стимулирование - это формы воздействия, побуждающие участников управления творчески решать проблемы управления.

Требования системности заключаются в учете необходимого и достаточного числа компонентов, которыми определяется безопасность.

Важнейшие принципы системного анализа сводятся к следующему:

- процесс принятия решений должен начинаться с выявления и четкого формулирования конечных целей;
- всю проблему необходимо рассматривать как единое целое; необходим анализ альтернативных путей достижения целей;
- подцели не должны вступать в конфликт с общей целью.

При этом цель должна удовлетворять требованиям реальности, предметности, количественной определенности, адекватности, эффективности, контролируемости.

Формирование целей — наиболее сложная задача в управлении

безопасностью. Цель следует рассматривать как иерархическое понятие. Программа всегда направлена на достижение конкретной конечной цели. Это главная цель. Она подразделяется на подцели, которые ранжируются по степени важности.

Перманентный риск и объективная возможность воздействия на уровень» безопасности выдвигают на первый план вопросы методики и техники управления безопасностью.

Управлять БЖД — это значит осознанно переводить объект из одного состояния (опасное) в другое (менее опасное). При этом объективно соблюдаются условия экономической и технической целесообразности.

Анализ решений должен включать оптимизацию эффективности и обеспеченности мер по повышению безопасности и оптимизацию технических решений по критерию безопасности — требуемые по Закону.

Большое значение имеет моделирование аварийных ситуаций с целью изучения причин их возникновения, характера развития во времени и других обстоятельств, способных повлиять на безопасность людей и безаварийность.

В настоящее время причинно-следственный анализ возникновения аварийных ситуаций и угрозы для жизни людей в наиболее наглядной форме выполняется с помощью логического риск-менеджмента.

*Целью идентификации опасностей и проведения оценки рисков является установление событий, которые могут произойти по отношению к безопасности работников в результате воздействия рисков, а также принятие соответствующих действий по снижению вероятности возникновения опасностей и воздействий неблагоприятных факторов на работающего.*

На прогнозе и оценке значимости рисков базируется планирование мероприятий по охране труда, формирование политики предприятия в области охраны труда, разработка программы по охране труда.

Процесс идентификации опасностей и оценки рисков включает следующие основные этапы:

- планирование и организация работ;
- идентификация опасностей;
- оценка риска;
- разработка мероприятий по уменьшению риска.

В соответствии с требованиями OHSAS 18001:2007 предприятие

должно:

1. Установить и поддерживать в рабочем состоянии процедуры для идентификации существующих опасностей, оценки рисков и внедрения необходимых мер управления.

Процедуры должны охватывать:

- все виды деятельности в нормальных и аварийных рабочих условиях (плановые и внеплановые);

- деятельность всего персонала, имеющего доступ к рабочему месту (включая подрядчиков и посетителей);

- поведение людей, их возможности и другие человеческие факторы (учитываются при прохождении предварительного медицинского осмотра, собеседовании с руководителем подразделения);

- опасности, источник которых не связан с рабочим местом, но которые способны отрицательно воздействовать на здоровье и безопасность лиц, находящихся на данном рабочем месте;

- опасности, возникающие вблизи рабочего места и являющиеся результатом трудовой деятельности;

- инфраструктуру, оборудование и материалы на рабочем месте, предоставленные как самой организацией, так и другими;

- конструктивное исполнение установок, машин, оборудования, организацию рабочих участков, технологических процессов, включая их приспособление к возможностям работников.

2. Методология по идентификации опасности и оценке риска должна:

- быть определена в отношении области применения, характера и выбора определенного времени таким образом, чтобы предупреждающим мероприятиям по снижению уровня риска был отдан приоритет над реагирующими (после произошедшего события);

- обеспечить классификацию рисков и идентификацию тех из них, которые должны быть устранены или управляемы;

- быть согласована с существующими на предприятии мерами управления рисками и сопоставлена с возможностями предприятия в области менеджмента риска;

- обеспечивать персонал необходимой информацией по определению требований к оборудованию;

- определять потребность в подготовке персонала в области профессиональной безопасности;

- определять потребность в разработке мероприятий оперативного контроля и мониторинга за рисками в области профессиональной безопасности

и охраны труда.

Оценка рисков является важным шагом, направленным на защиту работников и бизнеса работодателей, а также на соответствие требованиям законодательства. Она помогает работодателю и работникам сосредоточить свое внимание на тех рисках, которые действительно могут возникнуть на рабочем месте - на тех, которые потенциально могут причинить реальный вред.

В последнее десятилетие увеличилось количество аварий и катастроф морских судов, сопровождавшихся многочисленными человеческими жертвами. Как показывает анализ, непосредственными причинами большинства аварий и инцидентов на море являются ошибки людей, управляющих флотом с берега (управленческий персонал судоходных компаний) и находящихся на борту судов, то есть так называемый человеческий фактор. Менеджмент риска — методика, предназначена для обеспечения всесторонней информацией по управлению рисками и принятия адекватных мер, с высокой степенью результативности.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. OHSAS Project Group (2008). OHSAS 18002:2008. Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья. Руководство по внедрению требований OHSAS 18001:2007. London.
2. ISO 31000:2009. Менеджмент риска. Принципы и руководящие указания.
3. Управление рисками организаций. Интегрированная модель. Краткое изложение. Концептуальные основы. COSO, 2004.



УДК:656.085:656.086:629.5.06: 621.431.74:621.431.74.052

Калугин В. Н.  
ОНМА

## **АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

Цели и задачи анализа информации о надежности судовых технических средств.

Повышение качества судовых технических средств (СТС), а также совершенствование методов технической эксплуатации в значительной степени связаны с анализом информации о результатах их эксплуатации. Эта информация является важным каналом обратной связи, которая влияет на СТС на всех стадиях их жизненного цикла при реализации процессов проектирования, изготовления и эксплуатации. Кроме того, она позволяет вносить соответствующие корректировки с целью обеспечения требуемых показателей надежности СТС. Сбор, обработка и анализ информации о надежности СТС способствует решению следующих задач:

- определение причин возникновения отказов и повреждений;
- выявление и устранение конструктивных недостатков, проявившихся в процессе эксплуатации;
- определение фактического уровня надежности СТС при различных условиях эксплуатации;
- определение номенклатуры наиболее надежных образцов СТС и технических решений, отвечающих требованиям классификационных обществ, судовладельцев, а также нормативным требованиям (международных конвенций и соглашений, национальным, региональным и др.);
- определение ресурсных характеристик и срока службы СТС;
- определение объемов и периодичности технического обслуживания и ремонта (ТО и Р);
- определение номенклатуры и количества сменно-запасных деталей и расходных материалов;
- разработка технических требований к заводам-изготовителям относительно характеристик надежности СТС в эксплуатации.

Информация о количественных характеристиках надежности должна отвечать определенным требованиям, основными из которых являются: полнота, достоверность и своевременность. На основании полученной информации формируется информационная база данных

о количественных качественных характеристиках надежности СТС, трудоемкости ТО и Р, движении сменно-запасных деталей.

Качественный анализ показателей надёжности позволяет: устанавливать степень влияния отказов и повреждений СТС на работоспособность отдельных агрегатов, систем и судна в целом; выявлять наименее надежные компоненты судовой техники; определять комплекс мер, решение которых позволит обеспечить должный уровень работоспособности СТС.

Количественный анализ информации о надежности даёт возможность определить фактический уровень надежности судовой техники, путем использования определенных аналитических зависимостей. При оценке количественных характеристик, основными величинами, которые используются в расчетах, являются: количество отказов за выбранный временной интервал, наработка до отказа, относительные характеристики отказов и др.

Анализ показателей надежности СТС, выполненные «Lloyd's Register» и «Swedish Club». Классификационным обществом «Lloyd's Register» - LR, была создана системная информационная база данных о надежности СТС, которая формировалась на основе технических отчетов сюрвейеров [1]. Используя информационную базу данных системы, была проведена выборка наиболее вероятных неисправностей, которые вызвали отказы различных типов судовых двигателей, которые находились в эксплуатации, и причины их характерных отказов, более чем за 10-и летний период. Выборка данных была проведена для всех судов находящихся под наблюдением LR и классифицировалась по трем группам: главные двухтактные ДВС, главные четырёхтактные ДВС и вспомогательные четырёхтактные ДВС.

Шведским страховым обществом «Swedish Club» - SC приведены результаты анализа страховых исков о возмещении убытков вызванных авариями и аварийными событиями с судами за шестилетний период, связанные с отказами СТС и главных судовых двигателей[2].

В настоящее время SC является одним из ведущих мировых страховых обществ в морском судоходстве. Схема страхования состоит из трех элементов. Для целей анализа надёжности интерес представляет возмещении убытков по виду страхования H&M («Hulls and Machinery insurance») - страхование корпуса, механизмов

и оборудования судов, основные результаты которого приведены ниже.

Таблица 1. Количество аварий и аварийных событий, связанных с корпусом, механизмами и оборудованием судов - Н&М

Категории аварий и аварийных происшествий с судами – Н&М	Общее количество	Относительное количество, %
Машины и механизмы	558	45
Контакт корпуса судна	172	14
Посадка на мель	133	11
Столкновения	130	11
Плохие погодные условия	53	4
Пожары и взрывы	24	2
Другие причины	168	13
Всего	1238	100

В СС было зарегистрировано 1238 аварий и аварийных происшествий с судами по семи категориям исковых требований по Н&М. Необходимо отметить, что категория «Машины и механизмы» является ведущей причиной аварий и аварийных происшествий с судами и составили 45% от общего количества зарегистрированных аварий и аварийных происшествий с судами. Исковые требования, связанные с отказами машин и механизмов были систематизированы шести категориям, приведенным в таблице 2.

Таблица 2. Отказы машин и механизмов - Н&М

Аварии и аварийные происшествия с судами вызванные отказами машин и механизмов - Н&М	Количество отказов	Относительное количество отказов, %
Главные двигатели	232	42
Вспомогательные двигатели	120	21
Рулевые машины и механизмы	66	12
Котлы	65	12
Движители	63	11
Другие причины	12	2
Всего	558	100

Отказы главных двигателей являются основной причиной отказов по категории «Машины и механизмы» и составляет 42% от общего количества отказов по этой категории.

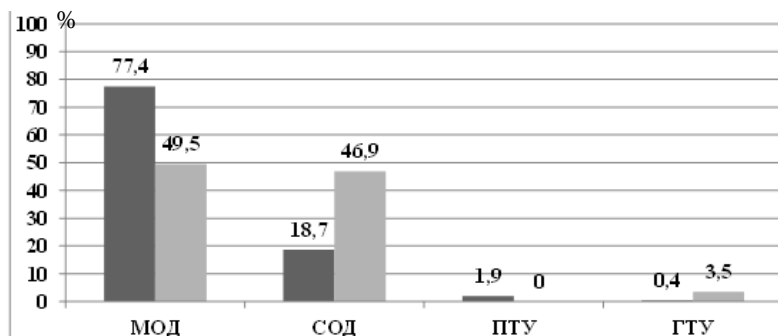


Рис.1. Относительное количество судов, зарегистрированных в SC в зависимости от типа главной судовой энергетической установки и количество аварий или аварийных происшествий с судами, которые связаны с их отказами

Среднеоборотные двигатели (СОД) характеризуются чрезмерно большим количеством отказов, приводящих к авариям и аварийных происшествий с судами, что иллюстрируется рисунком 1. На рисунке 1 показано, что, в то время как 18,7% зарегистрированных судов в SC были оборудованы СОД, на них пришлось 46,9% случаев аварий и аварийных происшествий с судами, что вызвано отказами СОД. Следует отметить, что за рассматриваемый период времени не было зафиксировано ни одной аварии или аварийного происшествия с судами, связанные с отказами паротурбинной установки (ПТУ).

Таблица 3. Причины отказов главных судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) всех типов, по данным SC

Отказы узлов и деталей СДВС	Количество отказов	Относительное количество отказов, %
Газотурбокомпрессоры	84	36,2
Коленчатые валы, шатуны	23	9,9
Втулки цилиндров	17	7,3
Остов и блоки цилиндров, анкерные связи	17	7,3
Шейки валов, подшипники	15	6,5
Топливные насосы, передачи	12	5,2
Распределительные валы, кулачки и кулачковые муфты	10	4,3
Поршни, штоки поршней	9	3,9
Отказы других конструктивных узлов	45	19,4
Всего	232	100

Таблица 4. Причины отказов главных СОД по данным SC

Отказы узлов и деталей СДВС	Количество отказов	Относительное количество отказов, %
Газотурбокомпрессоры	21	25,6
Коленчатые валы, шатуны	21	25,6
Распределительные валы, кулачки и кулачковые муфты	8	9,8
Шейки валов, подшипники	6	7,3
Топливные насосы, передачи	5	6,1
Отказы других конструктивных узлов	21	25,6
Всего	82	100

Таблица 5. Причины отказов двухтактных малооборотных дизелей (МОД), по данным LR

Отказы узлов и деталей СДВС	Относительное количество отказов, %
Газотурбокомпрессоры	18,0
Поршни	10,0
Втулки цилиндров	9,0
Коленчатые валы	8,0
Шатуны	7,0
Штоки поршня	4,0
Отказы других конструктивных узлов	44,0
Всего	100

Таблица 6. Причины отказов двухтактных МОД, по данным SC

Отказы узлов и деталей СДВС	Относительное количество отказов, %
Газотурбокомпрессоры	42,6
Поршни	4,7
Втулки цилиндров	10,1
Анкерные связи	11,5
Подшипники – рамовые, механизма движения	6,1
Штоки поршня	4,7
Отказы других конструктивных узлов	20,3
Всего	100

Результаты расследований причин отказов двухтактных МОД выполненные LR и SC показывают, что основной причиной отказов главных двухтактных МОД являются неисправности газотурбоком-

прессоров (ГТК), которые составляют, соответственно 18,0% и 42,6%, причём, большинство причин отказов совпадает. По данным LR, ГТК возглавляют перечень из 43 возможных категорий неисправностей и являются одной из основных причин отказов главных МОД. Количество неисправностей ГТК, приведших к отказам СДВС, по отношению к общему числу отказов по двигателю, составило: 3% для высокооборотных дизелей (ВОД), 9% для СОД и 18% для МОД. По данным аналогичных исследований SC: 25,6% для СОД, 42,6% для МОД.

Вероятность возникновения отказов ГТК, установленных на МОД, по отношению к общему числу отказов по двигателю в 2 раза выше чем у СОД и в 6 раз выше, чем у ВОД. Причиной этому являются более тяжёлые условия работы ГТК двухтактных дизелей, в процессе эксплуатации, зависящие от ряда определяющих факторов. Основными являются высоко и низкочастотная вибрация. Высоко-частотная вибрация вызывается разбалансировкой ротора вследствие отложений на рабочих лопатках и диске турбины, а низкочастотная неустойчивыми режимами работы компрессора - помпажом. Чаще всего отказы ГТК были вызваны повреждениями ротора (~15,0%), сопловых лопаток турбины (~9,5%), рабочих лопаток турбины (~9,0%) и подшипников скольжения со стороны турбины (~9,5%) и компрессора (~9,0%).

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Banisoleiman K., Rattenbury N. Reliability trends, operating issues and acceptance criteria related to exhaust gas turbochargers used in the marine industry// A classification society view by Lloyd's Register, marine services.- London, 2008.- September. 21-39 p.p.

2. Main engine damage update (1998-2004)// The Swedish Club's highlights.- Goteborg, Sweden, 2005.- September. - 8p.

УДК:502.3:504.7: 621.181.1

Калугин В. Н.  
ОНМА

## **АДАПТАЦИЯ СУДОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТОПЛИВ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ**

В современных условиях эксплуатации судовых энергетических установок (СЭУ), должна обеспечиваться надежность действия всех их компонентов и безусловно выполняться требования по предотвращению загрязнения окружающей среды [5]. При этом судовладельцы, фрахтователи и менеджеры судоходных компаний должны учитывать особые требования к применяемым сортам топлива, если работа судов происходит в районах контроля выбросов вредных веществ в атмосферу с судов (Emission Control Area - ECA) и соответствующие национальные и региональные требования [1, 3, 4, 8]. Так, содержание серы во всех сортах топлива, которое используется судами в портах стран, входящих в состав Евросоюза, портах Турции, некоторых портах США и их территориальных водах не должно превышать  $0,1 \div 0,5\%$  по массе [8]. В соответствии с требованиями Приложения VI международной Конвенции МАРПОЛ [1] с 2015 года в районах ECA должны будут использоваться только топлива с содержанием серы менее  $0,1\%$ , то есть дистиллатные сорта. Такими топливами являются морской газойль - Marine Gas Oil (MGO), - морские сорта топлива, с низким содержанием серы, относящиеся к сортам DMX, DMA и DMZ или морское дизельное топливо - Marine Diesel Oil (MDO), соответствующее сорту топлива DMB [2, 3, 4, 6]. Маркировка и характеристики топлив DMX, DMA, DMZ и DMB соответствуют Стандарту ISO 8217 2010г. [7].

Конструктивно, котельные установки судов находящихся в эксплуатации, в основном предназначены для использования HFO, реже MDO и газообразного топлива.

Основными отличиями MGO и HFO являются:

- а) теплотворная способность топлива – оказывает влияние на:
  - качество протекания процессов сгорания и теплообмена,
  - свойства инертных газов,
  - выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- б) вязкость – вызывает:
  - нарушение качества распыливания топлива и его сгорания,

- повышенные износы топливных насосов,
- нарушения плотности топливных систем;
- в) плотность – приводит к:
  - потерям энергии, в связи с неправильной предварительной настройкой количества топлива, подаваемого к форсунке,
  - проблемам воспламенения и сгорания топлива,
  - увеличению дымности отработанных газов;
- г) смазывающие свойства – вызывают повышенные износы и заклинивания прецизионных деталей топливной аппаратуры.

В целях обеспечения безопасной работы и работоспособного технического состояния котлов и вспомогательного оборудования, необходимо вносить конструктивные изменения, направленные на решение возникающих проблем и разработку эффективных процедур перевода с HFO на MGO и наоборот [2, 6].

В связи с значительными различиями в характеристиках HFO и MGO, должны быть рассмотрены проблемы связанные с обеспечением надёжной и эффективной работы котельных установок при длительном использовании MGO:

- вместимость топливных цистерн запаса и отдельное хранение разных сортов топлива;
- топливные насосы;
- трубопроводы топливной системы;
- устройства контроля пламени;
- форсунки;
- регулирование процесса сгорания.

