

Юлиян В. Москов, ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", Варна

FLEX PROGRAM PACK TO SIMULATE A VIRTUAL ENGINE ROOM FOR DIAGNOSTICS AND EDUCATION

Julian V. Moskov, Naval Academy „N. Y. Vaptsarov“, Varna

Abstract: *This paper include an algorithm of complex simulator and its building in trainee complex. The Pack shows an engine room by two channels. Mathematic models are parallel and working on time. The software working on FLASH and DELPHI system, but many of models work on DELPHI. This way is light for resorts. The study shows the necessity of building an adaptive mathematical model at system level of a marine diesel engine, its implementation in a simulator complex and its use for training marine engineers.*

Key words: *sdiesel engine, mathematical model, simulator, operation system, program pack.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

През последното десетилетие в световния флот се наблюдава силно развитие, довело до създаването на много сложни корабни енергетични уредби снабдени с модерни технически средства за управление, контрол и диагностика. Грешки, дължащи се на работата на човека обаче, все още биват допускани. Експлоатационните аварии и лошата комуникация могат лесно да причинят тежки инциденти и големи повреди свързани със значителни икономически последици за компанията-собственик.

С влизането в сила на Международните правила за безопасна експлоатация (International Safety Management code), отговорността за нивото на професионалните умения на членовете на екипажа, сега се поема и от корабособственика. Секция 6.5 от правилата регламентира задължението да се вземат мерки за определяне уменията и установи каква допълнителна подготовка е нужна за изпълнение на правилата за безопасна експлоатация. Тя определя обема на тази подготовка за всички членове на екипажа.

Предизвикателството пред корабните компании, морските учебни заведения и тренировъчните центрове е да бъдат открити начини за осъществяване на такава подготовка и оценка. За съжаление високата цена на оборудването, разходите по пребиваването на обучаеми на борда на действащи кораби, както и риска от осъществяване на екстремни и аварийни режими при реални експлоатационни условия ограничават възможността цялата необходима подготовка да се извърши на борда на съответните плавателни съдове. Това налага търсенето да продължи в друга насока. Развитието на компютърните технологии в последните години осигурява един ефективен и евтин начин за повишаване компетентността на морските лица чрез използване на компютърни симулатори [2]. Подготовката на корабните механици с тренажор е метод доказал ефективността си през последните години, особено що се отнася до грешки в преценката, които могат да застрашат човешкия живот, околната среда и плавателния съд [3]. Един универсален компютърен тренажор от ново

поколение, работещ с динамичен модел в реално време може да събере десетки години експертен опит в неколкоседмично обучение и да осигури способност за справяне с такива ситуации. Неговия комплексен математичен модел може да бъде обучен посредством паралелен и едновременен алгоритъм с база знания за динамичните и взаимнообвързани процеси типични за реалната енергетична уредба [4]. Така обучаемите ще бъдат поставени пред динамично променяща се обстановка и се избягва шаблона на високите нива. Това помага за снижаване на усилията за входните нива и прави програмният пакет достъпен за лица с ниска компютърна грамотност.

Правилната тренажорна подготовка на това ниво ще намали инцидентите и повиши продуктивността, ще осигури на механиците необходимия опит и увереност при тяхната работа.

Упражненията по взимане на решения при работа с този симулатор, ще осигури запознаване с резултатите от тези индивидуални решения, с възможност и за тяхната оценка. Провеждането на експерименти по определени проблеми и получаване на отговор е уникална. Симулаторът дава лесно въведение в теориите по експлоатация, посредством реалистичното му гъвкаво управление.

Съгласно конвенцията STCW 95 тренажорът за корабни механици трябва да има три принципни нива на подготовка:

1. Опознавателно ниво.
2. Експлоатационно ниво.
3. Диагностично ниво.

Новият подход обхваща и усъвършенствува тези нива.

2. ГЪВКАВ ИНТЕЛИГЕНТЕН ПРОГРАМЕН ПАКЕТ

Ефективността от тренажорната подготовка и въвеждането и като задължителен етап в обучението на корабните механици води до нарастване търсенето от страна на морските учебни заведения и квалификационни центрове на симулаторни установки. Като резултат се появява силна конкуренция и стремеж за развитие на софтуерните и хардуерните пакети с тенденция за тяхното подобряване и получаване на модели

Направление "Морско инженерство"

с резултати по-близки до реалните [5,6]. Разнообразието от корабни силови установки и специфичните особености при експлоатацията на всяка една от тях поставя изискването за адаптивност на моделите и разнообразие от пакети, покриващи различните видове силови уредби с цел запознаване на обучаемите с тях. Следват данни систематизирани за разработения в катедра Корабни силови уредби под ръководството на доц. Янакиев, д-р [1,2] програмнен пакет под наименованието Гъвкав интелигентен програмнен пакет - Smart Flexible Program Pack.

Нива на обучение:

1. Опознавателно-настроечно ниво.
2. Експлоатационно-експертно ниво.
3. Диагностично-интелигентно ниво.

Разработени подсистеми:

1. Корабен дизелов пропульсивен комплекс.
2. Спомагателни системи и механизми.

Възможности за селективна работа с подсистемите: разработена.

Стартовият входен панел насочва към двете основни системни модификации. Те са корвет и кораб с друго назначение. Панелът е илюстриран на фиг. 2 заедно с първичното изображение на фиг. 1.



