

ИЗВЕСТИЯ

на Съюза на учените – Варна

Серия “ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ” - 1’2024



UNION
OF SCIENTISTS
VARNA

ИЗВЕСТИЯ

на Съюза на учените – Варна

СЪДЪРЖАНИЕ

	Стр.
Владимир Йорданов Изследване на енергийната ефективност на кораб за насипни товари	4
Жейно Жейнов, Десислава Ангелова Обсъждане на разпространението на светлината в спирални фотонно кристални оптични влакна	10
Даниел Костадинов Алкохолите като добавка към дизелово гориво	15
Надя Стаматова Предложение за обогатяване на експозициите на два варненски музея с XR технологични решения	19
Владимир Вичев, Тодорка Георгиева Инtruзивни и неинtruзивни методи за качествен контрол в IP мрежи	29
Стоян Стоянов Метод на Стоянов за определяне и намиране на точните корени на уравнение от трета степен	35
Калин Люцканов Съвременни методи за определяне износването на цилиндровите втулки с диаметър между 500 – 1000 mm на двутактови корабни двигатели	43
Калин Люцканов Статично балансиране на гребни винтове	47
Калин Люцканов Технически изисквания и методи за измерване параметрите на гребните винтове.....	50
Николай Иванов Ефективност и екологични предимства на тежкотоварен автомобилен транспорт	54
Николай Иванов Ефективност на автоматизирани вътрешно-пристанищни системи за обработка на товарите	59
Николай Вълчев Методи за уякчаване на сплави от алуминиев бронз	63
Апостол Учърджиев Методи за уякчаване на аустенитен клас неръждаеми стомани	68
Николай Николов Комбинирани методи за повърхностно уякчаване на железни сплави	75
Сергей Рябченко, Сергей Клименко, Андрий Менохин, Татьяна Мечкарова, Ярослав Аргиров Износоустойчивост на проби от закалена стомана след шлайфане с колела от кубичен борен нитрид	78

Десислава Минчева

Контролни челни заваръчни съединения от стомана A33 Gr6 81

Росен Спиров

Биометричен модел на fpga интелигентен робот за селкостопански дейности 86

Диана Петрова

Конструирание и изработка на старовремска пещ за получаване на експериментални отливки от древни времена 90

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

проф. д-р Виолета Йотова д.м.н.
 проф. д-р Драгомир Димитров
 проф. д-р инж. Розалина Димова
 доц. д-р инж. Иван Иванов
 доц. д-р инж. Радостин Димитров
 доц. д-р инж. Жейно Жейнов
 инж. Нели Велева

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ НА БРОЯ

доц. д-р инж. Радостин Димитров
 доц. д-р инж. Жейно Жейнов
 инж. Нели Велева

СЪЮЗ НА УЧЕНИТЕ – ВАРНА

Пощенски адрес: гр.Варна 9000,
 ул. “Васил Друмев” № 73
 Съюз на учените -Варна
 тел:052/978576

Авторите носят отговорност за своите материали .
 Текстовете, които се представят в редакцията,
 следва да са във форма на MS Word.
 Ръкописи не се връщат.

Предпечатна подготовка

Съюз на учените - Варна
 Координатор на СУ-Варна:
 тел:052/978576

E-mail: su-varna@abv.bg

Банкова сметка: BG82 CECB 9790 1097 1239 00

BIC: CECBBSGF

Банка: ЦКБ АД

Настоящото издание е
 посветено на
**Науката в служба на
 обществото**
 и се осъществява по
 проект, в рамките на
 присъщата на
**Технически
 Университет - Варна**
 научноизследователска
 дейност, финансирана
 целево от държавния
 бюджет.

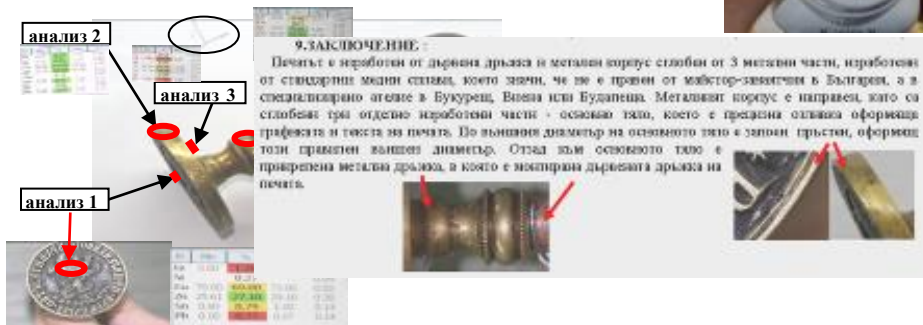
*обновена лаборатория на
 ТУ-ВАРНА по рентгенов
 спектрален анализ*