Необходимо, чтобы хранение HFO и MGO было отдельным, так как их совместное хранение оказывает деструктивное действие на высокомолекулярные соединения входящие в состав смесей углеводородов HFO и играют роль растворителей защитных сольвантных оболочек асфальтосмолистых веществ. В результате, при смешивании HFO и MGO, происходит интенсивное образование шлама и вытеснение парафинов, что ухудшает смазывающие свойства таких смесей и способствует образованию задиров прецизионных пар компонентов топливной системы; вызывает блокировку фильтров, закупоривание трубопроводов, элементов управления, датчиков и измерительных приборов.

Для того чтобы MGO непреднамеренно не нагревалось, нельзя использовать одну из имеющейся в наличии отстойной цистерны HFO для целей содержания в ней MGO, если она является смежной с



соседней отстойной или расходной цистерной, в которых находится непрерывно подогреваемое HFO. Необходимо установить дополнительные отстойные и расходные цистерны, предназначенные только для использования MGO.

При переключениях между различными топливами, должна быть гарантия того, чтобы топливо по трубопроводам рециркуляции возвращалось в соответствующую топливную цистерну и не допускалось смешивание MGO с топливом, имеющим более высокое содержание серы.

Вязкость дистиллатных сортов топлива, относящихся к сортам MGO, находится в пределах от 1,5 до 6,0 сСт при 40°C. Большинство используемых насосов топливных систем, являются винтового или шестеренчатого типа, могут эффективно работать при минимальном значении вязкости топлива 4,0сСт. Некоторые из них могут работать и при более низких значениях вязкости, - 3,0сСт или даже немного ниже. Необходимо произвести оценку всех топливных насосов установленных на борту судна, для целей возможности их надёжной работы при более низких значениях вязкости, связанной с применением MGO и, в конечном итоге, рассмотреть целесообразность их модификации или замены. Следует учитывать фактическую рабочую температуру MGO, так как она влияет на значение вязкости. В спецификации стандарта ISO 8217 указаны значения вязкости MGO при стандартной температуре, а фактическая рабочая температура может быть выше, в результате чего значения вязкости могут быть меньше. Если котельная установка находится в состоянии постоянной готовности к действию, то непрерывная работа топливных насосов приводит к их нагреву, в результате чего также повышается температура топлива, что снижает его вязкость. Кроме того, повышение температуры дистиллатного топлива может вызвать его газификацию и образование паровых пробок. Поэтому насосы всегда должны выводиться из действия, когда котёл не работает или находится в состоянии постоянной готовности к действию.

С целью регулирования вязкости следует рассмотреть возможность охлаждения MGO.

Системы трубопроводов должны осуществлять эффективное удаление (промывку) HFO или MGO из системы, включая арматуру и оборудование трубопроводов. Для предотвращения смешивания различных категорий топлива, нельзя использовать те же самые топливные трубопроводы для HFO и MGO. Если топливные трубопро-

воды используются для обеих категорий топлива, то процедура переключения работы с HFO на MGO должна предусмотреть обязательное отключение спутниковых подогревателей топливных трубопроводов.

Детекторы пламени должны соответствовать используемому топливу – как HFO, так и MGO, так как они имеют различия в частоте пульсации факела в топке.

Форсунки и в особенности их распылители, должны соответствовать каждому виду топлива, которое будет использоваться.

а) Струйными механическими форсунками обычно оборудуются котлы с небольшой производительностью пара, в которых может использоваться как MDO, так и HFO. Нормальная работа топливных насосов обеспечивается, как правило, при значениях вязкости топлива не ниже 4,5сСт. Если котёл переводится на MGO, которое обычно имеет более низкое значение вязкости, то может потребоваться модификация топливных насосов. Низкая вязкость приводит к увеличению пропускной способности топливных каналов, и как следствие, росту расхода топлива, и увеличению дымности отработавших газов.

б) Ротационные форсунки с вращающимися стаканами применяются во многих типах котлов и могут работать как на MDO, так и на HFO. Однако, при использовании MGO, которым характерны значения вязкости ниже 4,5сСт, возможно, придется отрегулировать или модифицировать топливные насосы. Для форсунок с небольшой пропускной способностью, для получения бездымного сгорания необходимо отрегулировать количество подаваемого топлива, что достигается изменением значения давления топлива, подаваемого насосом.

Если котельные установки не оснащены надлежащим теплозащитным экраном, то для форсунок с большой пропускной способностью существует опасность образования отложений нагара на вращающихся стаканах. Это связано с тем, что излучаемое тепло создаёт очень высокую температуру во вращающемся стакане, в результате чего происходит коксование топлива. Поэтому вращающиеся стаканы необходимо отрегулировать или заменить на модифицированные. Систему управления основной форсункой следует настроить таким образом, чтобы не происходило самовоспламенения MGO.

в) Паромеханические форсунки, как правило, используются в котлах с большой или средней производительностью пара, в кото-

рых используется как MDO, так и HFO. Вязкость топлива, которое традиционно используется в паромеханических форсунках, обычно находится в пределах 15 - 30сСт, поэтому перевод работы котельной установки на MGO, с вязкостью ниже 4,0сСт, требует регулировки или модификации топливных насосов.

Некоторые конструкции распылителей форсунок используют подачу водяного пара и топлива по соосным каналам, при этом пар нагревает топливо и может вызвать испарение MGO непосредственно в топливном канале, до выхода из него. Для обеспечения работы котла на MGO, необходимо для распыливания топлива вместо водяного пара использовать сжатый воздух среднего давления, либо изменить конструкцию форсунки, применив подачу пара и топлива к распылителям по параллельным каналам, снизив тем самым подогрев топлива в каналах подачи топлива к распылителю. Если будет принято решение использовать для распыливания топлива сжатый воздух, то для обеспечения дополнительных расходов воздуха, может потребоваться установка дополнительных воздушных компрессоров.

Процесс предварительной продувки топочного пространства котла является одним из важнейших процессов обеспечивающих безопасность и должен выполняться в соответствии с рекомендациями изготовителя для конкретного вида используемого топлива. Важно, чтобы всё топочное пространство котла было полностью продуто воздухом до розжига факела. В тех случаях, когда используется MGO, то процесс предварительной продувки топочного пространства котла должен быть принят как часть обязательной процедуры. Если происходит срыв пламени факела, то это может привести к образованию в топке и газоходах котла воспламеняющейся среды из паров топлива и воздуха, во взрывоопасных пропорциях. Поэтому, в целях предотвращения взрыва, должна применяться обязательная продувка топочного пространства.

Электроискровые воспламенители или эквивалентные им устройства должны размещаться таким образом, чтобы быть в постоянной готовности к действию. Детекторы пламени факела должны устанавливаться таким образом, чтобы они могли быть легко демонтированы и заменены на детекторы определенной формы факела, которые соответствуют используемым категориям топлива.

Перед входом судна в прибрежные или портовые воды, для обеспечения формирования минимального количества отложения

нагара в газоходах котла, сажеобдувочные вентиляторы должны работать по возможности как можно дольше.

Способы решения проблем возникающих при переводе работы судовых паровых котлов с НФО на МГО должны быть тщательно проанализированы и выполняться компетентными и квалифицированными специалистами после консультации с изготовителями и получения одобрения представителями классификационного общества.

Любые изменения, вносимые в оборудование котлов и обслуживающих его систем должны утверждаться классификационным обществом [2, 6].

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ), Книга III, пересмотренное издание = International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL), Book III, revised edition – СПб.: ЗАО «ЦНИИМФ», 2009.–304с.

2. ABS Notes. Use of Low Sulphur Marine Fuel for Boilers. Gas Fuel Burner System, EWZ-001-02-P04-W031. Attachment B – Revision 4.-5pp.

3. Emission Limits and Requirements for Auxiliary Diesel Engines and Diesel-Electric Engines Operated on Ocean-Going Vessels Within California Waters and 24 Nautical Miles of the California Baseline. Final Regulation Order. New section 2299.1, title 13, California Code of Regulations (CCR).2006.

4. Directive 2005/33/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 amending Directive 1999/32/EC. - Official Journal of the European Union, 22.7.2005. EN L 191/59-69.

5. International Safety Management (ISM) Code - Version 01/06/2010.

6. For use of and switching to low sulphur marine gas oil in auxiliary boilers and associated equipment on board tankers to meet requirements of the EU Sulphur Directive 2005/33/ EC: Guidance for hazard identification. INTERTANKO and OCIMF Guidelines, December 2009. – 9 pp.

7. Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of Marine fuels by International Organization for Standardization. Switzerland, Geneva. 2010.–29pp. (www.iso.org).

8. Regulations. DNV Petroleum Services. Det Norske Veritas AS, 01

9. June2011. - 50pp. (www.dnv.com).

УДК 621.431.74.436-52(07)

Донской В. Г.  
ОНМА

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ, ЗАЩИТЫ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Проблема оценки эффективности применения разветвленных систем контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок (СЭУ) возникла сравнительно недавно в связи с интенсивным пополнением флота автоматизированными судами.

Системы контроля, защиты и резервирования не связаны непосредственно с технологическими процессами, а лишь подключаются параллельно к объекту контроля. Наличие их, как в прочем и механика-оператора, не повышает вероятности безотказной работы собственно объекта контроля, а позволяет лишь искусственно принять соответствующие меры по упреждению последствий отказов системы управления или собственных технологических средств, что иногда отождествляется в литературе с надежностью средств контроля, защиты и резервирования. Однако подобное отождествление неправомерно, так как надежность таких средств автоматизации не связана функционально с надежностью средств управления или оборудования СЭУ. Поэтому в литературе дискутируется вопрос об эффективности различных уровней автоматизации СЭУ, в том числе об экономической эффективности применения разветвленных систем контроля, защиты и резервирования с точки зрения надежности объекта в эксплуатации.

Покажем, что потенциально всегда имеется экономический эффект от использования средств контроля, защиты и резервирования, если в функциональном отношении сравнить между собой автоматизированные объекты СЭУ с неавтоматизированными или объекты различных уровней (степеней) автоматизации. Для большей наглядности сравним между собой автоматизированные объекты с неавтоматизированными.

Предварительно рассмотрим возможные виды отказов:

катастрофические отказы, выражающиеся в выходе из строя объекта в целом или его отдельных узлов;

параметрические отказы, или отказы-остановки оборудования, включая вызванные неисправностью средств автоматизации;

отказы средств автоматизации, не вызывающие аварийной остановки объекта.

Обозначим интенсивность катастрофических отказов:  $\lambda_1$ - неавтоматизированного объекта;  $\lambda_2$ - автоматизированного объекта;  $\lambda_3$ - параметрических отказов;  $\lambda_4$ - отказов средств автоматизации.

Допустим поток отказов стационарный. Тогда возможный ущерб для неавтоматизированного  $Y_n$  и автоматизированного  $Y_a$  объектов за время  $t$  составляет:

$$\left. \begin{aligned} Y_n &= \bar{V}_1 \cdot \lambda_1 \cdot t; \\ Y_a &= (\bar{V}_2 \cdot \lambda_2 + \bar{V}_3 \cdot \lambda_3 + \bar{V}_4 \cdot \lambda_{;4}) \cdot t, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где средний материальный ущерб составляет:  $\bar{V}_1$ - при одном катастрофическом отказе неавтоматизированного объекта;  $\bar{V}_2$ - при одном катастрофическом отказе автоматизированного объекта;  $\bar{V}_3$ - при одном параметрическом отказе автоматизированного объекта;  $\bar{V}_4$ - при одном отказе средств автоматизации.

Учитывая, что  $\bar{V}_1 = \bar{V}_2$  (так вполне может случиться), можно записать:

$$Y_a = (\bar{V}_1 \cdot \lambda_2 + \bar{V}_3 \cdot \lambda_3 + \bar{V}_4 \cdot \lambda_{;4}) \cdot t \quad (2).$$

Разность возможных ущербов при введении автоматизации:

$$\Delta Y = Y_n - Y_a. \quad (3)$$

Подставив выражения (1,2) в (3) и сделав преобразования, получим:

$$\Delta Y_a = [\bar{V}_1 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - \bar{V}_3 \cdot \lambda_3 - \bar{V}_4 \cdot \lambda_{;4}] \cdot t \quad (4).$$

Относительный экономический эффект от использования средств контроля, защиты и резервирования за время  $t$  определяется выражением:

$$\Delta Y_a = [\bar{V}_1 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) + \bar{V}_3 \cdot \lambda_3 + \bar{V}_4 \cdot \lambda_{;4}] \cdot t \quad (5),$$

где  $W_a$  - приведенные годовые затраты на автоматизацию.

В свою очередь:

$$W_a = C_a + E_n \cdot K_a,$$

где  $C_a$  - себестоимость средств автоматизации, включая годовые эксплуатационные расходы;

$K_a$  - капитальные вложения в автоматизацию;

$E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Подставив (4) в (5) и приняв  $t=1$  (одному году), получим:

$$\mathcal{E} = \frac{\bar{Y}_1 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - \bar{Y}_3 \cdot \lambda_3 - \bar{Y}_4 \cdot \lambda_{;4}}{C_a + E_n \cdot K_a} \quad (6).$$

Покажем, что  $\mathcal{E} > 0$ , то есть применение средств контроля, защиты и резервирования эффективно и необходимо.

Безотказность (надежность) автоматизированного объекта ниже, чем неавтоматизированного. Тем не менее экономический эффект получается в этом случае за счет перевода катастрофических отказов  $\lambda_2$  в параметрические  $\lambda_3$  (отказы-остановки).

Практика эксплуатации автоматизированных СЭУ показала, что

$$\left. \begin{array}{l} \bar{Y}_1 \gg \bar{Y}_3 \gg \bar{Y}_4 \\ \lambda_1 < \lambda_3 \gg \lambda_4 \end{array} \right\} \quad (7)$$

В соответствии с условием (7) можно записать, что

$$\lim_{\lambda_2 \rightarrow \infty} [\bar{Y}_1 \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - \bar{Y}_3 \cdot \lambda_3 - \bar{Y}_4 \cdot \lambda_{;4}] > 0 \quad (8),$$

а значит согласно (6) величина  $\mathcal{E} > 0$ , то есть применение средств контроля, защиты и резервирования эффективно и необходимо.

Применение средств контроля, защиты и резервирования предоставляет возможность использования малонадежного, но высокопроизводительного оборудования, а в ряде случаев – осуществления технологических процессов, невыполнимых при их отсутствии. Это основывается на возможности поддержания с помощью указанных средств автоматизации сколь угодно малой положительной разности  $\lambda_1 - \lambda_2$  при любом значении  $\lambda_1$ .

УДК 662.6

Демидова Н.П.  
ОНМА

## **КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЖИДКОГО ТОПЛИВА**

Жидкое топливо является очень важным энергетически ресурсом. Оно широко используется как в транспорте, так и на производстве. С развитием двигателестроения и форсированием режима работы различной техники, где применяются углеводородные топлива, к их качеству начали предъявлять новые требования. В связи с этим появляется необходимость в создании методов, позволяющих оценивать новые эксплуатационные показатели топлив. От того, насколько достоверно тем или иным методом можно оценить какое-либо свойство, насколько близко соответствует оценка, полученная данным методом, действительному поведению топлива в условиях его использования, во многом зависят результаты разработки сортов топлив необходимого качества, экономичность и надежность работы двигателей и техники в целом. Хороший метод должен удовлетворять следующим общим требованиям: оценка какого-либо свойства должна быть достоверной (соответствовать действительным свойствам), воспроизводимой (в разное время, разными операторами), метод должен быть чувствителен к изменению определяемого свойства, оценочные параметры должны быть точными (что зависит от прибора, способа измерения и др.)

Именно поэтому актуальным является контроль и оценка качества жидкого топлива.

### **Оценка качества топлив**

Всю совокупность свойств нефтепродуктов, определяющих их качество, делят на три группы: физико-химические, эксплуатационные и технические.

К физико-химическим относят свойства, характеризующие состояние нефтепродуктов и их состав (плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность, поверхностное натяжение, электрическая проводимость, диэлектрическая проницаемость, фракционный состав и др.)

Во второй группе сосредоточены все эксплуатационные свойства нефтепродуктов, обеспечивающие надежность и экономичность эксплуатации двигателей, машин и механизмов. Эксплуатационные



свойства характеризуют полезный эффект от использования нефтепродукта по назначению и определяют область его применения. Количество таких свойств зависит от вида нефтепродукта и может колебаться в широких пределах.

Технические свойства жидкого топлива, выделенные в третью группу, не связаны с их применением, а проявляются в процессах хранения и транспортировки. Эту группу можно разделить на две подгруппы. Первая объединяет те свойства, которые определяют сохранность качества нефтепродуктов в процессах их хранения и транспортировки. Все свойства этой подгруппы могут быть отнесены к трем видам: физическая и химическая стабильность и биологическая стойкость. В понятие физическая стабильность входят склонность к потерям от испарения, к расслаиванию, гигроскопичность, загрязненность и т.п. Под химической стабильностью имеется в виду способность нефтепродукта (углеводородов, неуглеводородных примесей и присадок) противостоять окисляющему воздействию кислорода воздуха, а в отдельных случаях химическому воздействию среды. Биологическая стойкость подразумевает защищенность нефтепродукта от воздействия плесени, грибков и бактерий.

Вторую подгруппу составляют технические свойства, обеспечивающие безопасность транспортирования, хранения и применения нефтепродуктов. Все свойства этой подгруппы также можно отнести к трем видам: токсичность, пожароопасность и склонность к электризации. В понятие токсичность входит степень вредности нефтепродукта для человека и окружающей среды, влияние качества нефтепродукта на состав отработавших газов и т.д. Пожароопасность объединяет пределы воспламеняемости смеси паров нефтепродукта с воздухом, температуры вспышки, самовоспламенения и т.д. Такое свойство нефтепродуктов, как склонность к электризации, пояснений не требует.

В предложенном делении к эксплуатационным свойствам нефтепродуктов отнесены только свойства, проявляющиеся при эксплуатации. Однако существует мнение, что к эксплуатационным свойствам можно отнести все свойства, проявляющиеся как при хранении, так и при транспортировке.

Важное значение имеет понятие «уровень качества продуктов». Наиболее важный показатель часто используют при маркировке нефтепродуктов. Так, эксплуатационное свойство бензинов - детонационная стойкость – нашло отражение в марках бензинов в виде

цифр, характеризующих октановое число. Для дизельных топлив важное значение имеют низкотемпературные свойства, поэтому в зависимости от температуры застывания и помутнения топливо называют летним, зимним или арктическим.