Фиг. 1



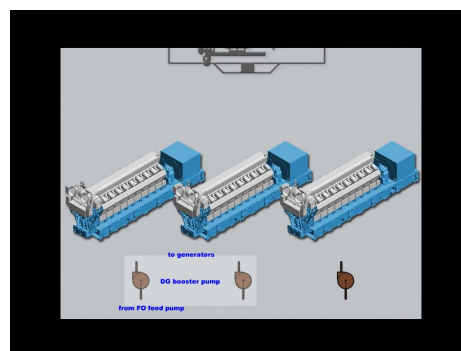
Фиг. 2

Системни модификации:

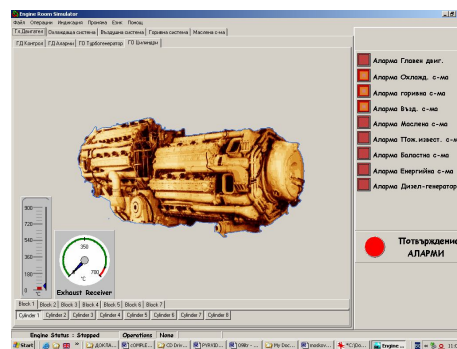
1. Компютърен мрежов продукт за 12 обучаеми с 1 инструктор без интерфейсен хардуер "Машинно помещение на боен кораб – 2D". Базовата среда е FLASH компилирана с DELPHI, входен прозорец е показан на фиг. 3. Комплексният математичен модел е на основата на високочестотен корабен дизелов двигател, като посочения на фиг. 4.

2. Компютърен мрежов продукт за 5 обучаеми с 1 инструктор без интерфейсен хардуер, включващ:

- Софтуер за силовата уредба с визуализация на работното поле на главния двигател при работа по винтова характеристика.
 - Софтуер за диагностика и подготовка на отчетите и първичните документи на главния механик.
3. Симулатор за персонален компютър.



Фиг. 3



Фиг. 4

Възможности на интерфейса за обучаемите:

1. Съдържа математическия модел.
2. Включва програма за визуализация на системите и механизмите, чрез разбираеми схеми включително и на алармената система.
3. Звукови ефекти.
4. Възможност за използване на специален хардуер, след проект и реализиране.

Разработени математически модели:

1. Математически модел на корабна пропульсивна уредба в следните варианти:

- 1.1. Двухактов реверсивен нискочестотен главен корабен дизелов двигател работещ на винт с фиксирана стъпка, прототип MAN B&W 6S60MC, 12240 kW, до

Направление "Морско инженерство"

195 г.р.м.

1.2. Четиритактов нереверсивен високочестотен главен корабен дизелов двигател с редуктор и работещ на винт с регулируема стъпка, прототип M507/4, 4750 kW, 1950 г.р.м.

Двата модела включват следните спомагателни системи:

- Система за автоматичен дистанционен контрол;
- Охлаждаща система – контур сладка вода;
- Охлаждаща система – контур морска вода;
- Смазваща система;
- Горивоподготвителна система;
- Горивна система;
- Въздушно-пускова система;
- Газоизпускателна и въздухоснабдителна системи.

2. Математически модел на следните спомагателните менюта:

- Система за свръхпълнене и газоизпускане – центробежен компресор и турбина постоянно налягане.
- Визуализация на горивоподаването и горенето с температурните полета на пламъка.
- Адаптиране на математичния модел по база знания.
- Блок управление закона за движение на изпускателния клапан.
- Хидравлична система за управление на изпускателния клапан и визуализация на температурните полета.

Възможности на ЦПУ:

ЦПУ съдържа следните табла за управление:

1. Главно разпределително табло.
2. Табло за контрол на пропусливната уредба.
3. Табло за управление на спомагателния котел.
4. Табло за комуникация.
5. Алармено табло.

Възможности на машинно отделение:

Машинно отделение дава възможност за контрол

над различните системи от специализирани табла.

Вземайки в предвид съществуващите и предлагани на пазара симулатори, пред настоящата разработка е цялостен математичен модел – виртуално машинно отделение и неговата визуализация. При това са реализирани следните възможности:

1. Разработване структурен модел на виртуално машинно отделение на базата на съществуващия математичен модел.

2. Разработване на програмен пакет за комплексно обединяване на симулационните модели за целите на обучението и тренинга.

3. Съсредоточаване на усилията върху встъпителните, входни и начални нива за улесняване достъпа и приложимост на програмния пакет сред начинаещия специалисти.

4. Възможност за входни нива за настройване на математичните модели и техните обекти.

5. Системно обучение на математичните модели на пакета по натурна база данни при непрекъсната системна оценка на точност на изходните показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я н а к и е в В. Х. Методи за определяне на експлоатационните характеристики на КДВГ в бойни и експлоатационни условия. Дисертация за получаване на научната степен к.т.н., Варна, 1982.

2. Я н а к и е в В. Х. Приложение на ЕИМ в теорията и експлоатацията на корабните двигатели с вътрешно горене. С., ВИ, 1985.

3. A g r e l l F., H. E. Angstrom, B. Eriksson, J. Linderyd, "Integrated Simulation and Engine Test of Closed Loop HCCI Control by aid of Variable Valve Timing," SAE paper 2003-01-0748.

4. N i k o l a o s P. Kyrtatos*, Gerasimos Theotokatos Laboratory of Marine Engineering Department of Naval Architecture & Marine Engineering National Technical University of Athens A VIRTUAL EXPERIMENT TOOL FOR MARINE DIESEL ENGINE POWERPLANT ANALYSIS.

5. H o m e p a g e of Progress Works, www.rt-science.de/rt-plot.html.

6. H o m e p a g e of программный комплекс "Дизель + Турбокомпресор", www.vdtch.narod.ru.

СТАТИСТИЧЕСКИ ПОДХОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИЗОЛИНИИТЕ НА КПД ОТ РАЗХОДНАТА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ТКА - ИЗОБАРНА ТУРБИНА

Юлиан В. Москов, ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", Варна

A STATISTICAL WAY FOR DETERMINATION OF I- CURVES EFFICIENCY OUT OF AIR CONSUMPTION OF TURBOCHARGER WITH CONSTANT PRESSURE

Julian V. Moskov, Naval Academy „N. Y. Vaptsarov“, Varna

Abstract: *This paper includes a technology of made of nature database for prototypes and modifications of turbochargers of slow speed diesel engines. The technology shows all process of analysis and includes appreciation of efficiency of three and more parameters. This dependence is applied to learning of mathematical model of combined slow speed diesel engine. The purpose of technology is better working and validation of model.*

Key words: *combined slow speed diesel engine, mathematical model, turbochargers, nature database, technology.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В днешно време се наблюдават изключително голямо разнообразие от типове, модели и модификации, като при това броят на двигателите от конкретната модификация, намиращи се в експлоатация намаляват, с което намалява достъпната информация за поведението на този двигател. От друга страна един и същ модел двигатели, произведени от един и същ завод по една и съща документация по време на експлоатация имат различно поведение, за което вина има и несъвършенството на технологията на изработване. Същевременно се повишават сложността на конструкцията, степента на температурната и механична напрегнатост, а така също и изискванията за икономическа ефективност на флота [1].