ДЕЙНОСТ

Изследване, изпитване и
 сертифициране на структурата,
 състава, механичните и физико-
 химичните свойства на
 инженерни метални и неметални
 материали; Безразрушително
 изследване на метални
 археологически находки

**СЕРИЯ
“ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ”**

1'2024

**КОНТАКТИ**

ВАРНА-9010, ул.Студентска №1,ТУ-Варна Тел.: 052/385 711

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБ ЗА НАСИПНИ ТОВАРИ

Владимир А. Йорданов

RESEARCH OF ENERGY EFFICIENCY OF BULK CARRIER

Vladimir A. Yordanov

Резюме: В доклада се разглежда енергийната ефективност на кораб за насипни товари чрез конструктивния индекс EEDI (Energy Efficiency Design Index) и влиянието на пропульсивните параметри върху EEDI.

Ключови думи: кораб, енергийна ефективност, пропульсивни параметри.

Abstract: This paper deals with energy efficiency of a bulk carrier through the index EEDI (Energy Efficiency Design Index) and the influence of propulsion parameters on EEDI.

Keywords: bulk carrier, energy efficiency, propulsion parameters.

1. Въведение

При проектиране на енергетичната уредба на корабите се определя и конструктивния индекс за енергийна ефективност на кораба - EEDI (Energy Efficiency Design Index). Индексът за енергийна ефективност EEDI е въведен от международната морска организация (ИМО) от 1 януари 2013г. за нормиране на емисиите на произвежданите парникови газове за новите кораби над 400GT. Индексът дава оценка на енергийната ефективност на кораба, като отношение между произведените от кораба емисии CO₂ към съответно извършената транспортна работа [1, 2] от кораба при 75% натоварване на главния двигател (ГД) по мощност, g-CO₂/(t.nm):

$$(1) \quad EEDI = \frac{(CO_2 \text{ Emission})}{T_{transport} \cdot Work}$$

Изчисленият за кораба индекс (Attained EEDI) трябва да бъде по-малък или равен на максимално допустимата стойност (Required EEDI) за определения тип и размер конкретен кораб. В общия случай емисиите CO₂ включват генерираните от главните и спомагателните двигатели емисии намалени с евентуално използвани иновативни технологии за редуциране на пропульсивните и електрически мощности на кораба. Основните генерирани емисии на CO₂ са емисиите от главния двигател (main engine – ME) и съответния индекс EEDI се определя както следва:

$$(2) \quad EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME})}{f_i \cdot f_j \cdot Capacity \cdot v_{ref} \cdot f_w}$$

където:

- P_{ME}=0,75 · N_{MP} - мощност на ГД при 75% от мощността N_{MP};

- SFC_{ME} , g/(kW.h) – специфичен разход на гориво /СРГ/ на ГД при 75% N_{MP} ;
- C_F - коефициент на генериране на CO_2 от ГД $(t-CO_2)/(t-Fuel)$, който за различните видове горива е:

гориво	C_F [ton CO_2 /ton гориво]
дизелово гориво	3,15104
тежко гориво	3,1144
природен газ	2,7500

Табл.1. Стойности на C_F за различните видове горива

- $Capacity$ [t] - проектен дедуейт (DWT) на кораба, освен пътническите;
- f_i - $Capacity$ коефициент, отчитащ технически и регулаторни ограничения на товароподемността на кораба;
- f_j - коригиращ коефициент, отчитащ специфични елементи от проекта на кораба;
- f_w - безразмерен коефициент, отчитащ намаляването на скоростта в морски условия (относно височина и честота на вълните и скорост на вятъра);
- v_{ref} - проектна скорост на кораба при 75% от мощността N_{MP} и при газене,

съответстващо на проектния дедуейт $Capacity$.

2. Параметри на кораба и пропульсивната уредба

Корабът за насипни товари е с дедуейт 75000 т е двупалубен, едновинтов, има винт с фиксирана крачка, с ют и бак и булбообразен нос. Жилищните помещения, ходовият мостик и машинното отделение са разположени в кърмовата част. Основните параметри на кораба са следните са показани в табл.2.