Уровень основных свойств нефтепродуктов является сложной функцией и формируется с учетом следующих четырех факторов: требования потребителей, технических возможностей и затрат в нефтеперерабатывающей промышленности, экономического эффекта от использования в народном хозяйстве, взаимного влияния отдельных свойств, входящих в понятие «качество нефтепродукта».

Первые два фактора просты в оценке и их давно используют в практике: во многих случаях они определяют качество нефтепродуктов, вырабатываемых в настоящее время. Наибольшего внимания и развития в ближайшее время требуют исследования и расчеты по третьему и четвертому направлениям.

### Методы оценки качества топлив

Все методы оценки эксплуатационных свойств нефтепродуктов можно разделить на прямые и косвенные (рис.1.)

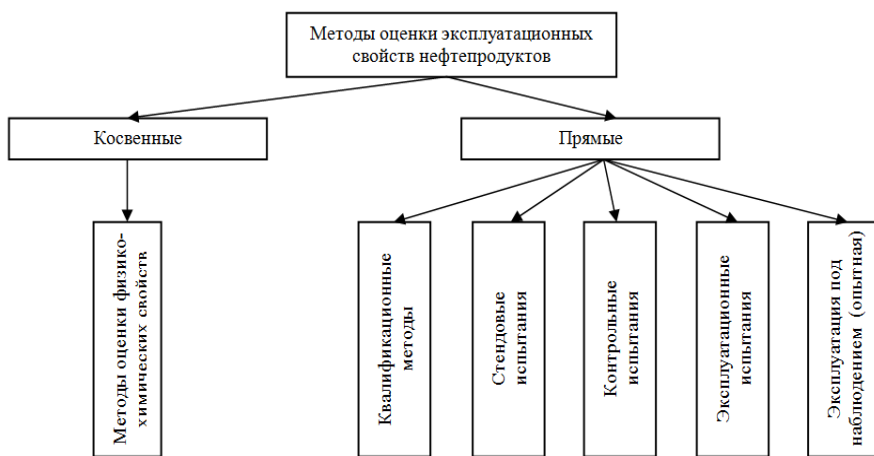


Рис. 1. – Методы оценки эксплуатационных свойств нефтепродуктов

К косвенным методам относят методы определения физико-химических свойств и состава нефтепродуктов, которые широко применяют при контроле качества дистиллятов. Эти методы позволяют косвенно судить о том или ином эксплуатационном свойстве. Методы, предназначенные для оценки эксплуатационных свойств

жидких топлив в ускоренных условиях, получили название квалификационных. С помощью этих методов за короткое время можно оценить какое-либо эксплуатационное свойство. Степень достоверности оценки этого свойства зависит от совершенства квалификационного метода и достаточной корреляции получаемых результатов с данными эксплуатационных испытаний.

Методы квалификационной оценки разделяются на следующие:

- безмоторные (метод определения коррозионной активности топлив в условиях конденсации влаги, при повышенных температурах и т.д.);

- на одноцилиндровых и малолитражных двигателях (методы определения октановых и цетановых чисел);

- на полноразмерных двигателях в стендовых условиях (метод оценки детонационной характеристики по составу смеси);

- лабораторно-дорожные (метод оценки детонационной стойкости.)

Наиболее полную оценку всех эксплуатационных свойств можно получить непосредственно на полноразмерном двигателе, машине или механизме при проведении эксплуатационных испытаний. Однако такие испытания длительны во времени, требуют большого расхода нефтепродукта, испытываемой техники и т.д. Поэтому чаще всего применяют квалификационные методы оценки качества жидкого топлива.

### **Квалификационные методы оценки качества**

Эти методы оценки качества нефтепродуктов возникли в результате тех значительных изменений в технике, которые произошли в ходе научно-технической революции, позволяют в минимально короткие сроки, при малых затратах сил, средств и испытываемых образцов нефтепродуктов надежно оценить важнейшие эксплуатационные свойства. Во многих случаях такие методы пришли на смену длительным испытаниям.

В настоящее время квалификационные методы разработаны практически для всех видов нефтепродуктов. Они считаются наиболее перспективными, поскольку с их помощью удастся не только ускорить оценку эксплуатационных свойств нефтепродуктов, но и быстро решать актуальные вопросы химмотологии, от которых в дальнейшем зависит надежность и экономичность работы двигателей и рациональное использование энергетических ресурсов.

Набор ускоренных квалификационных методов совместно с методами определения физико-химических свойств дает объективную и всестороннюю оценку каждого эксплуатационного свойства и оценку качества нефтепродукта в целом. Например, коррозионная активность дизельных топлив оценивается в лабораторных условиях с помощью таких показателей:

содержание общей серы (нормируется не стандартом, а Конвенцией МАРПОЛ-73/78 (Приложение VI));

- содержание водорастворимых кислот и щелочей (ГОСТ 6307-75);
- содержание меркаптановой серы (ДСТУ 3868-99);
- содержание сероводорода  $H_2S$  (ISO/FDIS 8217 (Test method reference IP 570));
- кислотное число (ISO 8217:2010 (Test method reference ASTM D664));
- кислотность (ДСТУ 3868-99);
- коррозия на медной пластинке (ГОСТ 305-82, ДСТУ 3868-99);
- коррозионная активность при высокой температуре (ГОСТ 20449-75.)

В настоящее время созданы и широко применяются комплексы методов квалификационной оценки практически по всем основным видам топлив, масел, смазок и специальных жидкостей. Определение свойств по комплексу методов квалификационной оценки стало обязательным первым этапом испытаний и ранее известных сортов, но полученных из нового сырья или по измененной технологии, содержащих новые компоненты, присадки и т.д. Такие образцы топлив и смазочных материалов получили название опытных. [3, с.41]

Результаты испытаний опытного топлива или смазочного материала по комплексу методов квалификационной оценки могут служить основанием для принятия обоснованных решений, а именно:

- о допуске данного нефтепродукта к применению без дальнейших испытаний

- об объеме следующих испытаний (стендовых, дорожных, эксплуатационных и др.)

- о необходимости проведения функциональных испытаний (например, на коррозионную активность по специальной программе, на токсичность и т.д.)

Оценка результатов испытаний по комплексу методов и решение о дальнейших испытаниях топлив и смазочных материалов или допуске к применению их обязательно базируются на основных техни-

ко-экономических показателях, а именно: данных по сырьевым ресурсам, особенностях технологии производства, проекте цены опытного образца, данных расчета эффекта от внедрения и т.д.

Комплексы методов находят широкое применение для решения вопросов унификации, классификации, взаимозаменяемости топлив и смазочных материалов. При этом следует отметить, что разработка новых методов и совершенствование существующих непрерывно повышают корреляцию результатов, получаемых по комплексу методов с данными эксплуатационных испытаний и тем самым расширяют сферу применения комплексов методов квалификационной оценки.

Принципы построения комплексов методов квалификационной оценки и различия между комплексами методов и тем набором методов оценки качества, который принят в стандарте технических условий на данный вид топлива.

Технические условия на основные нефтепродукты складывались исторически и представляют собой набор физико-химических показателей качества и нескольких основных показателей наиболее важных эксплуатационных свойств. Анализ качества нефтепродукта на соответствие техническим условиям приходится делать довольно часто и во многих организациях (на нефтеперерабатывающих предприятиях, на складах и нефтебазах в лабораториях потребителей и т.п.) Время на проведение анализа, как правило, ограничено; сложное дорогостоящее оборудование может быть использовано далеко не во всех лабораториях. Все эти обстоятельства заставляют очень строго подходить к отбору показателей для включения их в технические условия на нефтепродукты. Естественно, все методы оценки качества нефтепродуктов, включенные в технические условия, стандартизованы.

Выбор методов и показателей, включаемых в стандарт на нефтепродукт, требует глубокого химмотологического анализа, основательного научного и экономического обоснования. Число методов, включаемых в комплекс, не следует так ограничивать, как в стандартах технических условий. Комплекс методов применяется реже, аппаратура для проведения всех анализов может быть установлена лишь в некоторых лабораториях крупных исследовательских организаций и химмотологических центров.

Исходя из назначения комплексов методов, очевидно, целесообразнее их строить по основным эксплуатационным свойствам. При

этом в каждом эксплуатационном свойстве необходимо указывать все методы, которые позволяют судить об этом свойстве независимо от того, входят эти методы в стандарт технических условий на данный нефтепродукт или нет, стандартизованы методы или они междуведомственные. Все методы, которые позволяют составить представление о данном эксплуатационном свойстве, должны быть сосредоточены в одном месте комплекса. Ранее созданные комплексы методов начинались такими словами: «В комплекс методов квалификационной оценки, кроме методов стандарта технических условий, входят следующие...». Представляется более целесообразным строить комплексы по основным эксплуатационным свойствам. Так, для топлив при формировании комплексов методов квалификационной оценки качества рекомендуется использовать приведенные ниже эксплуатационные свойства.

Испаряемость оценивается:

- фракционным составом;
- давлением насыщенных паров;
- зависимостью соотношения пар-жидкость от температуры (склонность к образованию паровых пробок).

2. Воспламеняемость и горючесть оцениваются:

- температурными и концентрационными пределами воспламенения;
- пределами устойчивого горения;
- температурой самовоспламенения;
- теплотой сгорания;
- детонационной стойкостью (октановые числа, сортность, коэффициент распределения детонационной стойкости);
- отсутствием жесткой работы в дизелях (цетановое число);
- индикаторными характеристиками двигателей.

3. Прокачиваемость оценивается:

- вязкостно-температурными свойствами (предельные значения кинематической или динамической вязкости при низких температурах);
- низкотемпературными свойствами (температуры помутнения, начала кристаллизации и застывания, предельная температура фильтруемости);
- показателями чистоты (содержание воды и механических примесей, коэффициент фильтруемости);

- содержанием поверхностно-активных веществ (эмульгируемость с водой, содержание мыл нафтеновых кислот.)

4. Склонность к образованию отложений оценивается:

- склонностью к нагарообразованию (общее суммарное содержание ароматических углеводородов, смолисто-асфальтеновых веществ, высота некопящего пламени и интенсивность его свечения, зольность, коксуемость отложения на нагарниках);

- склонностью к образованию отложений во впускной системе и системе впрыска (содержание фактических и адсорбционных смол, йодное число, время образования и омывания отложений на пластинке, масса смолисто-лаковых отложений на форсунках);

- термической стабильностью (количество осадка, содержание растворимых и нерастворимых смол после окисления, перепад давления на фильтре и масса отложений на трубке подогревателя специальной установки, температура начала образования отложений.)

5. Коррозионная активность и совместимость с неметаллическими материалами оцениваются:

- содержанием коррозионно-активных веществ (кислотность, содержание общей серы, сероводорода, меркаптановой серы, водорастворимых кислот и щелочей, натрия, ванадия и других металлов);

- коррозионными потерями при контакте с металлами (испытания в различных камерах, коррозионные испытания при высокой температуре);

- воздействием на резину и герметики (изменение пределов прочности, относительного удлинения и периода старения резин, изменение твердости герметика.)

6. Защитные свойства оцениваются воздействием обычной и морской воды на металлы в присутствии топлива.

7. Противоизносные свойства оцениваются вязкостью и смазывающей способностью (износ плунжеров и шайбы на стенде, диаметр пятна износа, критическая нагрузка, критерии противоизносных свойств, показатель износа.)

Охлаждающие свойства оцениваются теплоемкостью и теплопроводностью.

Стабильность оценивается:

- физической стабильностью (склонность к потерям от испарения, время расслаивания и выпадения второй фазы, гигроскопичность, совместимость при смешении);

- химической стабильностью (индукционный период окисления, содержание антиокислителя, период стабильности, содержание кислот, осадка и смол после окисления);

- биологической стойкостью (лабораторные испытания на стойкость к воздействию плесени, грибков и бактерий.)

10. Безопасность обращения с топливом оценивается:

- токсичностью (класс токсичности, предельно допустимые концентрации в рабочей зоне, в атмосфере населенных пунктов, водоемов, цвет и интенсивность окраски, концентрация свинца);

- пожароопасностью (температуры вспышки в открытом и закрытом тигле, температура самовоспламенения, температурные и концентрационные пределы воспламеняемости);

- склонностью к электризации (удельная электропроводность.)

Представленное деление эксплуатационных свойств жидких топлив носит условный характер. Одни свойства, очевидно, можно объединить, другие - разделить, но такое деление позволяет правильно подойти к формированию комплексов, определить полноту оценки каждого эксплуатационного свойства, систематизировать имеющиеся и наметить необходимые методы квалификационной оценки.

Все комплексы методов квалификационной оценки топлив описаны с позиций деления понятия качества топлив на указанные выше эксплуатационные свойства. При этом следует иметь в виду, что для одного вида топлив наиболее весомы одни эксплуатационные свойства, для другого - другие, поэтому порядок изложения свойств иногда нарушается. Значимость некоторых эксплуатационных свойств возрастает по мере развития техники. Например, в настоящее время все большее внимание уделяется чистоте применяемых топлив. [4, с.23]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуреев А. А., Серегин Е. П., Азев В. С. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив. М.: Химия, 1984. – 200 с.

2. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Т 581 Справочник / Анисимов И. Г., Бадыштова К. М. и др.; под ред. Школьников В. М.. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.



3. Митусова Т. Н., Полина Е. В., Калинина М. В. Современные дизельные топлива и присадки к ним. – М.: Издательство «Техника». ООО «ТУМА ГРУПП», 2002. – 64 с.

4. Беянин Б. В., Эрих В. Н., Корсаков В. Г. Технический анализ нефтепродуктов. Л.: Химия, 1986. – 184 с.

УДК 551.501.81.621.396.96

Гуденко С.Ю., Заичко С.И.  
ОНМА

## **ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОМЕХ НА РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ**

*Постановка проблемы в общем виде.* Погодные условия оказывают существенное влияние на эффективность судоходства. Современные средства автоматической идентификационной системы (АИС) позволяют экипажам получать ситуационную информацию в районе плавания. Однако этой информации может быть недостаточно в экстремальных условиях. В таких ситуациях информация от судового радиолокатора является более точной и оперативной при условии обеспечения защиты от воздействия природных помех в процессе отражения электросигнала от облаков и выпадающих осадков. Повышение эффективности обнаружения и распознавания морских объектов судовыми РЛС в условиях сильного воздействия естественных помех может производиться путем выбора наиболее информативных параметров электромагнитной волны (поляризационных), позволяющих увеличить отношение сигнал/помеха и выделить отраженный сигнал от наблюдаемой цели.

Для этого необходимо располагать информацией о степени влияния различных атмосферных образований на работу судовой РЛС.

*Анализ последних публикаций по рассматриваемой проблеме.* Вопросы обнаружения сигналов от целей на фоне внешних пассивных помех рассмотрены в различных научных публикациях например [1, 2, 3]. Для борьбы с мешающими отражениями [1] используется доплеровская и статистическая фильтрация с учетом характеристик осадков и местных предметов. В [2] представлен алгоритм, по которому рассчитывается та часть ДМА МРЛ, которая экранируется орографическими препятствиями. Однако в судовых радиолокаторах в достаточной степени до настоящего времени не решена задача адаптации электромагнитной волны при воздействии естественных помех.

В судовых радиолокационных системах радиолокационный сигнал образуется в результате отражения зондирующих сигналов объектами различной природы (суда, земная и водная поверхность, облака и осадки). Для радиолокационного обнаружения объекта, его

отражающие свойства и окружающей среды должны отличаться, т.е объект должен обладать определенным контрастом. При заданном отношении сигнал-шум потенциальная точность измерений произвольного параметра определяется частотой эквивалентной гармонической огибающей, зависящей только от структуры обобщенного энергетического спектра огибающей [3]. Смещение симметрического энергетического спектра огибающей относительно нулевой частоты не влияет на точность измерений, так как четная составляющая энергетического спектра содержит всю энергию огибающей, а нечетная не несет энергии.

Ассиметрию энергетического спектра сигнала можно трактовать как появление дополнительной нечетной составляющей, не изменяющей полной энергии отраженного от объекта сигнала. Точность измерений определяется общей шириной энергетического спектра радиолокационного сигнала, а разрешающая способность (с учетом неоднозначности) суммарной протяженностью только заполненных участков спектра, т.е его общей шириной за вычетом «пустых» участков. Снижение точности определения координат объекта, вызванное случайными неконтролируемыми отклонениями реального спектра от заданной симметричной формы пренебрежительно мало. Единственным ограничением на потенциальную точность совместного измерения угловых координат объекта является требование малого уровня боковых лепестков у пространственной функции корреляции, т.е выходного сигнала как функции угловых координат, которое удовлетворяется при спадании функции раскрытия антенны на краях. Все остальные факторы, приводящие к снижению точности угловых измерений, практически можно исключить. Наблюдение объектов судовыми радиолокаторами происходят при наличии естественного фона (отражение от подстилающей поверхности и гидрометеоров).

Для борьбы с распределенными естественными пассивными помехами можно использовать шумоподобные импульсные сигналы, сформированные активным или пассивным способом. При активном способе высокочастотное несущее колебание моделируется по частоте или фазе по заданному закону. При пассивном способе для формирования излучаемого сигнала используется оптимальный фильтр. [3]

Если в наблюдаемом пространстве имеется большое число равномерно распределенных по объему и скоростям отражателей, соз-

дающих мешающий фон, то единственным путем для снижения мешающего влияния этого фона является уменьшение телесного угла, занимаемого диаграммой направленности антенны, т.е. повышение угловой разрешающей способности. Ввиду случайных фазовых соотношений между сигналами множества отражателей, оказывается невозможным осуществлять селекцию сигналов фона по угловым координатам, т.е. имеет смысл говорить только об энергетической селекции. Если судовой РЛС объект наблюдается на фоне большого числа движущихся отражателей (естественные гидрометеоры), сигналы которых суммируются по мощности, то селекция сигнала наблюдаемого объекта по угловой скорости (подавление фона) невозможна.