Всичко това поставя създателя на математичния модел в изключително голямо затруднение, особено като се има предвид каква сложна система представлява ДВГ. А създаването на универсален математичен модел е още по-трудно. Налага се при изграждането на математически модел да се подхожда съобразно особеностите на конкретния двигател, за да бъде моделът, както адекватен така и с необходимата точност. Това поставя една бариера пред навлизането и разпространението на математичните модели в експлоатацията на КДВГ, тъй като тяхното създаване се усложнява, оскъпява и отнема време.

Характеристиките на ДВГ се определят от процесите на преобразуване на енергията, които протичат в цилиндрите му; тези характеристики се подчиняват на законите от теорията на работния процес на ДВГ [2]. От своя страна процесите на преобразуване на енергията, протичащи в ТКА, се подчиняват на законите от теорията на турбомашините, във връзка с което ефективността на ТКА се определя от неговите собствени характеристики, които не зависят от ДВГ. Поради тази причина успешната експлоатация на ДВГ със СП е възможна само при условие на удовлетворително съгласуване на характеристиките на ДВГ и ТКА. За качественна оценка на

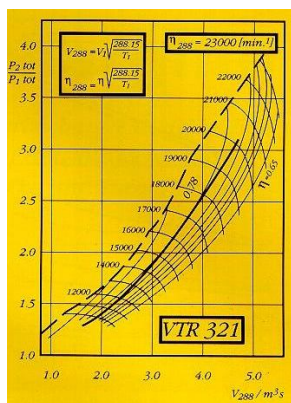
съвместната работа на КДД с ТКА е необходимо получаването на точна зависимост не само на границата на помпажа, а и зависимостта на КПД от степента на повишаване на налягането и разхода на въздух на двигателя [3].

2. МОДЕЛЕН ЕКСПЕРИМЕНТ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАВИСИМОСТТА $\eta_k = f(\pi_k, G_k)$

Технологията на извършеното изследване включва апроксимация на натурни данни, получени от заводо-производители на "АББ" и "Мицубиши"- България. Базите данни представляват универсални разходни характеристики на тип оразмери и модификации на изобарни турбини, използвани в окомплектовката на турбо бутални КДД. Цикълът на обработка на данните включва следните основни етапи:

1. Подготовка на данните за оцифроване в матрична форма. То включва разпределяне на изолиниите на постоянния η_k в таблична форма като подбраните η_k приемат следните стойности: 65, 75, 80, 83 и 84. За олекотяване на подхода и удовлетворяване на степента на точност са подбрани посочените стойности на КПД. По този начин са обхванати в изследването възможните стойности през които преминава линията на работните режими. Набора от универсални характеристики на основата на които е извършена цифровизацията [4] включва характеристики като посочената на фиг.1.

2. Подбор и формиране на основната матрица данни във формат Excel(.XLS). Пълните данни за КПД стойности 0,78;0,65 и стойности за границата на помпажната линия са посочени в табл. 1. Стойностите по оцифроване са получени след прецизна обработка със специализиран програмен продукт Grafula II [4]. Това е последната технологична стъпка за въвеждане на базата данни към т. 3.



Фиг. 1

Таблица 1

78		65		z surge	
Пк	Gк, m³/s	Пк	Gк, m³/s	Пк	Gк, m³/s
1,35	1,80	1,30	2,15	1,30	1,00
1,50	2,10	1,40	2,50	1,50	1,60
1,70	2,55	1,50	2,80	1,65	2,00
1,80	2,80	1,65	3,00	1,75	2,20
1,85	3,00	1,70	3,25	2,00	2,70
2,00	3,20	1,80	3,50	2,25	3,00
2,50	3,90	1,90	3,80	2,50	3,30
2,80	4,30	2,00	4,00	3,00	3,90
3,00	4,40	2,25	4,40	3,10	4,00
3,20	4,45			3,50	4,60
				3,80	5,00
				4,00	5,15

3. За извеждане на аналитични зависимости на изолините във функция от степента на повишаване на налягането и разхода на въздух през компресора, при този етап се използва стандартен софтуер за цифрова обработка LABFIT [5]. При тази последователност получаваме апроксимационните зависимости. Класът на точност на обработените база данни отговаря на изискванията за максимална грешка/абсолютна, относителна и СКО до 5%. Съществува зависимост за функционалното изменение на $\eta_k = f(\pi_k, G_k)$ за всички изследвани изолинии на всички стойности на η_k и всички изследвани типоразмерни редове и модификации от наличните натурни данни. Извършеното изследване използва стандартен софтуер LABFIT по ISO 9000-2000 [5] и отговаря изцяло на европейските стандарти за полиномиална обработка на база данни. Посоченият софтуер позволява извеждането на екран на стандартизирани и уеднаквени зависимости за изследваните показатели от база включваща над 550

зависимости с допълнителна възможност за определяне на броя на коефициентите.

Описанието на технологичният процес на гореспоненатите стъпки включва:

- подбор на изолиния с $\eta_k = const$,
- цифровизация на посочения показател в координатна система π_k, G_k ,
- нанасяне на данните от електронна таблица Excel в специализирания програмен продукт, при уточняване на броя на независимите променливи,
- обработка за апроксимиране към определена зависимост с посочени стойности на ковариантната матрица,
- извеждане на печат и графична визуализация на получените зависимости,
- сумарен анализ на получените зависимости според номерацията на LABFIT и определяне на отклоненията от точността за посочения метод; тук подборът се извършва чисто субективно по критерии удовлетворяващи минимална грешка и СКО при съвпадение на коефициентите и независимите променливи,
- сравнителен анализ-извършване на съпоставяне на всички получени резултати приоритетно по $\eta_k = const$ за минимум 20 от апроксимационните функции аналогично в предходната стъпка,
- класиране на подобните функции по критерий на точността на обработката, подбор на оптимална зависимост за посоченото изследване на по критерий минимална грешка, максимално съвпадение на моделните резултати с реалните данни.