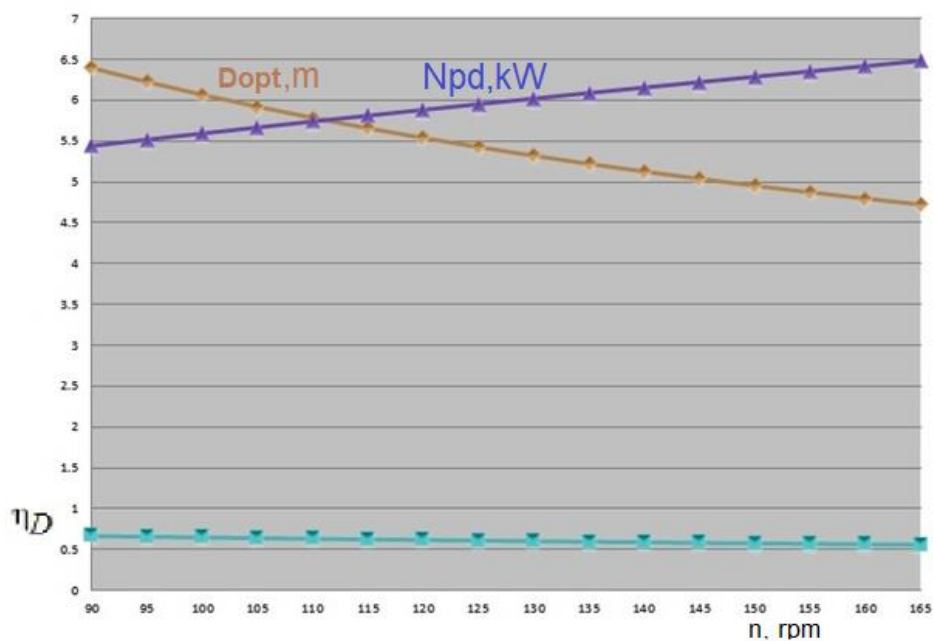
Основните параметри на гребния винт (диаметър – D_{ort} ; пропульсивен КПД - η_D ; необходима мощност N_{PD} на гребния винт за преодоляване съпротивлението ($R=542,3$ kN) на кораба, са показани на фиг. 1 и в табл.3.

Необходимата потребна мощност (N_{PD}) на гребния винт е показана в зависимост от оборотите на ГД за минута на фиг.1.

На базата на мощността и оборотите на гребния винт и получената по-горе зависимост $N_{PD} = f(n)$ (фиг.1 и табл. 3) определяме крива, която нанасяме върху полетата на мощностите на двигателите MAN Diesel - фиг.2 .

Максимална дължина:	$L_{max} = 233.93$ м	
Дължина по водолинията,	$L_{wl} = 228$ м	
Дължина между перпендикулярите:	$L_{pp} = 225$ м	
Широчина:	$B = 32.20$ м	
Газене:	$T_D = 13.48$ м	
Височина на борда:	$H_b = 18.59$ м	
Дедуейт:	$DW = 75000$ t	
Проектна скорост:	$V_s = 13$ kn	
Коефициент на обща пълнота:	$C_b = 0,74$	
Далечина на плаване:	$L_{pl} = 12000$ nm	
Екипаж:	$Crew = 25$ човека	

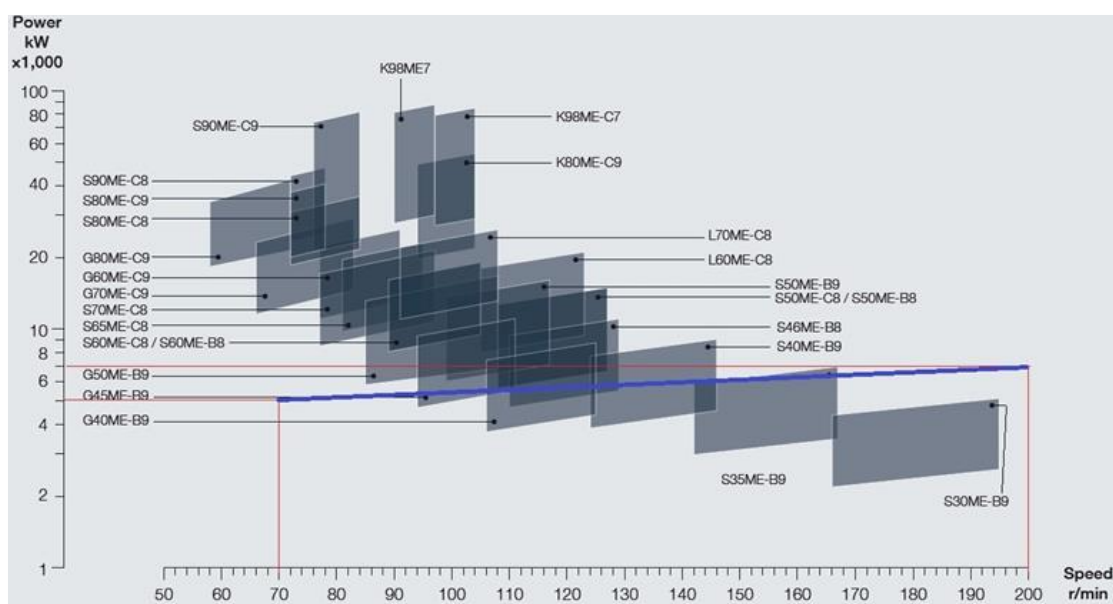
Табл.2. Основни параметри на 75000 tdw кораб насипни товари