Так как обнаружение и распознавание объекта судовыми РЛС производится на фоне помех, то происходит искривление траектории радиолокационного сигнала, поглощение и рассеяние его энергии газами и частицами облаков. Величина отраженной мощности от объекта наблюдения может оказаться сравнимой с мощностью, отраженной частицами облаков и осадков, или даже меньше. Поэтому наблюдаемый естественный объект при определенном соотношении с фоном отраженных сигналов становится невидимым на индикаторах радиолокационной станции. Целью настоящей статьи является повышение эффективности работы судовой РЛС путем снижения радиолокационной дивинации от природных шумовых помех. В связи с этим представляет интерес провести одновременное выявление степени влияния нескольких шумовых факторов на работу судовой РЛС. Для решения указанной задачи предложено использование дисперсионного анализа, который позволяет устанавливать не только степень одновременного влияния нескольких шумовых факторов на работу РЛС, но и влияние каждого из них в отдельности и в любых комбинациях. Данная методика позволит оценить долю влияния шумовых факторов на работу РЛС, а также выделить несколько ведущих шумовых факторов для исследования их воздействия на процесс радиолокационного обнаружения объекта.

#### Постановка задачи.

С помощью дисперсионного анализа оценивается степень влияния атмосферных осадков различной интенсивности на уменьшение дальности радиолокационного обнаружения объектов.

Применительно к решаемой задаче в качестве результативного признака выступает радиолокационное обнаружение объекта, а в качестве факторных признаков – осадки различной интенсивности и сопутствующие явления – шквалистые ветры с грозой и градом.

Требуется выделить, прежде всего, степень влияния осадков на радиолокационное обнаружение объекта, т.к. выделение степени влияния осадков имеет принципиальное значение.

Решение поставленной задачи.

Обозначим через  $\alpha$  - степень снижения радиолокационного обнаружения объектов судовыми РЛС, которая является интегральной величиной, включающей влияние осадков  $\alpha_0$ , шквалистых ветров с грозой  $\alpha_g$  и градом  $\alpha_2$ :

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_g + \alpha_2. \quad (1)$$

Таким образом, даже при отсутствии осадков, степень снижения радиолокационного обнаружения объектов  $\alpha$  не может быть равной нулю, а ограничивается величиной:

$$\alpha = \alpha_g + \alpha_2, \quad (2)$$

а тем более, при неблагоприятных погодных условиях радиолокационное обнаружение объектов судовыми РЛС не может быть 100% - м.

При решении задачи использована модель двухфакторного дисперсионного комплекса: первый фактор  $A$  – влияние осадков на радиолокационное обнаружение объектов; второй фактор  $B$  – совместное влияние шквалистых ветров, гроз и града. Действие осадков и сопутствующих им явлений – шквалистых ветров с грозой и градом в определенной степени можно считать независимыми. При изучении действия более чем одного фактора требуется учитывать влияние суммарного факторов в отдельности, а также их сочетаний.

Далее следует построение двухфакторного статистического комплекса (табл.1).

Таблица 1. – Двухфакторный статистический комплекс.

Группы по признаку А	А <sub>1</sub>		А <sub>2</sub>	
	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>
Варианты результативного признака (уменьшение дальности радиолокационного обнаружения объекта, км)	У <sub>1</sub> , У <sub>2</sub> ,У <sub>3</sub>	У <sub>4</sub> , У <sub>5</sub> ,У <sub>6</sub>	У <sub>7</sub> , У <sub>8</sub> ,У <sub>9</sub>	У <sub>10</sub> , У <sub>11</sub> ,У <sub>12</sub>

Решение двухфакторного статистического комплекса начинается с определения общей дисперсии как суммы квадратов отклонений всех вариантов от общей средней.

$$D_y^2 = \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 . \quad (3)$$

Затем вычисляются частные средние по всем группам, суммы квадратов отношений отдельных вариантов от средних. Сумма этих сумм и покажет величину случайной дисперсии.

$$D_z^2 = \sum_1^n \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 , \quad (4)$$

Дисперсия обоих факторов определяется как сумма квадратов отклонений групповых средних от общей средней. Причем квадраты отклонений в каждой группе взвешиваются по числу единиц в группе, для разного числа слагаемых.

$$D_x^2 = \sum_1^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2 n_x , \quad (5)$$

где  $n_x$  - число наблюдений по градациям.

Частная дисперсия фактора *A* определяется колеблемостью частных средних по группам этого фактора.

$$D_A^2 = \sum_1^n (\bar{y}_A - \bar{y})^2 n_A , \quad (6)$$

Частная дисперсия фактора *B* определяется колеблемостью частных средних по группам этого фактора.

$$D_B^2 = \sum_1^n (\bar{y}_B - \bar{y})^2 n_B . \quad (7)$$

Сумма частных дисперсий по факторам и дисперсии по их сочетанию составляет дисперсию суммарного действия, т.е

$$D_x^2 = D_A^2 + D_B^2 + D_{AB}^2 . \quad (8)$$

При этом должно выполняться условие:

$$\begin{aligned} h_x^2 &= h_A^2 + h_B^2 + h_{AB}^2 , \\ h_y^2 &= h_x^2 + h_z^2 = 1 . \end{aligned} \quad (9)$$

Для достоверности влияния исчисляется дисперсия в расчете на одну степень свободы и отношение этих дисперсий к случайной дисперсии.

При расчете числа степеней свободы следует учитывать то, что число для дисперсии любого фактора равно числу групп по данному

фактору минус единица. Дисперсия по сочетанию факторов имеет число степеней свободы равное произведению числа степеней свободы факторов сочетания. Для дисперсии суммарного действия число степеней свободы равно произведению числа групп по обоим факторам минус единицу.

При расчете дисперсионных комплексов, дисперсия определяется из условия:

$$\begin{cases} D_x^2 = \sum_1^n h \cdot H \\ D_y^2 = y^2 \cdot H \\ D_z^2 = y^2 \cdot \sum_1^n h \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{где } h = \frac{(\sum_1^n y)^2}{n_x}, \quad (11)$$

$$H = \frac{(\sum_1^n y)^2}{n}. \quad (12)$$

Для определения основных дисперсий составляется следующая таблица (табл.2).

Таблица 2. – Определение основных дисперсий.

Группы по признаку А	А <sub>1</sub>		А <sub>2</sub>		$\sum_1^n \sum_1^n$
Группы по признаку В	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	
Варианты результативного признака	у <sub>1</sub> , у <sub>2</sub> , у <sub>3</sub>	у <sub>4</sub> , у <sub>5</sub> , у <sub>6</sub>	у <sub>7</sub> , у <sub>8</sub> , у <sub>9</sub>	у <sub>10</sub> , у <sub>11</sub> , у <sub>12</sub>	$\sum_1^n$
$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$	$\sum_1^n y$
$n_x$	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$	$\sum_1^n n_x$

$h = \frac{(\sum_1^n y)^2}{n_x}$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$	$\sum_1^n h$
$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$	$\sum_1^n y^2$

Определяются три основных дисперсии:

- общая дисперсия  $D_y^2 = \sum_1^n y^2 - H$  ;

- факторная дисперсия  $D_x^2 = \sum_1^n h - H$  ;

- случайная дисперсия  $D_z^2 = \sum_1^n y^2 - \sum_1^n h$  ;

$$D_y^2 = D_x^2 + D_z^2 .$$

Составляется таблица факторных дисперсий (табл. 3)

Таблица 3. – Факторные дисперсии.

Фактор А					Фактор В				
группы	$n_A$	$\sum_1^n y$	$(\sum_1^n y)^2$	$h_A$	группы	$n_B$	$\sum y$	$(\sum y)^2$	$h_B$
A <sub>1</sub>					B <sub>1</sub>				
A <sub>2</sub>					B <sub>2</sub>				
$\Sigma$	$\sum_1^n n_A$	$\sum_1^n y$	-	$\sum_1^n h_A$	$\sum_1^n$	$\sum_1^n n_B$	$\sum_1^n y$	-	$\sum_1^n h_B$

Факторные дисперсии запишем в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_A^2 = \sum_1^n h_A - H \\ D_B^2 = \sum_1^n h_B - H \end{array} \right. \quad (13) ,$$

$$D_{AB}^2 = D_x^2 - D_A^2 - D_B^2 .$$



Степень совокупного влияния факторов на радиолокационное обнаружение объекта

$$\alpha_z^2 = \frac{D_x^2}{D_y^2}. \quad (14)$$

Степень влияния других случайных факторов на радиолокационное обнаружение объекта

$$\alpha_z^2 = \frac{D_z^2}{D_y^2}. \quad (15)$$

Степень влияния фактора А (осадки)

$$\alpha_A^2 = \frac{D_A^2}{D_y^2}. \quad (16)$$

Степень влияния фактора В (шквалистый ветер с грозой и градом)

$$\alpha_B^2 = \frac{D_B^2}{D_y^2}. \quad (17)$$

Выводы:

Предложенная методика и расчетная схема (алгоритм) позволяют рассчитать и разделить степень влияния осадков, шквалистого ветра с грозой и града на радиолокационное обнаружение объектов судовыми радиолокаторами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beguin D., Plante I.L. Ground clutter suppression methods. – COST-75, 1999. p.569-580.
2. Hannesen R, Loffler – Maug M. Improvement of quantitative rain measurements with a C-band Doppler radar through consideration of orographically induced partial beam screening. – COST-75, 1999. p.511-519.
3. А.А.Коростелев. Пространственно – временная теория радиосистем. – М. «Радио и связь», 1987. – 319 с.
4. Бакулев П.А. Методы и устройства селекции движущихся целей / Бакулев П.А., Степин В.М. – М. Радио и связь, - 1986. 288 с.
5. Васильев К.К. Прием сигналов при мультипликативных помехах. – Саратов.: Саратов. ун-т, - 1983., - 128 с.

6. Коростелев А.А. Методы измерения координат объектов и обработка радиолокационных сигналов / Коростелев А.А., Мельник Ю.А., Касаткин А.С. – М.: Воениздат, - 1968., - 241 с.

7. Мельников Б.Г. Статистический синтез радиотехнических измерителей навигационных параметров. – М.: Воениздат, - 1982., - 198 с.

8. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. Санкт-Петербург.: Гидрометеоиздат, 2002. 331 с.

9. Шарапов А.Ю. Влияние метеорологических условий на безопасность полетов по данным ИКАО. – В сб: Влияние внешней среды на безопасность полетов и вопросы воздействия факторов на ее состояние. – Труды ОЛАГА, 1985. С. 89-91.

УДК 621

Горюк А.А., Кузнецова А.А., Михайленко В.И.  
ОНМА

## ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА В НЕФТЕВОДЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

**Введение.** Льяльные (нефтесодержащие) воды – это образующиеся в процессе эксплуатации нефтеналивных танкеров и топливных танков судов осадочные отложения. "Мёртвые запасы" (нефтьшламы) по своему составу чрезвычайно разнообразны и представляют собой сложные системы, состоящие из нефтепродуктов, воды и механических примесей, соотношение которых колеблется в очень широких пределах.

В результате несовершенства систем, по которым проходит морская вода, используемая для обеспечения работы судовых установок различного назначения и типа, часть ее попадает в производственные помещения судна, где смешивается с различными загрязняющими веществами или другими, уже загрязненными водами, образуя при этом льяльные воды.

Сегодня довольно остро стоит проблема сброса льяльных вод содержащих в себе нефтепродукты [1,2]. Международная конвенция по защите окружающей среды МК МАРПОЛ 73/78 допускает сброс нефтесодержащих трюмных вод, очищенных до нормы 15 мг/л [3]. Поэтому актуальной является задача определения концентрации нефтепродуктов в льяльных водах в судовых условиях.

**Теоретическая часть.** Ослабление лазерного луча при прохождении через нефтеводную эмульсию может происходить как за счёт рассеяния, так и поглощения на частичках эмульсии, поэтому коэффициент ослабления  $k$  можно представить в виде

$$k = k_p + k_n, \quad (1)$$

где  $k_p$  и  $k_n$  – коэффициенты ослабления за счёт рассеяния и поглощения соответственно.

Коэффициент  $k_p$  пропорционален произведению вероятности встречи фотона с частицей эмульсии  $n \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot l$  ( $n$  – число частиц в единице объёма,  $D$  – средний диаметр частицы,  $l$  – длина хода луча) на вероятность рассеяния  $\kappa_p$

$$k_{p=}\kappa_p n \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot l. \quad (2)$$

Коэффициент ослабления за счёт поглощения  $k_n$  пропорционален произведению вероятности встречи фотона с частицей эмульсии на вероятность поглощения  $w_n$

$$k_n = n \frac{\pi D^2}{4} l \cdot w_n. \quad (3)$$

Вероятность поглощения  $w_n$  можно определить так. Допустим что все частицы эмульсии имеют один и тот же объём  $V_0$ ; тогда суммарный объём частиц, которые находятся в кювете объёмом  $V$ , будет равен  $V - nVV_0 = V(1 - nV_0)$ , а относительный объём, занятый частицами эмульсии, равен  $\frac{nV_0}{1 - nV_0}$ . Относительная эффективная оптическая толщина частиц (т.е. отношение суммарной толщины частиц, которые пересекаются лазерным лучом, к длине линии, не занятой частицами) пропорциональна  $\left(\frac{nV_0}{1 - nV_0}\right)^{1/3}$ . Предполагая, что частицы равномерно распределены по всему объёму, можно сделать заключение, что вероятность поглощения  $w_n$  пропорциональна относительной эффективной оптической толщине частиц. поэтому

$$k_n = \kappa_n n \frac{\pi D^2}{4} l \cdot \left(\frac{nV_0}{1 - nV_0}\right)^{1/3}, \quad (4)$$

где  $\kappa_n$  – некоторый коэффициент, пропорциональный коэффициенту поглощения вещества, входящего в состав частицы. Как видно из формулы (4), коэффициент ослабления пропорционален площади поверхности частицы, что согласуется с результатами, полученными в [4,5]. Таким образом, суммарный коэффициент ослабления равен

$$k = \left[ \kappa_p + \kappa_n \left(\frac{nV_0}{1 - nV_0}\right)^{1/3} \right] n \frac{\pi D^2}{4} l. \quad (5)$$

При концентрации введенных примесей  $C \sim 100 \text{ мг/л}$  относительный объём  $nV_0 = C / \rho$  ( $\rho$  – плотность вещества частиц эмульсии), занимаемый частицами, не превышает  $10^{-4}$ , поэтому

$nV_0 \ll 1$ . Предполагая справедливость закона Бугера с коэффициентом ослабления  $k$ , определяемый формулой (5), после несложных преобразований можно получить

$$\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0} = \frac{3}{2} \frac{l}{\rho D} \kappa_p + \frac{3}{2} \frac{l}{\rho D} \kappa_n \left( \frac{C}{\rho} \right)^{1/3}. \quad (6)$$

В области малых концентраций вторым членом в формуле (6) можно пренебречь, тогда функция  $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$  должны быть постоянной. С ростом концентрации второй член в формуле (6) начинает играть более существенную роль, поэтому зависимость  $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$  от  $C^{1/3}$  должна быть линейной.

**Сравнение с экспериментом.** Для проверки справедливости соотношения (6) были проведены измерения интенсивности лазерного луча ( $\lambda = 337.0; 454.5; 632.8$ ) *нм*, прошедшего через нефтеводяную среду толщиной 0.5 и 1.5 *см*. Нефтеводяная эмульсия приготавливалась введением разных сортов нефти соответствующей концентрации в морскую воду с незначительной примесью поверхностно активных веществ. Физико-химические свойства полученной таким образом нефтеводяной эмульсии были близки к соответствующим свойствам балластных вод, сливаемых с морских судов. Измерения проводились в условиях развитой турбулентности ( $Re > 7.5 \cdot 10^4$ , скорость потока изменялась от 0.5 до 3.5 *м/с*). Ослабление интенсивности лазерного луча на турбулентных пульсациях [6,7] не учитывалось поскольку интенсивность  $I$  и  $I_0$  измерялись в подвижной среде и поэтому влияние турбулентности автоматически исключалось.

Результаты измерений показано на рис. 1. Видно, что в области малых концентраций  $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$  практически не зависит от концентрации, т.е. ослабление лазерного луча в этой области определяется в основном за счёт рассеяния света на частицах эмульсии. С ростом концентрации вступает в силу второй механизм ослабления лазерно-

го луча (поглощение на частицах эмульсии) и зависимость  $\frac{1}{C} \ln \frac{I}{I_0}$  от  $C^{1/3}$  становится линейной (см. рисунок). Угловой коэффициент наклона прямой

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{2} \frac{l}{\rho D} \kappa_n \quad (6)$$

определяется тремя параметрами  $\rho$ ,  $D$ ,  $\kappa_n$ . Для определения  $D$  отбирались пробы нефтеводной эмульсии из подвижного потока, а потом измерялись диаметры частиц нефти по микрофотографиям на люминесцентном микроскопе ЛЮМ-2. Средний диаметр частиц – 10.6 (моторное топливо), 2.5 (масло), 8.8 (сырая нефть), 32 мк (мазут). Эти результаты хорошо совпадают с эмпирическими формулами, предложенными в [8].

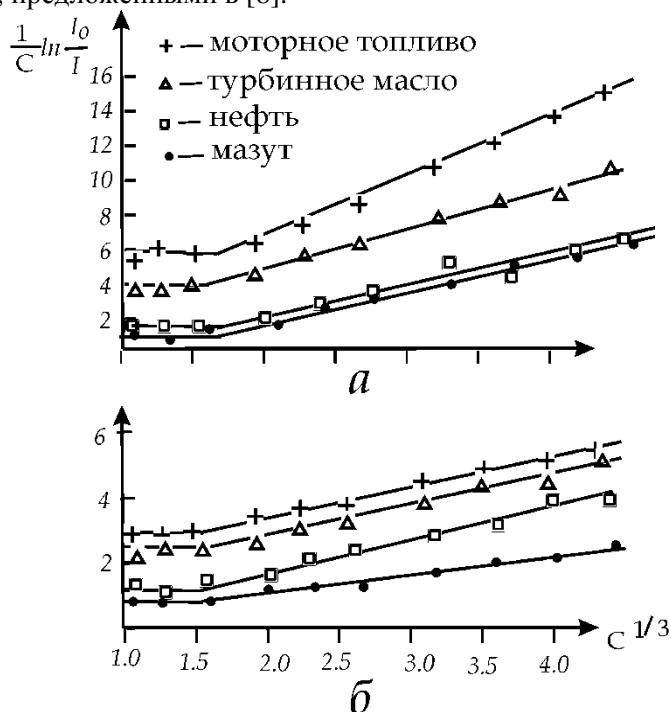


Рис. 1. Зависимость интенсивности лазерного излучения от концентрации частиц нефтепродуктов в морской воде ( $C$  – моль/л). Длина волны лазерного излучения:  $a$  – 633 нм,  $b$  – 337 нм.

Из формулы (7) был найден коэффициент  $\kappa_n$ , который должен быть пропорционален коэффициенту экстинкции  $\mu_n$  частиц нефти.