Частичната база обработени данни за един ТКА е представена в табл. 2:

Таблица 2

DATA

kpd65.txt
 ATTENTION: THE FILE OF DATA OF THE LAB Fit HAS THE FOLLOWING FORMAT
 4 <=== NUMBER OF EXPERIMENTAL POINTS
 2 <=== NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES
 3 <=== NUMBER OF PARAMETERS OF THE FIT FUNCTION
 x(1,i)
 0.130000E+01 0.175000E+01 0.210000E+01 0.300000E+01
 sigmax(1,i)
 0.000000E+00 0.000000E+00 0.000000E+00 0.000000E+00
 x(2,i)
 0.270000E+01 0.400000E+01 0.500000E+01 0.680000E+01
 sigmax(2,i)
 0.000000E+00 0.000000E+00 0.000000E+00 0.000000E+00
 y(i)

0.145000E+01 0.200000E+01 0.250000E+01 0.350000E+01
 sigmay(i)
 0.100000E+01 0.100000E+01 0.100000E+01 0.100000E+01
 INITIAL VALUES OF THE PARAMETERS
 0.108100E+01 0.289800E+01 -.215900E+00
 300 <==== MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS
 0.100000E-05 <==== TOLERANCE OF THE PARAMETERS
 0 <==== 0 MEAN THAT THERE IS NOT, 1 THAT
 THERE ARE UNCERTAINTIES IN X
 0 <==== 0 MEAN THAT THERE IS NOT, 1 THAT
 THERE ARE UNCERTAINTIES IN Y
 0 <==== 0 MEAN THAT X IS NOT, 1 THAT IS ANGLE
 IN DEGREES
 1 <==== POWER
 358 <==== NUMBER OF THE FIT FUNCTION
 FINDER (4 P): 318, 344, 354, 321, 348, 328, 358, 350, 373,
 336

RESULTS

THE CONVERGENCE HAPPENED IN THE
 ITERATION 7

kpd65.txt
 N. 358: $Y=(A+X^2)/(B+C*X1)$ <— Straight line / straight
 line (2)

PARAMETERS: Mean	UNCERTAINTIES: SD
t P(t)	
A = 0.10618498183E+01	SIGMAA = Calculation to proceed —
B = 0.28810073644E+01	SIGMAB = Calculation to proceed —
C = -0.21187394723E+00	SIGMAC = Calculation to proceed —

Chi-Square:

Deg. Freed.= 1 ChiSq.=0.447748E-03 Red.
 ChiSq.=0.447748E-03

Correlation Coefficient:

$R^2_{yy(x)} = 0.9998034E+00$ $adjR^2_{yy(x)} = 0.9994101E+00$
 $R_{yy(x)} = 0.999902E+00 \Rightarrow P(NP,|R|) = 0.341E-03$
 ATTENTION: THE FIT WAS ENDED BUT IT WILL
 BE RE-DONE!

UNCERTAINTIES OF Yi: $SIGMAY_i = 0.211600E-01$
 THE CONVERGENCE HAPPENED IN THE
 ITERATION 8

kpd65.txt
 N. 358: $Y=(A+X^2)/(B+C*X1)$ <— Straight line / straight
 line (2)

PARAMETERS: Mean	UNCERTAINTIES: SD
t P(t)	
A = 0.10618498183E+01	SIGMAA = 0.29289665555E+00 0.362534E+01 0.171
B = 0.28810073644E+01	SIGMAB = 0.24907143820E+00 0.115670E+02 0.055
C = -0.21187394723E+00	SIGMAC = 0.57352181384E-01 -0.369426E+01 0.168

Attention: $SIGMA(p) = f * SIGMA$
 $p=68.3\%: f=1.84$ $p=90\%: f=6.31$ $p=95.4\%: f=14.00$ $p=99\%:$
 $f=63.66$

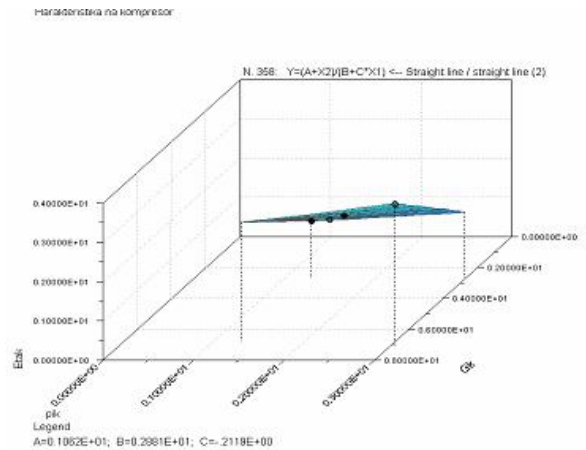
Chi-Square:

Deg. Freed.= 1 ChiSq.=0.100000E+01 Red.
 ChiSq.=0.100000E+01

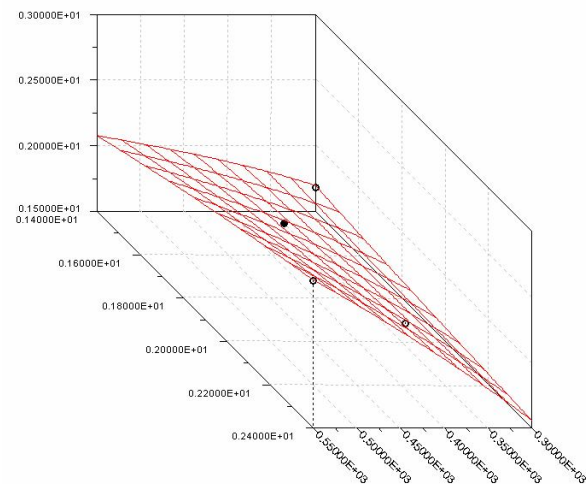
Correlation Coefficient:

$R^2_{yy(x)} = 0.9998034E+00$ $adjR^2_{yy(x)} = 0.9994101E+00$

$R_{yy(x)} = 0.999902E+00 \Rightarrow P(NP,|R|) = 0.341E-03$
 COVARIANCE MATRIX
 0.857885E-01 0.718527E-01 -1.60580E-01
 0.718527E-01 0.620366E-01 -1.41548E-01
 -1.60580E-01 -1.41548E-01 0.328927E-02
 Y(Xi) (THROUGH THE FIT FUNCTION)
 0.144377E+01 0.201649E+01 0.248837E+01 0.350134E+01
 UNCERTAINTIES OF Y(Xi) (THROUGH ERROR
 PROPAGATION, 95.4%)
 0.283179E+00 0.185679E+00 0.247542E+00 0.295714E+00



Фиг. 2. Зависимост на к.п.д. на компресора във функция от степента на повишаване на налягането и разхода на въздух от буталната част за разглеждания типоразмер и модификация



Фиг. 3. Реверсивна зависимост на к.п.д. на компресора във функция от степента на повишаване на налягането и разхода на въздух от буталната част

В резултат от проведеното цялостно изследване и след задълбочен анализ на получените данни съгласно споменатата технология е предложена зависимостта за $\eta_k = const$. При аналитично сравнение между всички изолинии на изследваните ТКА за КПД на ком-

пресора в най-близък план предлагаме следната функция, оврагов тип:

(1)

$$\eta_k = \left(\frac{G_k - 3}{100} \right)^2 - (\pi_k - G_k) + \exp[20(\pi_k - G_k)] .$$

Аналогично се обработва базата данни за установяване на функционална зависимост за границата на помпажа.

3. ИЗВОДИ

1. Недостатъчният опит по експлоатация на ТКА с отклонения от предписанията на завода производител не позволява да бъдат моделирани а и оттам симулирани в задълбочен план характерните особености и физическите процеси, протичащи в тези условия.

2. Разполагаемата база данни и информация за предаварийни и аварийни ситуации при ТКА позволи

да бъде симулирана както работата на центробежен компресор със замърсена проточна част, така и деформацията на границата на помпажа.

3. Така синтезираната зависимост на границата на помпажа и изолиниите на КПД на ТКА са преходен вариант, който подготвя фона на една по нова симулация на линията на работните режими за целите на обучението, диагностиката и управлението на съвместната работа с бугалната част на КДД.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Й о с и ф о в, Й., А. Межерицки. Турбокомпресорни агрегати за принудително пълнене на корабни двигатели с вътрешно горене. С., Техника, 1982.

2. Х у ц и е в, А. И. Двигатели внутреннего сгорания с регулируемым процессом сжатия. М., Машиностроение, 1986.

3. L e e Т. Н., G. E. Adams, W. M. Gaines, Computer process control: modeling and optimization, 2001.

4. Н о м е р а г е of Progress Works, http://home.comset.net/inaudit/files/graf3_d.phtml.

5. Н о м е р а г е of программный комплекс "LABFIT", www.vdtch.narod.ru.

КВАЗИСТАТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЛИНИЯТА НА РАБОТНИТЕ РЕЖИМИ ЗА СЪВМЕСТНА РАБОТА НА ТКА-
ИЗБОРНА ТУРБИНА И НЧКДД ПРИ РАБОТА ПО ВИНТОВА ХАРАКТЕРИСТИКА

Юлиян В. Москов, ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", Варна

A QUASISTATIKAL WAY TO CALCULATE WORKING LINE IN COMMON PROCESS OF SLOW SPEED DIESEL ENGINE
WITH CONSTANT PRESSURE TURBINE UNDER PROPELLER CURVE

Julian V. Moskov, Naval Academy „N. Y. Vaptsarov“, Varna

Abstract: *This is a new way to calculate working line. Quasistatistical calculation gives us more specific results of movement of working point. This movement has a character of non-symmetrical hysteretic. The trajectory of this point shows real process on real time. That is very similar, when we need a complex mathematical model for control and diagnostic tools. The real time is decisive for capacity for work of like control or diagnostic system.*

Key words: *slow speed diesel engine, mathematical model, working line or point, control and diagnostic system, real time.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременните математични модели, които са в основата на практически приложни алгоритми за целите на управлението и диагностиката избягват задълбоченото моделиране на съвместната работа на ТКА и буталната част на КДД. Това се налага от заложения стремеж за използване на газодинамични модели намиращи по широко приложение в правата конструктивна задача. Въпреки напредъка в математичните програмни продукти изходните данни на такива модели се получават трудно и не постигат реално време така необходимо за целите на управлението, а в някои случаи и за диагностиката на съвременните КДД.

Проблема придобива важност най-вече при корабните двигатели, които работят в качеството си на главни за корабната силова уредба. Тук липсата на удовлетворителни модели за целите на управлението е осезателна. Водещите производители като MAN B&W, Wartsila и MITSUBISHI посочват в публикациите си частичните несъвършенства на комплексните системи за управление и диагностика, които следват поради незадоволителното решение на научния проблем на границата бутална част - турбокомпресорен агрегат [3,4]. Стремежа за динамичен подход още повече затруднява задачата. Използването на критериални уравнения за построяване на линията на работните режими е по-скоро приложимо за ретрофит и усъвършенстване на КДД посредством повишаване мощността с ТКА от ново поколение. Много често се изпуска хистерезиса на линията на работните режими с което резултатите чувствително се отдалечават от реалните особено при режим на разтоварване. Търсят се непопулярни методи за отдалечаване на работната точка от помпажната линия като преспускане на продувъчния въздух и др.[5]. Тези конструктивни решения водят до нарастване на енергийните загуби като цяло в КДД.