Коэффициент  $\mu_n$  определялся формулой  $\mu_n = \frac{1}{l} \ln \left( \frac{I_0}{I} \right)$ , где  $l = 1$  мм

– толщина кюветы с нефтепродуктом. Затем было составлено соотношение  $\kappa_n / \mu_n$ , которое для разных нефтепродуктов, как и следовало ожидать, оказалось величиной практически постоянной. Корреляция между  $\kappa_n$  и  $\mu_n$ , а также разные значения  $D$  и  $\rho$  для данных нефтепродуктов объясняют разную скорость ослабления интенсивности лазерного луча в зависимости от сорта и концентрации частиц нефти в морской воде.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубрилов С.П. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов // Л.: Судостроение.–1989.–256 с.
2. Экологические аспекты разлива нефти на воде [Текст] / А. А. Селуянов, Н. В. Шутов // Нефть. Газ. Новации. - 2011. - №2. - С. 75-78.
3. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. Протокол 1978 г. – М. Изд-во ЦРИА «Морфлот.1980.–364с.
4. К.С.Шифрин. Тр. ВЗЛТИ, 2, 153, 1956.
5. К.С. Шифрин. Сб. «Теоретические и практические проблемы рассеяния света», Минск, изд-во «Наука и техника», 1971, с.228.
6. С.С.Кутеладзе, Д.И.Авалиян. ДАН СССР, 198, 1058,1971.
7. Д.И.Авалиян, С.С.Кутеладзе. Журн. прикл. мех. и техн. физ. 4, 435, 1972.
8. С.А. Shlechter, A.I.Ch.E.Journal 8, 4 1962.

УДК 621.12.04.231.16

Бойко П.А.  
ОНМА

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПРИРОДНОГО ГАЗА В УКРАИНУ**

*Постановка проблемы в общем виде и связь ее с научными и практическими задачами.* Газовая промышленность Украины является одной из важнейших стратегических отраслей экономики. Доля природного газа в общем производстве и внутреннем потреблении энергетических ресурсов Украины неоправданно высокая и составляет порядка 75% от общего энергопотребления страны.

Строительство морского терминала для сжиженного природного газа (СПГ) выводит Украину на новый, высоко технологический уровень потребления в топливно-энергетическом комплексе Украины.

Основным направлением инвестиционной деятельности по морской доставке СПГ грузов через отечественный терминал, является снижение социальной напряженности, энергетической зависимости страны и создание гарантированно безопасных форм и механизмов инвестиционного регулирования в области торгового судоходства [1,2,8].

Последнее десятилетие рынок СПГ развивается ускоренными темпами, выступая неотъемлемым и заметным элементом мировой торговли. Приходится констатировать, что технические, экономические, эксплуатационные и экологические преимущества СПГ до настоящего времени не были востребованы в Украине. Размещение СПГ терминала на территории побережья припортового завода и внешнего рейда для плавтерминала, проработаны только теоретически, а практически требуют взвешенного и комплексного научно – технического подхода.

*Целью исследования настоящей статьи, является изучение современного состояния мирового рынка СПГ и перспективы его развития с использованием инновационных технологий.*

Мировой рынок сжиженного природного газа развивается в направлении поставок природного газа как энергоносителя из стран с его избыточными ресурсами в страны, испытывающие недостаток в этом виде топлива. Для этих целей в настоящее время за рубежом построены более 15 крупных заводов по производству СПГ.



Производительность установок за последние 30 лет возросла до 17,5 млн. тонн в год за счет применения нового наиболее мощного оборудования. По прогнозам специалистов, объем мировой торговли СПГ к 2015 году возрастет до 170 млрд. м<sup>3</sup> и более в год [4].

Повышенный спрос на природный газ будет стимулировать новые более жесткие нормы и правила по охране окружающей среды, правила технической эксплуатации СПГ – танкеров, а также высокую конкурентоспособность природного газа по отношению к другим видам топлива.

Доля природного газа в мировой энергетике достигла одной трети. Производство СПГ было стимулировано экспортом большого количества природного газа из газодобывающих стран (Нигерия, Алжир, Египет, Тринидад и Тобаго, Катар, Ливия и др.) в страны Западной Европы, США, Японию более экономичным способом – транспортировкой морским транспортом в сжиженном виде.

Основными экспортёрами СПГ являются страны Северной Африки (Алжир, Ливия, Нигерия), Ближнего Востока (Абу – Даби, Катар, Оман), Юго – Восточной Азии (Малайзия, Индонезия, Бруней), и другие – Австралия, США (Аляска), Тринидад и Тобаго.

На рис. 1, представлена диаграмма мировых поставщиков СПГ в Европу.

Для Украины, когда подача газа по газотранспортной системе затруднена в связи с высокой стоимостью содержания (эксплуатации) газотранспортной магистрали и высокими тарифами на природный газ (ПГ), сжиженный природный газ является одним из главных элементов топливно-энергетического комплекса страны. Мировая добыча ПГ и его экспорт свидетельствует о том, что время, когда трубопроводный транспорт был практически единственным средством транспортировки газа, давно прошло, и доля СПГ в мировом экспорте будет только неуклонно расти и развиваться [3,4,11].

Мировой рынок СПГ представляет собой целый ряд высокотехнологических объектов, среди которых - заводы по сжижению газа, экспортные терминалы, танкеры метановозы, заводы по регазификации СПГ, резервуарные парки для хранения СПГ, международные и внутренние газотранспортные системы и магистрали. Условно мировой рынок СПГ можно разделить на Европейский рынок, Северо-американский рынок и рынок Азиатско-Тихоокеанского региона. Отдельного внимания заслуживает стремительно развивающийся Российский рынок СПГ и газовые ресурсы России [3,5,12].

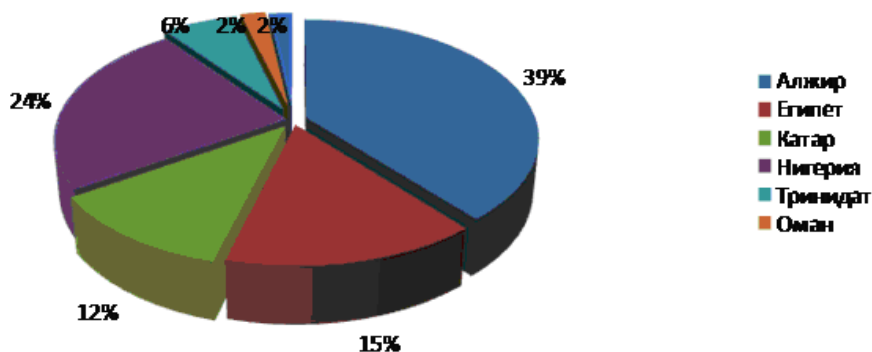


Рис. 1. Мировые поставщики СПГ в Европу

Доля Европейского рынка в общемировом импорте СПГ составляет около 40%, и постоянно будет расти. Рост спроса на СПГ способствует ряд факторов - развитие электроэнергетики в странах Южной Европы, обострение конкуренции и стремление диверсификации поставок СПГ. Рынки стран Средиземноморья превратились в центр торговли СПГ. Крупнейшими потребителями СПГ на Европейском рынке являются Франция, Испания, Бельгия, Италия, Португалия, Турция, Греция и Великобритания [10,12]. Доля потребления СПГ в млрд. м<sup>3</sup> на Европейском рынке представлена на рис. 2.

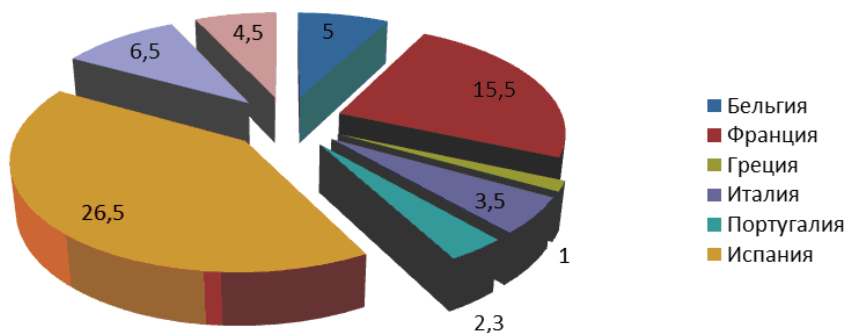


Рис. 2. Доля потребления СПГ на Европейском рынке (млрд. м<sup>3</sup>)

Среди потенциальных потребителей СПГ на Европейском рынке следует назвать Германию, Чехию, Хорватию, Румынию и Украину.

Североамериканский рынок СПГ остается относительно небольшим. Основные поставщики СПГ в США ближневосточные страны Алжир, Египет, Нигерия, Тринидад и Тобаго. Общая доля потребления СПГ в США с 2010 года по 2013 год выросла с 45 млн.

тонн до 50 млн. тонн и составила 10% мирового импорта. Собственная добыча газа в США не покрывает потребности страны и требует ежегодного увеличения импорта. Доля потребления СПГ в млн. тонн на Североамериканском рынке представлена на рис. 3.

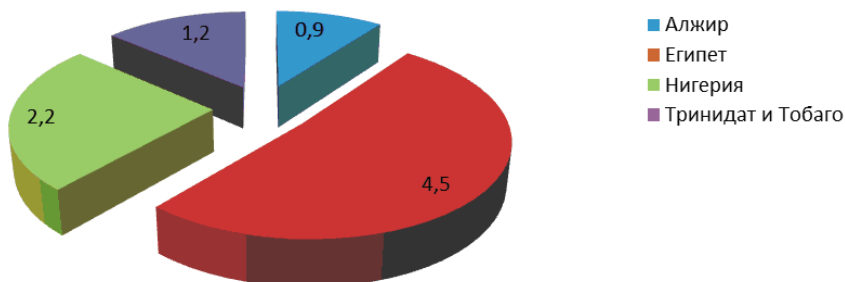


Рис. 3. Доля потребления СПГ на Североамериканском рынке (млн. тонн)

В настоящее время спроектировано и реализуется 45 новых проектов по строительству приемных терминалов для восточного и западного побережья США. Общая производительность проектных терминалов СПГ составляет около 180 млн. тонн в год [4,5,10,12].

Крупнейшим потребителем на рынке Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), являются Япония, Южная Корея и Тайвань. На рис. 4 представлена диаграмма потребления СПГ в Азиатско-Тихоокеанском регионе, где Япония потребляет более половины суммарного импорта СПГ.

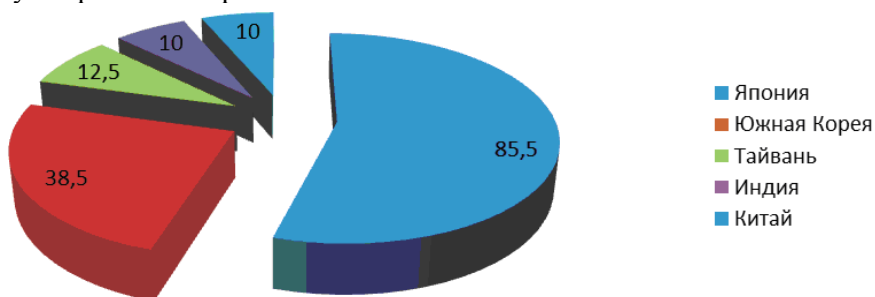


Рис. 4. Доля потребления СПГ на Азиатско-Тихоокеанском рынке (млн. тонн)

Рынок АТР является одним из самых перспективных и быстро развивающихся. Население Центральной и Восточной Азии составляет более 60% от общей численности мирового населения. Наибо-

лее новыми потребителями СПГ на Азиатском рынке являются Индия, Китай, Таиланд, Филиппины и Пакистан [10,12].

Эксперты оценивают мировые запасы природного газа в 144 трлн. м<sup>3</sup>. В России сосредоточено порядка 1/3 мировых разведанных запасов ПГ. Основные запасы ПГ России сосредоточены в крупнейших месторождениях: Уренгойское, Медвежье, Ямбургское, Заполярное, Надым, Новопортовское, Крузенштерновское, Арктическое, Бованенковское и др. Огромные запасы ПГ находятся: в Поволжье (Астраханское месторождение), на Урале (Оренбургское месторождение) в Северокавказском регионе (Ленинградское и Староминское месторождения), в Краснодарском крае, в Республике Адыгея (Майкопское и Северо-Ставропольское месторождения), в Восточно-Сибирском (Марковское, Пилягинское, Криволюкское и др) и Дальневосточном (Усть-Вилуйское) регионах. Перспективными разведанными месторождениями являются регионы Восточной Сибири, Ямала и Арктического шельфа России [4,5,10,12].

В настоящее время в России на о. Сахалин реализован проект «Сахалин - 2», терминал по сжижению ПГ и морской терминал для его экспорта.

Комплекс СПГ, представляет собой состав сооружений, в которые входят две технологические линии производительностью по 4,8 млн. тонн СПГ в год. Резервуарный парк объемом 200000,0 м<sup>3</sup> СПГ, состоящий из двух резервуаров объемом по 100000,0 м<sup>3</sup> СПГ. Причал длиной 850,0 метров, с возможностью приема танкеров от 18000,0 м<sup>3</sup> СПГ до 145000,0 м<sup>3</sup> СПГ и проходной осадкой судов метановозов не более 25 метров. «Сахалин - 2» самый крупный проект, реализован на основе иностранных инвестиций. Производительность завода СПГ составляет 9,6 млн. тонн в год. Обеспечивают работу завода и терминала два разработанных месторождения: Пильтун-Астохское (в основном нефть) и Лунское (преимущественно газ). Суммарные промышленные запасы углеводородов этих месторождений составляют более 500 млрд. м<sup>3</sup> ПГ в год [12].

На этом Россия не ограничилась и в настоящее время реализует ряд других проектов, среди которых: проект по строительству СПГ завода и терминала в Финском заливе для экспорта газа Северо - Европейского газопровода; проект по строительству СПГ завода и терминала в Баренцевом море для экспорта газа из Штокмановского месторождения; проект по строительству СПГ завода и терминала на п-ове Ямал для экспорта газа из Харасовейского месторождения;

строительство СПГ терминала в Архангельске для экспорта западносибирского газа, который будет поступать по Ньюсеница – Архангельскому газопроводу; проект по строительству СПГ завода и терминала в Финском заливе в районе г. Приморска; проект по строительству СПГ завода и терминала в Приморском крае г. Владивосток; проект строительства СПГ завода и терминала в свободной экономической зоне Калининградской области [4,5,12].

В последнее время, США и страны Европы наращивают число СПГ терминалов, это объясняется высокими темпами потребления СПГ в этих странах. В США прием СПГ осуществляют восемь терминалов суммарной мощностью 36,5 млн. тонн и выше.

Рассматривается еще 25 новых, проектных терминала на восточном и западном побережьях США. Общая производительность приемных терминалов составит порядка 190 – 195 млн. тонн СПГ в год. Из действующей инфраструктуры США по импорту/экспорту СПГ, действующие терминалы расположены возле г. Кенау штат Аляска, который введен в строй в 1969 году. Производительность терминала составляет 1,5 млн. тонн в год. Состав сооружений терминала представляет собой: резервуарный парк объемом 80700,0 м<sup>3</sup> СПГ и состоит из трех резервуаров объемом по 26900,0 м<sup>3</sup> СПГ; одной причальной стенки для приема танкеров метановозов грузоподъемностью до 90000,0 м<sup>3</sup> СПГ [5,10].

Рейдовый терминал «Gulf Gateway», расположен в Мексиканском заливе. Терминал представляет собой специализированный буй, который соединен с подвижными подводным и надводным трубопроводами. Резервуарный парк отсутствует. Процесс регазификации происходит на специализированных судах, способных одновременно, и перевозить СПГ. Производительность терминала порядка 3,4 млн. тонн СПГ в год. Вместимость такого типа судов 138000,0 м<sup>3</sup> СПГ [5,10].

Рейдовый терминал «Pelikan» также расположен в оффшорной зоне Мексиканского залива. Терминал построен на двух искусственных островах, образующих платформу. Размер платформ 150x64x45 метров, выступающих над поверхностью воды около 20 метров. Производительность терминала от 4,8 млн. тонн СПГ с возможностью развития до 9,6 млн. тонн СПГ в год. В состав сооружений входят: резервуарный парк объемом 330000,0 м<sup>3</sup> СПГ и причал для приема судов грузоподъемностью до 160000,0 м<sup>3</sup> СПГ. Проходная осадка акватории терминала не более 25 метров [10].

Рейдовый терминал «Compass Port» расположен в одиннадцати милях от острова Dauphin, штат Алабама. Терминал состоит из двух искусственных островов для резервуарного парка, закрепленных на морском дне и двух вспомогательных платформ для размещения погрузочных систем и оборудования. Производительность терминала около 9,8 млн. тонн СПГ в год. Среднесуточная скорость регазификации 1,2 млрд. куб. футов. В состав сооружений входят: два резервуара общей емкостью 300000,0 м<sup>3</sup> (2x150000,0 м<sup>3</sup> СПГ), причал для приема танкеров метановозов грузоподъемностью до 225000,0 м<sup>3</sup> СПГ. проходная осадка акватории терминала с осадкой для судов не более 21 м [10].

Оффшорный терминал «Cabrillo Port», расположен в 14 милях от побережья г. Port Hueneeme, штат Калифорния. В качестве терминала используется танкер, длиной 286 м. и шириной 65 м. Танкер переоборудован для приема и регазификации СПГ с последующей отправкой газа по подводному трубопроводу. Производительность терминала 7,0 млн. тонн СПГ в год. Максимальная суточная производительность 1,5 млрд. куб. футов. В состав сооружений объекта входят: три резервуара общим объемом 273000 м<sup>3</sup>, причал для приема судов грузоподъемностью до 220000,0 м<sup>3</sup> СПГ. Проходная осадка акватории терминала для судов не ограничена [10].

*Выводы.* Диверсификация поставок СПГ странами – импортерами, достигла значительного прогресса в сферах производства, морской транспортировки и использования СПГ в развитии мировой экономики и рынка ПГ. Масштабы международной торговли ПГ позволяют сделать вывод о формировании мирового рынка природного газа, который вместе с мировым рынком нефти стал важным элементом мирового энергетического комплекса. Мировая добыча ПГ и его экспорт свидетельствует о том, что время, когда трубопроводный транспорт был практически единственным средством транспортировки газа, давно прошло, и доля СПГ в мировом экспорте будет только неуклонно расти и развиваться. Стремительное увеличение приемных СПГ терминалов, сооружаемых и намеченных к строительству в странах Европы (Украина, Италия, Великобритания, Испания и др.) и США, объясняется темпами роста потребления СПГ в этих странах.

Развитие инновационных технологий в промышленности позволяют создавать СПГ терминалы не только в виде наземных комплексов, но и на воде, используя для этого газозовы, баржи СПГ, специ-

альные СПГ платформы и СПГ острова. Расположение СПГ терминала и резервуарного парка на баржах имеет целый ряд экономических, технических и технологических преимуществ. Учитывая гидрографические, гидрометеорологические и ледовые условия района базирования СПГ терминала, целесообразно использовать при выборе грузовых цистерн, вкладные сферические танки. Определяющим критерием является надежность и безопасность хранения СПГ. В условиях сжатия объекта льдами, а также вибрации и ударные нагрузки при плавании во льдах, вкладные сферические танки не будут воспринимать деформацию судового корпуса.

Наиболее важными преимуществами этих технологий являются: сокращение сроков сооружения объекта, снижение общей стоимости объекта за счет блочно-комплектных методов строительства, повышение качества строительно-монтажных работ за счет использования оборудования и высококвалифицированного персонала судостроительных заводов, сокращение сроков пуско-наладочных работ, исключение затрат на аренду земельных участков, снижение экологического ущерба и связанных с ним рисков.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Бойко П.А. Условия формирования производственного потенциала судоходной компании. Зб. Экономические инновации / Бойко П.А. - Одесса: ИПРЭИ НАН Украины, 2006. – Вып. – С. 108 – 116.
2. Винников В.В. Экономика морского транспорта / Винников В.В. О.: Феникс, 2011. – 944 с.
3. Совершенствование технологии производства СПГ и опыт применения СПГ на объектах газовой промышленности. – М. ИРЦ Газпром, 2003 г.
4. Современное состояние и перспективы развития производства и реализации СПГ в мире. М.: ИРЦ Газпром, 2004 – 2011г.
5. Касаткин Р.Г., Система морской транспортировки сжиженного природного газа из Арктики / Касаткин Р.Г. М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 104 с.
6. Деточенко Л.В. Сжиженный природный газ как новый фактор в географии мирового энергетического хозяйства / Деточенко Л.В. М.: Олимп – Бизнес, 2000г.
7. Костылев И.И. Морская транспортировка сжиженного газа / Костылев И.И., Овсянников М.К. ГМА им. Макарова, 2009. –304 с.

8. Примачев Н.Т. Методы измерения эффективности морского транспортного комплекса / Примачев Н.Т. Одесса: ИПРиЭЭИ, 2009. – 260 с.
9. Материалы Международных Конвенций ИМО и МОТ.
10. Материалы BP Statistical Review of World Energy 2007 – 2011, 2012.
11. Матеріали науково – технічної конференції «СЕУ: експлуатація та ремонт», 20.03.2013 – 22.03.2013. Частина 1. – Одеса: ОНМА, 2013. – 175 с.
12. Отчет компании «ЛУКОЙЛ» 2010 -2012 год.



УДК 621.431.74

Шакун К.С., Бондарь С.А, Абоleshкин С.Е.  
ОНМА

## МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ЭВОЛЮЦИИ ИЗНОСА СУДОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В общем случае определение показателей текущей функциональной надежности или остаточного ресурса механических систем (в частности судового дизеля) сводится к правильному выбору совокупности соответствующих функций распределения и присущих им параметров. Тем не менее, действующие системы технической эксплуатации (ТЭ) судовых дизелей и обеспечивающих систем, даже при жестком следовании принятой в судоходной компании менеджмента ТЭ в целом часто не позволяют собрать необходимый спектр данных. В связи с этим, разработка методов косвенного оценивания остаточного ресурса судовых дизелей (имеются в виду главные дизели) и корректировка на его базе системы ТЭ, является актуальной задачей. Функциональная надежность, как известно, оценивается потоком отказов, который в свою очередь определяется динамикой износа составляющих критических (по характеру последствий) элементов дизеля.

Пусть рассматриваемый двигатель (дизель) состоит из  $N$  элементарных составляющих, каждая из которых характеризуется соответствующим характерным параметром  $S_j, j = \overline{0, N}$  (Здесь и далее мы по возможности будем придерживаться обозначений и терминологии, использованных в работе [1]). Тогда общее состояние двигателя будет определяться совокупностью параметров  $\{S_j\}$ . При переходе в пространство параметров двигателя его текущее состояние будет соответствовать некоторой точке отображения в этом пространстве, а состояние соответствующего элемента двигателя определяться проекцией радиус-вектора, проведенного к точке отображения на соответствующую степень свободы. Тогда, согласно [2] динамика  $j$ -го параметра данной механической системы может быть отслежена из элементарного соотношения

$$S_j = S_{0j} + v_{0j}t + a_j t^2. \quad (1)$$

Иными словами, изменение параметров двигателя, являющийся следствием износа, отождествляется с равноускоренным дрейфом точки в параметрическом пространстве. В этих терминах работоспособность двигателя сводится к пребыванию точки отображения внутри некоторой области  $D$ ,  $(S_j \in D_j, D_j \in [d_{1j}, d_{2j}])$ , где  $d_{1j}$  и  $d_{2j}$  – это границы допуска для соответствующего параметра двигателя. Выражение (1) из [2] вообще говоря воспроизводит результат полученный ранее в [3, 4] без указания серьезных ограничений ее применимости, что будет рассмотрено ниже.

### **Анализа параметрической надежности двигателя**

Проанализируем выражение (1). Очевидным его достоинством является его простота и физическая прозрачность толкования, входящих в него констант. Скорость  $v_0$  и ускорение  $a$  движения точки отображения к границе области  $D$  отражает стационарный и нестационарный подходы в процесс износа. Однако априорное утверждение о постоянстве ускорения  $a$  вызывает сомнение, т.к. в этом случае мы должны принимать интенсивность нестационарных процессов одинаковой на всем отрезке эволюции системы. Такое утверждение, очевидно, будет справедливо только для относительно малых промежутков времени, например в пределах 4-4.5 тыс часов эксплуатации (для элементов цилиндро-поршневой группы динамика потока отказов в пределах объявленных фирмами полных ресурсов в 30-40 тыс. часов носит некоторый колебательный характер, в зависимости от времени проведения промежуточных расширенных моточисток).

Действительно, в общем случае система состоящая из  $N$  элементов чувствительна к изменению каждого из  $N$  параметров. Предположим, что  $j$ -й элемент механической системы приблизился к пределу допуска. Примером может служить некоторая усталостная деформация элемента, что неизбежно вызовет нештатное перераспределение нагрузок, например, в головных и мотылевых подшипниках с неизбежным увеличением интенсивности износа. В терминах выражения (1) это означает изменение ускорения. При этом поправки к ускорению будут возникать при всяком существенном изменении одного из параметров системы, соответственно это необходимо учесть при оценке вероятности отказа.

Пусть вероятность равноускоренного движения точки отображения к границам области  $D$  определяется функцией  $P(B)$ , где  $B$  – это событие заключающееся в равноускоренном движении точки отображения. Событие  $B$  невозможно без выполнения целой совокупности событий  $\bigcap_{j=1}^N A_j = C$ , где каждое событие  $A_j$  заключается в пребывании  $j$ -го элемента в пределах допуска  $d_{1j} \leq S_j \leq d_{2j}$ . Тогда, очевидно, общая функциональная форма для  $P(B)$  должна описываться выражением вида

$$P(B) = f\left(P(A_j)\right), \quad j = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Функционал в (2) должен содержать в себе комбинации условных вероятностей взаимных отказов составляющих элементов системы. Тогда [5]

$$P(B) = P(C)P(B|C) + [1 - P(C)]P(B|\bar{C}). \quad (3)$$

Или с учетом определения события  $C$

$$P(B) = P(B|C) \left( P\left(\bigcap_{j=1}^N A_j\right) + \frac{P\left(\bigcup_{j=1}^N \bar{A}'_j\right)}{P(B|C)} \right), \quad \bar{A}'_j = \bar{A}_j \cap B. \quad (4)$$

Здесь  $\bar{A}_j$  – событие заключающееся в выходе за пределы допуска  $j$ -й характеристики.

Преобразуя выражение (4) согласно методу изложенному в [7], получим

$$\begin{aligned}
 P(B) = & P(B|C) \left( 1 - \sum_{j=1}^N P(\bar{A}_j) \left( 1 - \frac{P(B|\bar{A}_j)}{P(B|C)} \right) \right) + \\
 & + \sum_{i < j} P(\bar{A}_i \cap \bar{A}_j) \left( 1 - \frac{P(B|\bar{A}_i \cap \bar{A}_j)}{P(B|C)} \right) + \dots, \\
 & \dots + (-1)^{N-1} P\left(\bigcap_{j=1}^N \bar{A}_j\right) \left( 1 - \left( 1 - \frac{P\left(B|\bigcap_{j=1}^N \bar{A}_j\right)}{P(B|C)} \right) \right)
 \end{aligned} \tag{5}$$

где  $P(\bar{A}_j)$  – вероятность выхода  $j$ -го параметра (или характеристики) за пределы допуска,  $P(\bar{A}_i \cap \bar{A}_j)$  – вероятность выхода сразу двух характеристик за пределы допуска,  $P(B|\bar{A}_j)$  – вероятность события  $B$  при условии выхода за пределы допуска  $j$ -й характеристики и т.п.

Выражение (5) строго определяет вероятность сохранения точкой отображения состояния равноускоренного движения, однако следует отметить, что при всей математической строгости выражение (5) имеет малую практическую ценность. Если о функциональной форме распределений еще можно сделать какие-то заключения на основе физической картины износа, то для определения необходимых параметров распределения не существует данных нужной полноты.

### Аппроксимационный анализ параметрической надежности двигателя

В связи с причинами указанными выше оценим эволюцию состояния двигателя на основе выражения (1), однако для учета упомянутых ранее неточностей преобразуем его к виду:

$$S_j = S_{0j} + v_{0j}t + a_j t^2 + \beta_j t^3 + \Delta. \tag{6}$$

Здесь  $\beta$  – имеет смысл быстроты изменения ускорения точки отображения,  $\Delta$  – вклад обусловленный случайными факторами –

ошибкой измерения, нарушением стационарных условий эксплуатации в следствии случайного события и т.п.

Идеальной проверкой адекватности выражения (6) является проведение на его основе регрессионного анализа широкого спектра экспериментальных данных с последующей оценкой статистической значимости каждого коэффициента. Однако с одной стороны все коэффициенты в (6) не являются независимыми величинами, что затрудняет определение значимости отдельного коэффициента, с другой стороны уравнение (6) является полиномом третьего порядка, что сильно снижает точность регрессионного анализа на основе ограниченной выборки [6]. Таким образом стандартные методы не обладают достаточной информативностью, поэтому дальнейшие рассуждения построим на основе следующей гипотезы.

Сформулируем гипотезу в двух главных аспектах. А) Если справедливо выражение (1) ( $\beta$  равно нулю), то при аппроксимации экспериментальных данных уравнением (1) отклонение от эксперимента должно описываться нормальным распределением. Б) Если часть гипотезы (А) неверна, то полиномом (6) адекватно описывает нестационарные процессы износа, что будет отражаться гауссовой природой распределения невязок.

За критерий достоверности гипотезы принимается  $\chi^2$ -критерий

Пирсона [6] 
$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{(\omega_i - p_i)^2}{p_i}$$
, где  $n$  – объем выборки,  $\omega_i$  – относительная частота появления события (в данном случае попадания величины невязки в заданный интервал)  $p_i$  – вероятность того же события рассчитанная по предполагаемой функции распределения.

Если критерий аппроксимации  $\chi_{app}^2 < \chi_c^2$  окажется меньше критического значения при заданном уровне значимости, то гипотезу будем считать верной [6].

Ниже приведена аппроксимация экспериментальных данных износа втулок судового дизеля как функции времени. Как легко заметить из (Рис. 1 б) распределение невязок далеко от нормального. Критерий Пирсона в этом случае  $\chi_{app}^2 = 14.29 \gg \chi_c^2 = 3,33$  ( $\alpha = 0,05$ ) значительно превосходит критическое значение. Здесь  $\alpha$  – уровень значимости

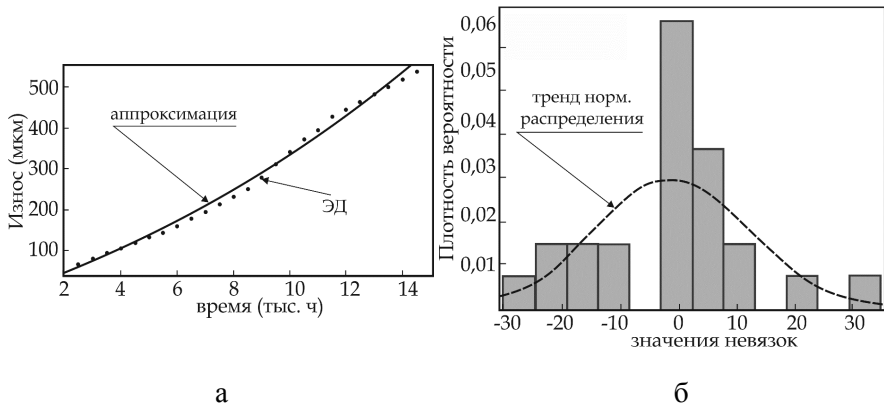


Рис. 1. Аппроксимация динамики износа втулок рабочих цилиндров главных дизелей Vasa 6R32BC квадратичным полиномом (1) (а) и соответствующее распределение невязок (б).

Таким образом, предположение А рассматриваемой гипотезы может быть отвергнуто.

На рис. 2 приведены результаты аппроксимации этих же экспериментальных данных для рассмотренного выше и двух других судов при помощи полинома (б) равно как и их плотности распределения невязок.

Значения критерия Пирсона для каждого из распределений соответственно  $\chi_{app1}^2 = 1,73 < \chi_{c1}^2 = 2,17$  ( $\alpha = 0,05$ );

$$\chi_{app2}^2 = 1,48 < \chi_{c2}^2 = 1,64$$
 ( $\alpha = 0,05$ );

$$\chi_{app3}^2 = 1,81 < \chi_{c3}^2 = 2,17$$
 ( $\alpha = 0,05$ ).

Таким образом во всех рассматриваемых случаях критерий оказался меньше критического значения, что позволяет заключить, что предположение гипотезы Б верно.

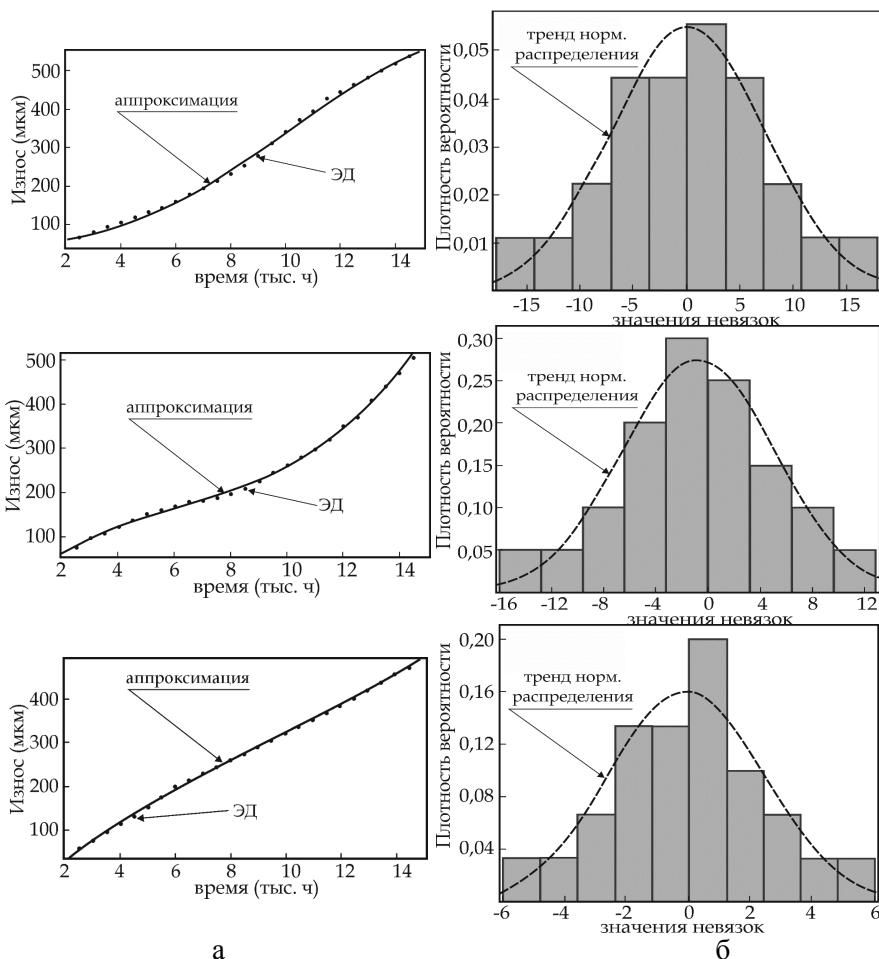


Рис. 2. Аппроксимация динамики износа втулок рабочих цилиндров главных дизелей Vasa 6R32BC полиномом (а) и соответствующая плотность распределения невязок (б).

### Выводы

Результаты, приведенные в статье, с одной стороны показывают, что предположение о равноускоренном движении точки отображения в параметрическом пространстве не выполняется. Более того значительное отклонение распределения невязок квадратичной аппроксимации от Гауссова закона косвенно может указывать на нали-

чие неучтенных корреляций, обуславливающих изменение ускорения (строгое рассмотрение причин корреляций приведено во втором разделе). С другой стороны введение кубического члена учитывает быстроту изменения нестационарных режимов, о чем свидетельствует подчинение нормальному распределению невязок аппроксимации.

Тем не менее следует отметить относительную малость временного интервала экспериментальных данных, а также ограниченность выборки. Известно, что достоверность критерия  $\chi^2$  падает с уменьшением объема выборки. Кроме того, проанализированные данные относятся к судам одного типа (суда типа «Измаил») и идентичность результатов аппроксимации может оказаться результатом конструкционной схожести и идентичности условий эксплуатации, а также единой системы ТЭ, действующей в судоходной компании в рассмотренный период.