Квазистатичният подход се е утвърдил като класически при решаване на задачи за управление

[2]. Той дава добри резултати от страна на точността, но изисква олекотени алгоритми и обучение на математичните модели. Най-доброто е, че резултатите се получават в реално време и се вписват в паралелните и едновременни алгоритми на управлението. Съществената част на настоящата публикация разглежда част от инструментариума на този подход за олекотяване на алгоритъма за определяне на реалното поведение на работната точка при работа на КДД под винтова характеристика, т.е. главен корабен двигател с изобарна система на свръхпълнене.

2. ПРЕСМЯТАНЕ НА СЪВМЕСТНАТА РАБОТА С ОТЧИТАНЕ НА ДИНАМИКАТА НА ТКА

Инерционния момент на ротора и демпфиращото действие на изпускателния колектор и ресивера, не позволява на ТКА мигновено да следи изменението на натоварването на двигателя. По този начин налягането на свръхпълнене достига до стойности, които съответстват на измененото натоварване с някакво закъснение.

При бързи натоварвания закъснението на ротора на ТКА води до недостиг на въздух и в някои случаи понижава индикаторния КПД на двигателя и развивания от него въртящ момент [1].

Тези особености в протичането на преходния процес определят динамичните свойства на ТКА.

При това за преходния режим се използват всички уравнения на установения режим. Единствено, вместо съотношението на равенството на въртящите моменти на турбината и компресора, е необходимо да се добави уравнението на динамиката на ТКА:

$$(1) \quad T_{iqT} = t_{iqT_0} + \Delta T_{iqT}; \quad J_k \cdot \frac{\partial \omega_k}{\partial t} = T_{iqT} - T_{iqk};$$

$$T_{iqk} = T_{iqk_0} + \Delta T_{iqk}$$

Тъй като $\omega_k = \omega_{k_0} + \Delta \omega_k$ и $J_k = J_r + J_{pk}$, то, или с отчитане на условието: $T_{iqT} - T_{iqk} = 0$,

$$(2) \quad J_k \cdot \frac{\partial \Delta \omega_k}{\partial t} = \Delta T_{iqT} - \Delta T_{iqk},$$

$$J_k \cdot \frac{\partial \Delta \omega_k}{\partial t} = (T_{iqT_0} + T_{iqT}) - (T_{iqk_0} - T_{iqk}).$$

Изразът за T_{iqk} има следния вид:

$$T_{iqk} = \frac{G_k W_k}{\omega_{nk}},$$

т. е. $T_{iqk} = f(G_k, \omega_k, \pi_k)$.

Тъй като атмосферното налягане може да се приеме за постоянно аргументът се замества с налягането след компресора p_k .

Разходът на въздух G_k се определя от следната функционална зависимост:

$$(3) \quad G_k = f(p_k, W_k).$$

Като се има предвид

$$(4) \quad T_{iqk} = f(p_k, W_k),$$

след разлагането на функциите в ред на Тейлор и последващо линеаризиране:

$$\Delta T_{iqk} = \frac{\partial T_{iqk}}{\partial p_k} \Delta p_k + \frac{\partial T_{iqk}}{\partial \omega_k} \Delta \omega_k,$$

$$(5) \quad \Delta G_k = \frac{\partial G_k}{\partial p_k} \Delta p_k + \frac{\partial G_k}{\partial \omega_k} \Delta \omega_k.$$

За да се определи производната $\frac{\partial T_{iqk}}{\partial p_k}$ се строи

характеристика с координати $T_{iqk} = f(p_k)$ при $\omega_k(n_{TKA}) = const$.

Като се има предвид вече известната зависимост за T_{iqT} , може да се запише

$$T_{iqT} = f(W_{adT}; G_{g1}; \omega_k; \eta_T).$$

Съобразно със зависимостите:

$$(6) \quad \begin{aligned} W_{agT} &= f(p_{g1}; T_{g1}), \\ G_{g1} &= f(p_{g1}; T_{g1}), \\ \eta_T &= f(\omega_k; p_{g1}; T_{g1}). \end{aligned}$$

T_{iqT} се изразява с функцията

$$(7) \quad T_{iqT} = f(\omega_k; p_{g1}; T_{g1}).$$

След разлагане на получената функционална зависимост в ред на Тейлър и линеаризиране е полу-

чено

(8)

$$\Delta T_{iqT} = \frac{\partial T_{iqT}}{\partial \omega_k} \Delta \omega_k + \frac{\partial T_{iqT}}{\partial p_{g1}} \Delta p_{g1} + \frac{\partial T_{iqT}}{\partial T_{g1}} \Delta T_{g1}.$$

Производните, получени при това разлагане, се определят при избран равновесен режим. Например в съответствие със зависимостта:

$$(9) \quad T_{iqT} = \frac{G_{g1} W_{agT}}{W_k} \eta_T$$

се получава

$$(10) \quad J_k \frac{d\omega_k}{dt} + F_k \Delta \omega_k = \frac{\partial T_{iqT}}{\partial T_{g1}} \Delta T_{g1} - \frac{\partial T_{iqk}}{\partial p_k} \Delta p_k.$$

След заместване, уравнението на динамиката добива вида

$$(11) \quad \begin{cases} \frac{\partial T_{iqT}}{\partial \omega_k} = -\frac{T_{iqT}}{\omega_k} \\ \frac{\partial T_{iqT}}{\partial p_{g1}} = \frac{T_{iqT} \partial G_{g1}}{G_{g1} \partial p_{g1}} + \frac{T_{iqT} \partial W_{adT}}{W_{adT} \partial p_{g1}} \\ \frac{\partial T_{iqT}}{\partial T_{g1}} = \frac{T_{iqT} \partial G_{g1}}{G_{g1} \partial T_{g1}} + \frac{T_{iqT} \partial W_{adT}}{W_{adT} \partial T_{g1}} \end{cases}.$$

Тъй като първите първите производни на коефициентите пред нарастванията са непрекъснати, то уравненията в системата (11) се групират както следва:

(12)

$$\begin{cases} dT_{iqk} = \frac{\partial T_{iqk}}{\partial p_k} dp_k + \frac{\partial T_{iqk}}{\partial \omega_k} d\omega_k \\ dT_{iqT} = \frac{\partial T_{iqT}}{\partial p_k} dp_k + \frac{\partial T_{iqT}}{\partial \omega_k} d\omega_k \\ dG_k = \frac{\partial G_k}{\partial p_k} dp_k + \frac{\partial G_k}{\partial \omega_k} d\omega_k \\ dT_{iqT} = \frac{\partial T_{iqT}}{\partial \omega_k} d\omega_k + \frac{\partial T_{iqT}}{\partial p_{g1}} dp_{g1} + \frac{\partial T_{iqT}}{\partial T_{g1}} dT_{g1} \\ J_k \frac{d\omega_k}{dt} + F_k d\omega_k = \frac{\partial T_{iqT}}{\partial p_{g1}} dp_{g1} + \frac{\partial T_{iqT}}{\partial T_{g1}} dT_{g1} - \frac{\partial T_{iqk}}{\partial p_k} dp_k \end{cases}$$

Решаването на системата се заключава в решаването на следното уравнение:

$$(13) \quad T \frac{dx}{dt} + x = -k_n \mu_n - b_1 \frac{d\mu_n}{dt} - k_b \mu_b - b_2 \frac{d\mu_b}{dt},$$

където $x = \frac{\Delta p_k}{p_{k0}}, \quad \mu_n = \frac{\Delta n_{\partial e}}{n_{\partial e0}}, \quad \mu_b = \frac{\Delta B_e}{B_{e0}}.$

Допускаме, че зависимостите на T_{iqT} , T_{iqk} и n_{TKA} по отношение на независимите променливи p_k , $n_{\partial\theta}$ и B_e са от вида:

$$(14) \quad \begin{aligned} T_{iq1} &= C_T \cdot p_k^{\alpha_T} \cdot n_{\partial\theta}^{\beta_T} \cdot B_e^{\gamma_T} , \\ T_{iqk} &= C_k \cdot p_k^{\alpha_k} \cdot n_{\partial\theta}^{\beta_k} \cdot B_e^{\gamma_k} , \\ n_{TKA} &= C_{TKA} \cdot p_k^{\alpha_{TKA}} \cdot n_{\partial\theta}^{\beta_{TKA}} \cdot B_e^{\gamma_{TKA}} . \end{aligned}$$

Наличието на четири константи при направеното предположение на вида на функциите предлага голяма гъвкавост на моделиране на реалния процес [28]. Например при $\gamma_T = \gamma_k = \gamma_{TKA} = 0$ се изключва зависимостта на T_{iqT} , T_{iqk} и n_{TKA} от независимата променлива B_e .

От уравненията (14) следват равенствата:

$$(15) \quad T = \frac{\pi}{30} J \left(\frac{\frac{\partial n_{TKA}}{\partial p_k}}{\frac{\partial}{\partial p_k} (T_{iqT} - T_{iqk})} \right) = \frac{\pi}{30} J \frac{C_{TKA}^{\alpha_{TKA}-1} C_{\partial\theta}^{\beta_{TKA}} B_e^{\gamma_{TKA}}}{C_k \cdot p_k^{\alpha_k-1} \cdot B_e^{\gamma_k} - C_T \cdot p_k^{\alpha_T-1} \cdot n_{\partial\theta}^{\beta_T} \cdot B_e^{\gamma_T}} .$$

Поради повтаряемостта на израза в знаменателя, той се означава с \overline{M} , а $\alpha_{TKA} - 1$ - с $\overline{\alpha_{TKA}}$; аналогични са и означенията за останалите степени.

Получават се и зависимостите:

$$(16) \quad k_n = \frac{n_{\partial\theta_0}}{p_{k_0}} \cdot \frac{C_k p_k^{\alpha_k} n_{\partial\theta}^{\beta_k} B_e^{\gamma_k} - C_T p_k^{\alpha_T} n_{\partial\theta}^{\beta_T} B_e^{\gamma_T}}{\overline{M}} ,$$

$$(17) \quad b_1 = \frac{\pi}{30} \cdot J \cdot \frac{n_{\partial\theta_0}}{p_{k_0}} \cdot \left(\frac{C_{TKA} p_k^{\alpha_{TKA}} n_{\partial\theta}^{\beta_{TKA}} B_e^{\gamma_{TKA}}}{\overline{M}} \right) ,$$

$$(18) \quad k_B = \frac{B_{e_0}}{p_{k_0}} \cdot \left(\frac{C_k p_k^{\alpha_k} n_{\partial\theta}^{\beta_k} B_e^{\gamma_k} - C_T p_k^{\alpha_T} n_{\partial\theta}^{\beta_T} B_e^{\gamma_T}}{\overline{M}} \right) ,$$

$$(19) \quad b_2 = \frac{\pi}{30} \cdot J \cdot \frac{B_{e_0}}{p_{k_0}} \cdot \frac{C_{TKA} p_k^{\alpha_{TKA}} n_{\partial\theta}^{\beta_{TKA}} B_e^{\gamma_{TKA}}}{\overline{M}} ,$$

където k_n и b_1 са коефициенти на усилване по честота на въртене на двигателя, а k_B и b_2 са коефициенти на усилване по разход на гориво.

Поради това, че съществуват линейните зависимости

$$(20) \quad \begin{aligned} p_k &= p_{k_0} + \tilde{p}_k t , \\ n_{\partial\theta} &= n_{\partial\theta_0} + \tilde{n}_{\partial\theta} t , \\ B_e &= B_{e_0} + \tilde{B}_e t \end{aligned}$$

и апроксимирайки получените зависимости (16) ÷ (19) спрямо t около точката $(p_{k_0}, n_{\partial\theta_0}, B_{e_0})$, получаваме следното опростяване на изразите:

$$(21) \quad \begin{aligned} k_n &= k_{n_0} + \overline{k}_n t , & b_1 &= b_{1_0} + \overline{b}_1 t , \\ k_B &= k_{B_0} + \overline{k}_B t , & b_2 &= b_{2_0} + \overline{b}_2 t , \end{aligned}$$