В дальнейшем авторами планируется рассмотреть более широкий спектр экспериментальных данных, который в идеале позволит проверить результат на основе строгого соотношения (5)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов О.В. Розенбаум А.Н. Минимаксный подход в задачах параметрического синтеза аналоговых технических систем // Надежность. – №2(6) – 2003 – с. 67-78.
2. Розенбаум А.Н. Никитин А.И. Определение остаточного эксплуатационного ресурса судовых человекомашинных систем // Вестник АГТУ Сер: Морская техника и технология. – №2 – 2009 – С. 39-44.
3. Гинзбург А.З. Оценка надежности деталей судовых дизелей // Судостроение. – №5 – 1971 – С. 65-69.
4. Гинзбург А.З. К обоснованию модели отказа при естественном изнашивании деталей дизеля. Проектирование и техническая эксплуатация СЭУ. И.: Транспорт 1975-385с.
5. Труханов В.М. Надежность технических систем. М.: «Машиностроение» – 2003 – 320 с.
6. Бобік О.І., Берегова Г.І., Копитко Б.І. Теорія ймовірностей і математична статистика. К.: «Професіонал» – 2007 – 558 с.
7. Проников А.С. Надежность машин. М.: «Машиностроение» – 1978 – 592 с.



УДК 656.61.052.484

Репетей В.Д.,  
ОНМА

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЯМИ SAR

Постановка задачи в общем виде. Конечной целью совершенствования управления системой является оптимизация, которая предполагает наличие целевой функции управления  $f(x)$  ограничений по её аргументу  $x$ . Причём, согласно [1], чем больше ограничений наложено на область изменения  $x$ , тем сложнее становится задача оптимизации – тем труднее найти её решение с помощью методов, использующих принципы мини/макса, быстрогодействия, вариационного исчисления и др.[2].

Анализ множества существующих методов оптимизации функций управления системой [1] показывает, что задача отыскания значения аргумента  $x_{\text{опт}}$ , доставляющего минимум (максимум) функции  $f(x)$ , должна быть тем проще, тем уже допустимая область изменения аргумента  $x$ .

Используемые алгоритмы поиска экстремума, построенные по схеме последовательного анализа вариантов с использованием процедур, реализующих отдельный метод оптимизации, направлены на постепенное сжатие множества конкурентоспособных вариантов. В конце концов выполнение процедур приводит к одному или нескольким вариантам, которые непосредственно сравниваются между собой.

Методы оптимизации, основанные на идее последовательного анализа вариантов в большей степени используют природу изучаемых задач. К таким относится задача управления операциями SAR по быстродействию.

Целью настоящей статьи является формирование целевой функции управления операцией SAR, а также поиск ограничений и критериев оптимизации задачи управления.

В задачи исследования входило изучение природы (содержательной) модели решаемой задачи, которой предшествует анализ эффективности проведения операций SAR, а также анализ пределов изменения аргументов целевой функции управления.

Решение. Анализ эффективности проведения операций SAR в Украине осуществлён на основе результатов проведения 14-ти спа-

сательных операций на ЧАБ за период с 2001 по 2010г. Эффективность определялась процентным отношением количества спасённых к количеству пострадавших. Результаты анализа представлены в таблице 1. Средне статическая эффективность SAR составила около 64%: из 233 пострадавших 149 спасено, погибло 84 человека.

Таблица 1. Характеристика наиболее резонансных АП с судами и проведённых SAR на ЧАБ за период 2001÷2010 г.

№ пп	Тип, название судна, флаг, вес и вид груза	Дата, время АП	Характеристика АП	Место АП	Эффективность SAR
1	2	3	4	5	6
1.	т/х «Память Меркурия» (Украина).	26.01.01 19:10	Неправильная загрузка, потеряна остойчивость. Судно затонуло	Чёрное море, в 85 милях к W от п. Севастополь в $\varphi=43^{\circ}47'0N$ , $\lambda=031^{\circ}43'0E$	На борту - 52 чел., погибло - 20. Эффективность SAR составила 61,5%.
2.	т/х «Черноморец» (Укр). Груз 297 т, на верхней палубе -140 т)	04.12.01 21:30	Неправильная загрузка, потеря остойчивости.	Чёрное море, приблизительно в 80 милях к N от Синопа (Турция)	Экипаж 21 чел. Погибло 6 человек. Эффективность SAR 71,4%
3.	т/х «Амира 1» (Тунис). Груз 9180,5 т уголь.	09.01.03 04:10	Смещения груза, потеря остойчивости. Судно затонуло.	В 50 милях к S от м. Сарыч, в $\varphi=43^{\circ}41'0N$ , $\lambda=033^{\circ}02'0E$	Из 24 членов экипажа погибли все. Эффективность SAR 00,0%.
4.	т/х «Odisk» (Сьера-Леоне). Груз 2000 т ферросилиций-75	05.01.07 10:30	Экологическое АП. Химическое отравление на переходе морем.	Чёрное море, рейд п. Ялта.	Экипаж 10 человек. Погибло 2 чел. по неосторожности. Эффективность SAR 80%.
5.	Танкер «Волго-нефть-139» (РФ), груз 4077 т мазута М-100	11.11.07 03:39	Разломился на 2 части в $\varphi=45^{\circ}15'1N$ , $\lambda=036^{\circ}30'2 E$	Якорная стоянка № 451, КЕК в $\varphi=45^{\circ}11'9N$ , $\lambda=036^{\circ}32'0E$	Экипаж 13 чел. спасены. 2000 т. мазута ушло в море. Эффективность SAR 100%

## Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
6.	т/х «Вольно-горск» (РФ) груз 2436 т серы	11.11.07 09:30	Судно затонуло в $\varphi=45^{\circ}11'5N$ , $\lambda=036^{\circ}31'7E$ .	Якорная ст. №471 КЕК в $\varphi=45^{\circ}11'5N$ ; $\lambda=036^{\circ}31'7E$ .	Экипаж 8 человек на спасательных платформах. Жертв нет. Эффективность SAR 100%
7.	т/х «Нахичевань» (РФ), груз 2365 т серы	11.11.07 10:55	Затонул на глубине 8,5 м в $\varphi=45^{\circ}12'8N$ , $\lambda=036^{\circ}33'5E$	Якорная стоянка №471 КЕК в $\varphi=45^{\circ}12'8N$ , $\lambda=036^{\circ}33'5E$	Экипаж 11 чел., погибло 8 человек. Эффективность SAR 27%
8.	Т/х «Ковель» (РФ). Груз 1923 т серы	12.11.07 07:04	Затонул на глубине 8,4 м в $\varphi=45^{\circ}09'2N$ ; $\lambda=036^{\circ}26'6E$	Керченский пролив в $\varphi=45^{\circ}09'2N$ ; $\lambda=036^{\circ}26'6E$	Экипаж 11 человек. Все спасены. Эффективность SAR 100%
9.	т/х «Най Ismail» (Грузия) груз 6502,3 т металла	11.11.07 08:05	Затонул в $\varphi=44^{\circ}35,9' N$ , $\lambda=033^{\circ}22,3' E$	В 9.5 кбт от мыса Херсонес в $\varphi=44^{\circ}35,9' N$ , $\lambda=033^{\circ}22,3' E$	Экипаж 17 человек. вместе с судном погибло 15. Эффективность - 12%
10.	т/х «Vera Voloshina» (Укр) Груз 2106 т сельхозтехника,	11.11.07 10:10	Выброшен на берег в $\varphi=44^{\circ}49,28'N$ , $\lambda=035^{\circ}02,44'E$	Черное море, бухта Судакская в $\varphi=44^{\circ}49,28'N$ , $\lambda=035^{\circ}02,44'E$	Экипаж 19 человек эвакуирован на берег. Жертв нет.
11.	т/х «Vanessa» (Болгария). Груз метал 937,45т, катанка 2007,65 т.	04.01.08 02:15	Обледенение, разрушение корпуса судна, потеря остойчивости.	Азовское море. Судно затонуло в $\varphi=45^{\circ}47'2N$ , $\lambda=036^{\circ}42'0E$	Экипаж 11 человек. Погибло 10, Эффективность SAR 9%.
12.	т/х «Сергий Скадовский» (Укр), груз 3150 т зерно	18.01.08 19:30	Азовское море. В ледовых условиях потеря мореходности.	Судно посажено на мель КЕК в $\varphi=45^{\circ}21'08N$ ; $\lambda=036^{\circ}37'41E$ .	Экипаж 13 чел. эвакуирован Эффективность SAR 100%.

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6
13.	т/х «Roksolana 1» (Белиз), груз 1461 т фумигированных отрубей.	16.03.08 06:40	Хим. отравление экипажа. Судно стало на якорном месте № 393 п. Ялта.	Внешний рейд п. Ялта в расстоянии 1 мили от берега.	Экипаж 11 человек. Погиб 1 человек. Эффективность SAR 100%,
14.	т/х «Vasiliy» (Монголия). Груз 2978,32 т металл.	11.10.10 05:00	Чёрное море. Судно в шторм разломилось на две части и затонуло.	5 миль на S от мыса Киз-Аул в $\varphi=44^{\circ}29,4'N$ , $\lambda=034^{\circ}11,3'E$ .	Экипаж 13 чел. Погибло 4 чел.. Эффективность SAR 69%.

Отличительной особенностью операций SAR в Украине является низкий уровень информированности, упреждённости и аналитической активности координаторов, что ведёт к запоздалым, хаотичным и непродуманным действиям служб первого координационного уровня. Поэтому координация морской системы SAR в Украине должна базироваться на принципах осведомлённости, определённости и ответственности.

Для решения задачи минимизации периода поиска и спасания (SAR) предлагается совершенствование функционирования, структурирования и управления национальной морской системы SAR в Украине. Выполнение этой задачи возможно методом сокращения периода SAR ( $T_{SAR}$ ) к выживаемости пострадавших ( $T_{ж}$ ) при аварийных происшествиях на море (АП) (рис. 1).

Целевая функция управления процессом операции SAR определена следующим образом:

$$T_{SAR} = \sum_{i=1}^n T_i \quad (1)$$

где  $T_i$  - период  $i$ -го этапа операции SAR, часы;  $n$  - количество этапов, ед.

Так,  $T_1$  - период поступления сигнала о бедствии с места аварийного происшествия (АП) на главный спасательно-координационный центр (СКЦ) ( $T_1 \in [1,0, 1,5]$ ), ч;  $T_2$  - период подготовки спасательных судов (самолетов/вертолетов) и их команд к операции SAR ( $T_2 \in [0,5, 0,7]$ ), ч.;  $T_3 = S_p / V_{PC}$ ;  $T_4$  - период группового поиска пострадавших, ч;  $T_5$  - период спасания пострадавших, ч;  $T_6$  - период предоставления спасенным экстренной медицинской помощи, ч;  $T_7 = S_y / V_{PC}$ , ч, а  $n = 7$  (рис. 1).

Критерием оптимальности определен период выживания пострадавших или оказания необходимой медицинской помощи  $T_{Ж} \in [T_{Ж\min} T_{Ж\max}]$ , ч.

Минимальный период  $T_{Ж\min}$  определяется сроком выживания пострадавших без специальных защитных костюмов в воде,

$$T_{Ж\min} = \begin{cases} 0,133 & 1,147^{t_{в}} \text{ при } t_{в} \leq 15^{\circ}\text{C} \\ 0,13354 & 1,126^{t_{в}} \text{ при } t_{в} > 15^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (2)$$

Зависимость (2) получена путем аппроксимации гигиенических данных из руководящих и нормативных документов.

Военные спасатели, согласно Инструкции по спасению личного состава, плавающего в воде терпящих бедствие кораблей и самолетов (1972), разделяют пострадавших после спасания на три группы: самостоятельно и сознательно двигающихся; в сознании, но двигающихся; без сознания и в шоковом состоянии.

Известно, что  $T_{Ж}$  увеличивается при нахождении пострадавших в защитных термогидрокостюмах, спасательных шлюпках, плотках, жилетах или грудах.

Максимальное значение ( $T_{Ж\max} \rightarrow \infty$ ) для пострадавших наступает, когда они не отравлены, не травмированы и находятся в теплой сухой одежде).

Главным условием эффективного управления операцией SAR является соблюдение следующей неравенства:

$$T'_{SAR} \ll T_{Ж} \quad (3),$$

где  $T'_{SAR} = \sum_1^6 T_i$

Быстродействие морской операции SAR обеспечивается сокращением ее периода до минимально неизбежного методами приближения и концентрацией сил и средств спасания к местам укрытия и месту АП для группового поиска при маневрировании в районе АП и искусством действия поисково-спасательных команд (ПСК).

Вместе с тем проблематичным остаётся сокращение периода  $T_1$ , который зависит от частоты вращения спутников связи вокруг Земли, а также  $T_2$  и  $T_7$ , которые зависят не только от  $S_{ж}$  и  $V_{PC}$ , но и от состояния ионосферы и водной поверхности, высоты борта спасательных судов и видимости в районе поиска.

Частично значение  $T_1$  можно уменьшить введением в действие системы обязательных судовых сообщений в момент входа судов в морскую зону ответственности Украины. Сокращение других составляющих выражения (1) связано с необходимостью налаживания систематической многовекторной подготовкой персонала ПСК, которая характерна для индивидуального, а не для массового обучения, характерного для высших морских учебных заведений.

Выполнение условий неравенства (2) требует увеличения величины  $T_{ж}$ , которое координируется на уровне координатора на месте АП в зависимости от масштаба трагедии, возможности применения воздушных сил, ресурсов и средств SAR, а также умения пострадавших применить средства SAR для выживания.

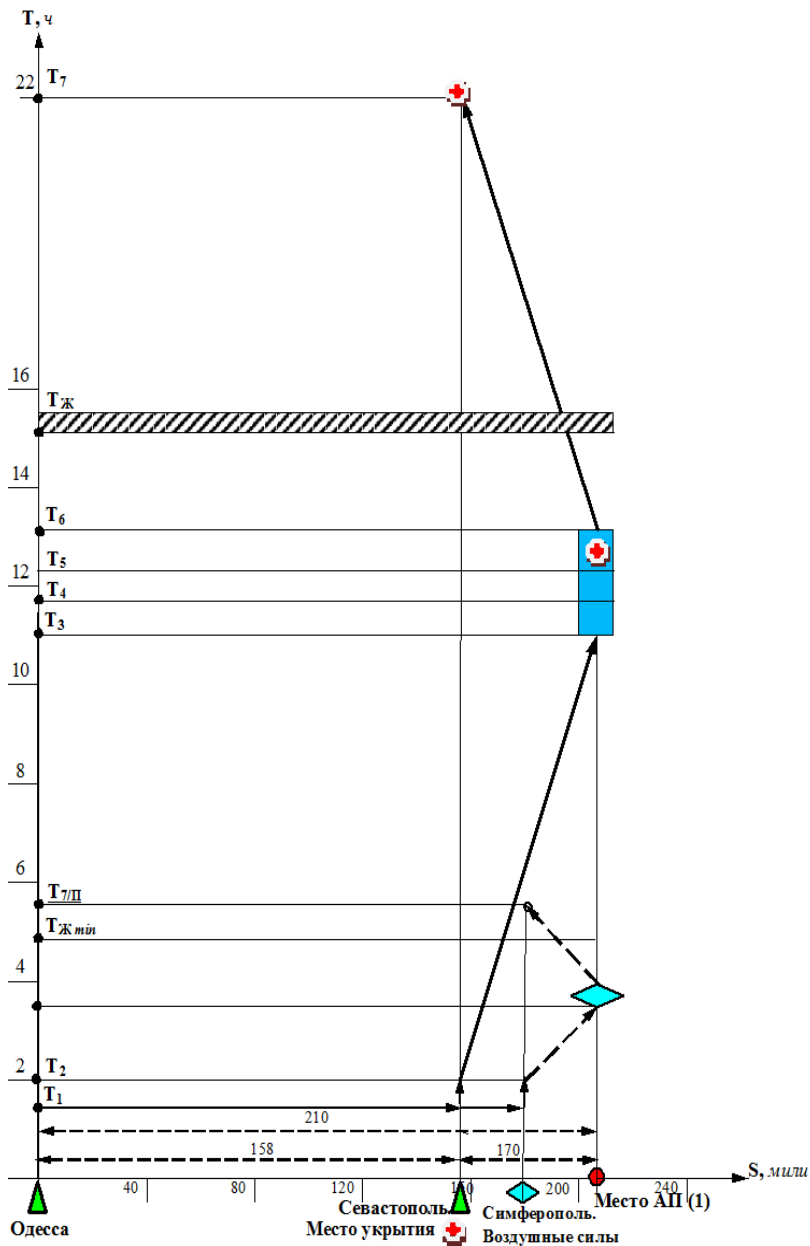


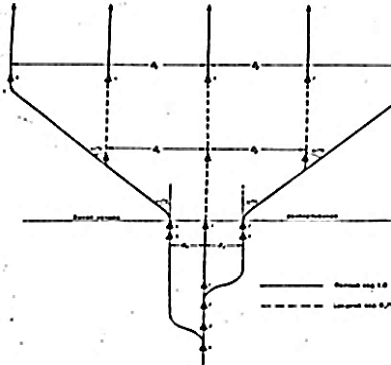
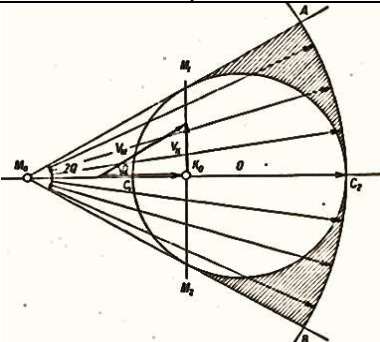
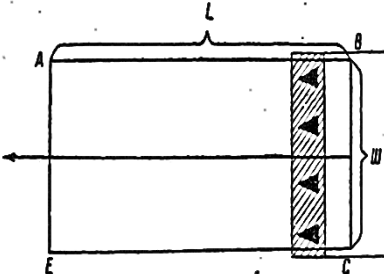
Рис. 1. Этапы операции SAR

Для уменьшения  $T_4$  - периода группового поиска пострадавших, предлагается использовать манёвры группового поиска приведённые в таблице 2.

Таблица 2. Способы эффективного маневрирования групповым поиском пострадавших

№ п. п	Способ маневрирования	Факторы успешного поиска	Графическое изображение способа маневрирования
1	На постоянном курсе	Узкая полоса поиска. Незначительная дальность. Направленность дрейфа или движения пострадавших.	
2	Переменными курсами	Широкий диапазон курсов движения пострадавших. Курс и скорость дрейфа или движения пострадавших постоянные.	



3	Параллельными курсами - «занавес»	Широкая полоса вероятного движения пострадавших. Большое количество спасательных судов.	
4	«Веер»	Движение пострадавших в разных направлениях. Быстроходные спасательные суда.	
5	Обследование района	Ширина района обследования превышает дальность обнаружения пострадавших.	

## Выводы

1. Для проведения операций SAR в зоне ответственности Украины требуется высокоскоростной поисково-спасательный флот (тримараны) оборудованный мощными двигателями способными развивать скорость хода до 60 узлов в условиях волнения.
2. Поисково-спасательные суда должны обладать высокой маневренностью, используя двигатели кругового разворота на месте.
3. В период поиска потерпевших спасательным судам использовать методы группового маневрирования.

4. Результаты исследования планируется использовать при разработке концепции национальной морской системы SAR.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Моисеев Н.Н. Методы оптимизации // Н.Н. Моисеев, Ю.П. Иванилов, Е.М. Столярова. – М. : Наука, 1978. – 352 С.
2. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов //Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. – М. : Гос.изд-во физ-мат. литер., 1961. – 391 С.

## РЕФЕРАТЫ

УДК 656.61.052.

*Тарасенко Т.В.* Повышение энергоэффективности судов с ВРШ при эксплуатации на коротких морских линиях. // Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.-2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С5-11.

Рассмотрен расчет конструктивного коэффициента энергетической эффективности и предложен подход к определению операционного коэффициента энергетической эффективности с учетом эксплуатации судна в условиях нерегулярного морского волнения различной интенсивности при определении фактора волнения через соотношение фактического и базового удельного эффективного расхода топлива.

Табл. 2. Библ. 6

*Тарасенко Т.В.* Підвищення енергоефективності суден з ГРК на коротких морських лініях.

Розглянуто розрахунок конструктивного коефіцієнту енергетичної ефективності та запропоновано підхід до визначення операційного коефіцієнту економічної ефективності з урахуванням експлуатації судна в умовах нерегулярного морського хвилювання різної інтенсивності під час визначення фактору хвилювання як співвідношення фактичної та базової питомої ефективної витрати палива.

Табл. 2. Бібл. 6.

*Tarasenko T.V.* Improving energy efficiency of ships with CPP on short sea routes.

Considered the calculation of the coefficient of constructive energy efficiency and an approach to the definition of an operating ratio of energy efficiency with the operation of the vessel in an irregular sea waves by varying the intensity of the excitement factor in determining a ratio of actual to base specific fuel consumption.

Tabl. 2. Bibl. 6

УДК 629.12.565.3

*Журавлёв Ю.И.* Методика моделирования повышения показателей надежности сопряжений деталей «вал-подшипник скольжения». // Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.-2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С29-33.

Рассмотрена модель, предназначенная для оценки повышения показателей надежности сопряжений «вал-подшипник скольжения», наработки на отказ которых описываются пятью наиболее распространенными законами: нормальным, логарифмически нормальным, экспоненциальным, Эрланга и Вейбулла.

*Zhuravlev I.* Modeling Method for increasing the reliability indices parts so «shaft-bearing».

We consider a model designed to evaluate the performance improvement of reliability mates «shaft-bearing», the MTBF which describes the five most common laws: normal, log-normal, exponential, erlang and Weibull distribution.

УДК 621.431.74

*Половинка Э.М., Мартынов С.В., Ткач Ю.И.* Исследование скоростной характеристики гибридной системы впрыскивания топлива судового среднеоборотного дизеля. // Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.- 2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С34-40.

Представлены результаты исследования гидродинамики впрыскивания комбинированной системой топливоподачи. Показано изменение характеристик впрыскивания при изменении частоты вращения распределительного вала.

Илл. 3. Список лит. 2.

*Polovinka A.M., Martinov S.V., Tkach Y.I.* Research of the high-speed Characteristics of marine middle speed diesel hybrid fuel injection System // Ship power plants: Sc.- Tech. Col.-2013.- №32 - Odessa: ONMA.- P34-40.

The results of research of the Injection Hydrodynamics by the combined fuel injection system are submitted. The change of the injection Characteristics is shown at Change of Frequency of Rotation of the Camshaft.

Fig. 3. Bibl.. 2.

УДК 621.431.74

*Половинка Э.М., Яковенко А.Ю.* Разработка и исследование комбинированного датчика давления топлива // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 32. – Одесса: ОНМА. –С41-49.

В статье представлены результаты разработки и сравнительных экспериментальных исследований комбинированного датчика давления топлива в ТНВД.

*Polovinka E.M., Yakovenko A.Yu.* Creation and research of the combined fuel pressure transducer // Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col. – 2013. – № 32. – Odessa: ONMA. –P41-49.

In the article the outcomes of creation and comparative experimental researches of the combined fuel pressure transducer I in HPFP are submitted.

УДК 662.75:621.436

*Половинка Э.М., Албул Д.А.* Характеристики топливо-воздушных смесей в качестве рабочего тела для систем топливоподачи судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2013. – № 32. – Одесса: ОНМА. –С50-58.

В статье рассмотрено изменение транспортных свойств топливо – воздушной смеси при различных её характеристиках и условиях применения.

*Polovinka E.M., Albul D.A.* Fuel-air mixture characteristics as a ship's diesel engines fuel systems working agent. // *Ship Power Plants: Sc.-Tech. Col.* – 2013. – № 32. – Одесса: ONMA. –P50-58.

In article showed fuel-air mixture movement properties depending on its characteristics and application conditions.

УДК 616.07:004.032.26

*Шевченко О.И.* Использование искусственных нейронных сетей для диагностики заболеваний// *Судовые энергетические установки: науч.- техн. сб.* – 2013. – № 32. – Одесса: ОНМА. –С66-69.

Предложен и описан принцип обучения нейронных сетей с помощью использования пакета Statistica Neural Networks с целью создания индивидуализированных схем профилактики заболеваний на судах.

Библ. 4

«The use of artificial neural networks for the diagnosis of diseases»

We propose and describe the principle of training neural networks by using the package Statistica Neural Networks in order to create individualized disease prevention schemes on ships.

Bibl. 4

УДК 614.8

*Шевченко О.И.* Прогнозування ризику ускладнень травмування внутрішніх органів // *Судовые энергетические установки: науч.- техн. сб.* – 2013. – № 32. – Одесса: ОНМА. –С70-73.

В работе разработан алгоритм и создана математическая модель прогнозирования послеоперационных гнойно-септических осложнений оперативной инвазии методом пошагового дискриминантного анализа. Данный метод даёт возможность заранее определить вероятность возникновения гнойно-септических осложнений, позволяет в каждом конкретном случае оценить степень развития этой патологии и своевременно провести профилактические мероприятия.

Разработанная прогностическая система характеризуется достаточно высокой чувствительностью и точностью.

Библ. 3

*Shevchenko O.I.* Prediction of risk of injury to internal organs complications

In this paper an algorithm and a mathematical model predicting postoperative septic complications rapid invasion by stepwise discriminant analysis. This method makes it possible to determine in advance the probability of occurrence

of septic complications can in each case to assess the development of this pathology and in a timely manner to carry out preventive measures. A predictive system is characterized by a sufficiently high sensitivity and accuracy.

Bibl. 3

УДК 621.431.7

*Слободянюк Д.И.* Диагностическая модель работоспособности поршневого кольца судового двигателя при реализации анизотропных свойств смазывающих материалов. // Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.-2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С83-92.

Представлены результаты виброакустической диагностики технического состояния поршневого кольца при прохождении продувочных окон цилиндров МОД. Установлены частотные интервалы, соответствующие разным состояниям колец, которые положены в основу диагностической модели идентификации состояния работоспособности поршневого кольца.

Ключевые слова: акустический сигнал, частота, анизотропия, цилиндрическое масло, кольцо, втулка, дизель.

*Slobodyanyuk D.I.* Diagnostic model of health of the piston ring ship's engine when the implementation of the anisotropic properties lubricating materials Presents the results of vibroacoustical diagnostics of a technical condition of piston rings in passing the inlet ports cylinder MOD. Set frequency intervals corresponding to different States of the rings, which are the basis of diagnostic model identify the health status of the piston rings.

Key words: acoustic signal, frequency, anisotropy, oil ring, sleeve, diesel.

УДК 331.4(075.8)

*Парменова Д.Г.* Повышение эффективности подготовки моряков по вопросам безопасности труда// Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.- 2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С93-96.

энергетические установки: научн.- техн. сб. – 2013.

Рассмотрены причины производственного травматизма и определены пути повышения эффективности подготовки будущих офицеров по вопросам охраны труда.

Библ. 3

*Parmenova D.G.* Improving the efficiency of training of seafarers on safety.

The causes of occupational injuries and identified ways to improve the training of officers on safety.

Bibl. 3

УДК 004.942:004.031.043

*Приходько Е.А.* Применение «Теории катастроф» для построения базисной модели мониторинга динамических систем// Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.-2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С97-100.

Рассмотрены возможности применения теории катастроф для формирования методологической базы, позволяющей решать сложные задачи в современных исследованиях сложных динамических физических систем.

Библ. 4

«The use of "catastrophe theory" to build a basic model for monitoring dynamic systems»

Possible applications of catastrophe theory for the formation of a methodological framework to solve complex problems in modern studies of complex dynamic physical systems.

Bibl. 4

УДК: 621.431.74-611

*В.В. Добровольский, В.Г. Солодовников.* Энергетическая эффективность топливных систем современных транспортных судов работающих на высоковязких сортах тяжелых топлив вязкостью 380 мм<sup>2</sup>/с и выше. // Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.-2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С101-112.

У роботі визначені енергетичні витрати і зроблена їх мінімізація на підготовку важкого палива RMG 380 в'язкістю 380 мм<sup>2</sup> / с в паливній системі контейнеровоза E. R. Hamburg, дедвейтом 26125 т, з головною силовою установкою MAN B & W 7S70MC при навантаженні головного двигуна 46% від номінальної.

В работе определены энергетические затраты и произведена их минимизация на подготовку тяжелого топлива RMG 380 вязкостью 380 мм<sup>2</sup>/с в топливной системе контейнеровоза E. R. Hamburg, дедвейтом 26125 т, с главной силовой установкой MAN B&W 7S70MC при нагрузке главного двигателя 46 % от номинальной.

It was determined the energy costs and performed the minimization of preparing heavy fuel oil with viscosity 180-700 mm<sup>2</sup>/sec in the fuel system of ship low speed engine MAN B&W 7S70MC, with deadweight 26125 t.

Ключевые слова. Энергетическая эффективность, энергетические затраты, тяжелое топливо, топливная система, диэлектрическая спектроскопия.

*Приходько Е.А.* Аспекты применения риск-менеджмента в условиях повышенной опасности// Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.-2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С124-128.

Рассмотрена организация и управление трудовой деятельностью на морских судах в условиях повышенной опасности с помощью применения риск-менеджмента в соответствии с требованиями стандартов, предъявляемыми к предприятиям, по внедрению системы менеджмента риска.

Библ. 3

«Aspects of risk management in high-risk environments»

Consider the organization and management of employment on ships in high-risk environments through the use of risk management in accordance with the standards imposed on the companies, to introduce a system of risk management.

Bibl. 3

УДК 621.431.74.436-52(07)

*Донской В. Г.* Эффективность системы контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок// Судовые энергетические установки: научн.- техн. сб.-2013.- № 32. – Одесса: ОНМА.- С141-143.

Рассмотрены эффективность и необходимость применения разветвленных систем контроля, защиты и резервирования судовых энергетических установок. Математически показано, что экономический эффект достигается посредством перевода катастрофических отказов оборудования в параметрические, то есть отказы-остановки.

Библиография: 0 названий.

Розглянуті ефективність та необхідність застосування розгалужених систем контролю, захисту та резервування. Математично показано, що економічний ефект досягається засобом переводу катастрофічних відмов обладнання в параметричні, тобто відмови-зупинки.

Бібліографія: 0 назв.

Examined the effectiveness and the need an extensive system of protection and redundancy control of ship power plants. Mathematically shown, that the economic effect is achieved by transferring the catastrophically equipment failure in parametric, that is parametric failures-stop.

Bibliography: 0 titles.

УДК 551.501.81.621.396.96

*Гуденко С.Ю., Заичко С.И.* Оценка степени влияния естественных помех на радиолокационное обнаружение объектов.



В статье рассмотрен алгоритм оценки степени влияния естественных помех на радиолокационное обнаружение объектов судовыми радиолокаторами. Литература – 9 источников, иллюстраций нет.

УДК 621

*Горюк А.А., Кузнецова А.А., Михайленко В.И.* Механизм ослабления лазерного луча в льяльных водах.

Ключевые слова: лазерный луч, нефтеводная эмульсия, рассеяние и поглощение света.

Исследован механизм ослабления лазерного луча в льяльных водах. При низких концентрациях преобладает поглощение, а при более высоких – рассеяние света.

УДК 621.12.04.231.16

*Бойко П.А., ОНМА* Современное состояние и перспективы морских перевозок природного газа в Украину

В настоящей статье рассматриваются вопросы, связанные с состоянием и развитием топливно-энергетического комплекса мирового рынка СПГ, в котором Украина, используя опыт действующих и перспективных проектов, включается в мировой энергетический комплекс, реализацией национального проекта по эксплуатации рейдового терминала и строительству наземного завода регазификации СПГ. Главной целью проекта, является снижение социальной напряженности, энергетической зависимости страны и создание гарантированно безопасных форм и механизмов инвестиционного регулирования в области торгового судоходства.

Илл. 4. Библ. 12.

УДК 621.12.04.231.16

*Boyko P.A., ONMA* The modern condition and prospects of marine transportations of natural gas to Ukraine.

Questions, related to the condition and development of fuel-energy complex of the LNG world market in which Ukraine, using experience of existing and perspective projects joins to a world energy complex by the use of realization of national project on exploitation of roadstead terminal and building of terrestrial factory of re-gasification LNG, are examined in the real article. The main objective of the project is lowering of social tension due to the country's energy dependence and creation assuredly safe forms and conveniences of the investment adjusting in the sphere of merchant marine navigation.

Fig. 4. Bibl. 12.

УДК 621.431.74

*Шакун К.С., Бондарь С.А., Аболешкин С.Е.* Модернизированный подход к описанию эволюции износа судовых механических систем.

В статье рассмотрены косвенные методы определения надежности и остаточного ресурса двигателя с использованием математической теории вероятностей.

Ил. 2. Библ. 7.

УДК 656.61.052.484

*Ренетей В.Д.* Совершенствование организации управления операциями SAR

В статье излагаются результаты анализа эффективности управления морскими поисково-спасательными операциями на Черноморско-Азовском бассейне по отношению числа спасённых к числу потерпевших. Обоснована целевая функция управления операцией SAR по быстродействию. Приведён анализ аргументов целевой функции в порядке проведения поиска и спасания.

In the article the results of analysis efficiency management of marine search and rescue operations in the Black Sea-Azov basin in relation to the number of number of rescued victims. Substantiated objective function SAR operation control on speed. The analysis of arguments of the objective function in the manner of the search and rescue.

### Правила

оформления и представления рукописей для сборника «Судовые энергетические установки»

Научно-технический сборник Одесской национальной морской академии «Судовые энергетические установки» является научным изданием, в котором в соответствии с постановлением Президиума ВАК Украины могут публиковаться основные результаты диссертационных работ по профилю судовой энергетики.

Рукопись представляется на электронном носителе в формате «Microsoft Word» с бумажной копией, подписанной всеми авторами, и с контактной информацией: адреса, телефоны. К статье обязательно прилагается реферат объёмом *не более* 300 печатных знаков на русском и английском языках. Объём статьи — до 0,5 авторского листа с учётом иллюстраций и подрисовочных подписей.

Статья должна содержать постановку проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами, анализ последних исследований и публикаций по теме статьи, формулирование целей статьи (постановку задачи), изложение основного материала с необходимыми обоснованиями, выводы и перспективы дальнейших исследований.

Требования к оформлению.

Формат бумаги А5 (148×210) Все поля — 16 мм. Текст- через 1 интервал, *Times New Roman*, 11 пт; таблицы, заголовки таблиц, подрисовочные подписи — 10 пт.

Переменные, функции, векторы, матрицы и т.п. оформляются шрифтом *Antiqua*. Переменные выполняются наклонным шрифтом, векторы — полужирным, без наклона; греческие символы — во всех случаях без наклона; индексы: латинские — с наклоном, кириллические — без наклона. Размеры в *Equation (MathType)*: основной — 11 пт, увеличенный — 16,5 пт, индекс — 7 пт, субиндекс — 6 пт. Во всех случаях разметка формул в копии рукописи обязательна. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте. Формулы отделяются от текста строками высотой 2 пт.

Таблицы следует располагать на одной странице (кроме случаев, когда таблица занимает больше 1 страницы). Заголовок — 10 пт, без переноса, интервал перед — 8 пт, после — 2 пт, основной шрифт таблицы — 10 пт. Рисунки отделяются от текста сверху интервалом 8 пт, от названия — 2 пт. Название рисунка — кегль 10 пт, без переноса, интервал после — 8 пт. На все таблицы и рисунки должны быть ссылки в тексте статьи.

Единицы физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417-81 «Единицы физических величин» и иметь общепринятые обозначения.

Перед названием статьи указываются индекс УДК, фамилии и инициалы авторов, сокращённые наименования учреждений, где работают авторы. Заголовок статьи оформлять стилем Заголовок 1, кегль 11 пт, без переноса, все прописные, интервал: перед — 8 пт, после — 2 пт.

Иллюстрации, подготовленные в графических редакторах, дополнительно прилагаются на CD (DVD) диске в качестве отдельных файлов в исходном формате. Размер надписей должен обеспечивать их читаемость (8-10 пт). Для сканированных рисунков прилагается оригинал в туши на белой бумаге достаточной плотности. На обороте указывается номер и принадлежность к статье.

Библиографические описания должны соответствовать требованиям ВАК.

Редакция предоставляет электронный шаблон статьи с примерами оформления.

Контактные телефоны редакции (048) 733-49-24, 733-23-52.

e-mail: zhuravlov.y@ua.ru

Судовые энергетические установки:  
научно-технический сборник.  
Выпуск 32.

Подписано к печати 30.11.2013. Формат 60×84/16.  
Уч.-изд. л. 9,89. Тираж 100. Зак. № И12-12 52.

ОНМА, центр „Видавінформ”  
Свидетельство ДК № 1292 от 20.03.2003  
65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8  
тел./факс: (0482) 34-14-12  
[publish@ma.odessa.ua](mailto:publish@ma.odessa.ua)