а след заместване в изходното уравнение:

$$(22) \quad \begin{aligned} T \frac{dx}{dt} + x &= -(k_{n_0} + \overline{k}_n t) \frac{\tilde{n}_{\partial\theta} t}{n_{\partial\theta_0}} - \\ &- (b_{1_0} + \overline{b}_1 t) \frac{\tilde{n}_{\partial\theta}}{n_{\partial\theta_0}} - (k_{B_0} + \overline{k}_B t) \frac{\tilde{B}_e t}{B_{e_0}} - (b_{2_0} + \overline{b}_2 t) \frac{\tilde{B}_e}{B_{e_0}} . \end{aligned}$$

Опростявайки израза отдясно, получаваме уравнението

$$(23) \quad T \frac{dx}{dt} + x = C_0 + C_1 t + C_2 t^2 ,$$

където е положено:

$$(24) \quad \begin{aligned} C_0 &= -b_{1_0} \frac{\tilde{n}_{\partial\theta}}{n_{\partial\theta_0}} - b_{2_0} \frac{\tilde{B}_e}{B_{e_0}} , \\ C_1 &= -k_{n_0} \frac{\tilde{n}_{\partial\theta}}{n_{\partial\theta_0}} - \overline{b}_1 \frac{\tilde{n}_{\partial\theta}}{n_{\partial\theta_0}} - k_{B_0} \frac{\tilde{B}_e}{B_{e_0}} = \\ &= -\frac{\tilde{n}_{\partial\theta}}{n_{\partial\theta_0}} (k_{n_0} + \overline{b}_1) - \frac{\tilde{B}_e}{B_{e_0}} (k_{B_0} + \overline{b}_2) , \\ C_2 &= -\overline{k}_n \frac{\tilde{n}_{\partial\theta}}{n_{\partial\theta_0}} - \overline{k}_B \frac{\tilde{B}_e}{B_{e_0}} . \end{aligned}$$

Извършвайки аналогични преобразувания за T : $T = T_0 + \tilde{T}t$, получаваме окончателния вид на уравнението:

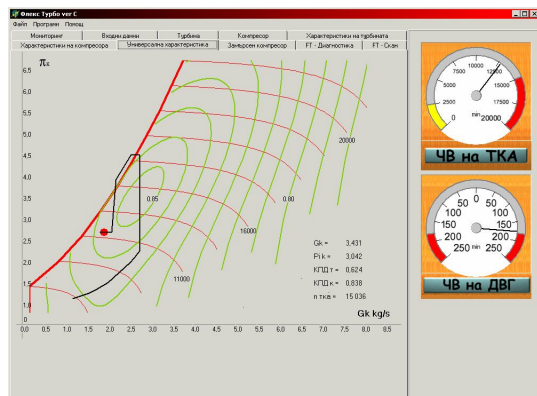
$$(25) \quad (T_0 + \tilde{T}t) \frac{dx}{dt} + x = C_0 + C_1 t + C_2 t^2 ,$$

което е линейно диференциално уравнение и неговото решение е в квадратура.

Използваният дедуктивен подход е за определяне на параметрите на ТКА при неустановен режим на КДД [51,85]. При нови конструкции и наличие на данни от завода-производител, по зависимости (12), (13) и (14) ММ може да се актуализира.

ММ като цяло позволява да се наблюдава траекторията на точката при промяна на режимните фактори на КДД. Характерът на траекторията показва процес, който далеч не съвпада със симетричния хистерезисен цикъл разглеждан в досегашните версии на продукта, за натоварване и разтоварване на двигателя. На фиг. 1 е изобразен графичният панел на разходна характеристика за въведените входни данни за ММ. Последният позволява сместване на границата на

помпажа във функция от експлоатационните фактори и замърсяването на проточната част на компресора. Аналогичен е способът на използване на програмният продукт при симулирано замърсяване на проточната част на компресора. Показани са контролни прибори, които посочват текущите стойности на показатели свързани с работния процес на буталната част на КДД. Програмният продукт позволява визуализация на ЛРР върху типови разходни характеристики на ТКА. Този панел позволява нанасянето на ЛРР върху стандартна характеристика и въвеждането на допълнителни от директория PICTURES.



Фиг. 1

Разглеждания в този доклад математичен модел на съвместната работа на КДД и ТКА е реализиран в програмния продукт SFP. Програмата отговаря на съвременните изисквания към софтуерните продукти и е напълно интегрируема с други програмни продукти. Програмният продукт извежда всички показатели и характеристики аналогични на съвременните MIP

системи, което го прави напълно приложим за диагностиката, управлението и еталонния анализ. Програмният продукт има възможност да бъде използван за целите на обучението и тренинга и в тази връзка програмата SFP представлява съществен принос за тренажорната подготовка във ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”.

3. ИЗВОДИ

1. Реализацията на усъвършенстван ММ е насочена към визуализация на работната точка под разходна характеристика в динамика.

2. Софтуерът за съвместната работа на КДД и ТКА е разширен по посока на показателите на газообмена, свръхпълненето и постъпковото (квазистатично) запаметяване на изображението на предходните процеси.

3. Графичното изображение на индикаторния процес е векторно разтерово, което избягва изкуствените заглаждания в образа, а високоскоростните му характеристики подобряват класа на точност с още $2 \div 2,5\%$

4. Подобрената версия на програмния продукт може да бъде използвана за целите на диагностиката, управлението и тренинга на корабни механици.

ЛИТЕРАТУРА

1. Й о с и ф о в, Й., А. Межерички. Турбокомпресорни агрегати за принудително пълнене на корабни двигатели с вътрешно горене. С., Техника, 1982.
2. Я н а к и е в, В. Х. "Корабни двигатели с вътрешно горене - теория и експлоатация". С., ВИ, 1996.
3. A n a l y s i s Software for Peak Pressure Indicators - Diesel and Gas Turbine Worldwide. Nov. 1998.
4. K e e p the Engines Running with Computer-Controlled Surveillance (CoCoS) - Diesel and Gas Turbine Worldwide. Sept.1995.
5. I n s t r u c t i o n Book Operation of K-GF Engines"- B&W .