Фиг.1. Основни параметри на гребния винт в зависимост от оборотите му.

n_s , rpm	η_D	D_{opt} , m	N_{PD} , mW	n_s , rpm	η_D	D_{opt} , m	N_{PD} , mW
90	0.666538	6.395165	5.441639	130	0.602398	5.321099	6.021034
95	0.657254	6.224596	5.518499	135	0.59568	5.22163	6.08893
100	0.648401	6.066986	5.593852	140	0.589184	5.127539	6.156073
105	0.639937	5.920772	5.667836	145	0.582892	5.038358	6.222518
110	0.631828	5.784644	5.740573	150	0.576793	4.953673	6.288316
115	0.624045	5.657494	5.812172	155	0.570874	4.87312	6.353512
120	0.616561	5.538375	5.882726	160	0.565125	4.796374	6.418151
125	0.609352	5.426477	5.952322	165	0.559535	4.723142	6.482269

Табл.3. Основни параметри на гребния винт в зависимост от оборотите му



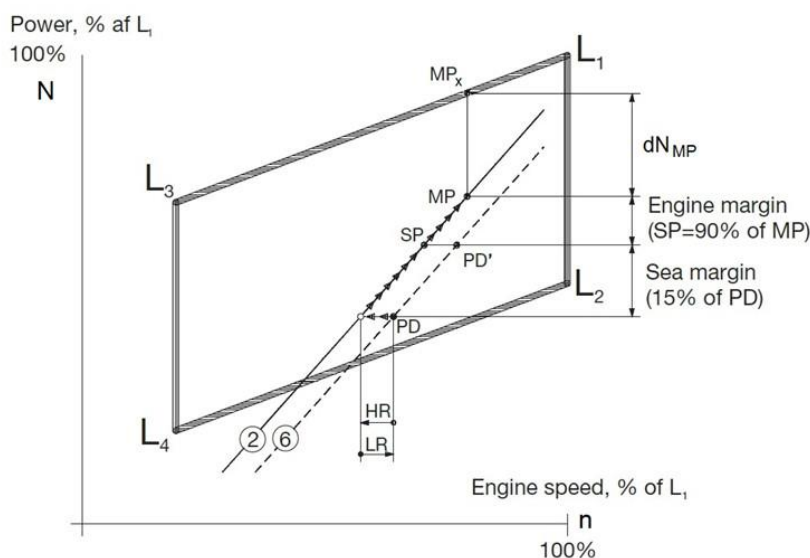
Фиг.2. Контрактни мощностни полета на главни двигатели MAN Diesel и зависимостта на N_{PD} от оборотите

Вариант	№1	№2	№3
Тип на ГД	6G45ME-B9.5	7G40ME -B9.5	6S46ME -B9.5
N_{MP} , kW	7243	7570	7605
n_{MP} , r/min	106	124	126

Табл.4. Параметри на вариантите ГД MAN Diesel

Съответните контрактни мощностни полета на MAN Diesel са показани на фиг.2 (координатната система е логаритмична с прави линии), е

възможните варианти ГД MAN Diesel са приведени в табл. 4, като параметрите им са определени съгласно процедурата от фиг.3 [3, 4, 5].



Фиг.3. Процедура за определяне на контрактната т.МР за ГД MAN Diesel

Означенията на фиг.3 са следните: 2 - тежка винтова характеристика – при грапав, обрасъл корпус и лошо време; 6 - лека винтова характеристика – при чист корпус и тихо време; PD - проектна точка на гребния винт; PD' - алтернативна проектна точка на ГВ; HR – Heavy Running или т.н. запас по обороти (3 – 7%) ; LR – Light Running или олекотяване на винтовата характеристика; SP - Continuous service rating for propulsion или експлоатационна точка; MP - Specified MCR for propulsion или контрактна точка ; engine margin - двигателен запас ; sea margin - морски запас; N, n - мощност и обороти на ГД в логаритмичен мащаб; MPx – точка на граничната линия L1-L3

при оборотите в т.МР; dN_{MP} – запас на мощността N_{MP} до граничната линия L1-L3 ($dN_{MP} \geq 0$) [4,5]. Прилагам програмата на MAN Diesel CEAS Engine Calculations за определяне на параметрите на точка MP така, че тя да е вътре в диаграмата на двигателя.

3. Определяне на индекса за енергийна ефективност на кораба

Индексът EEDI ($g\text{-CO}_2$)/(t.nm) за енергийна ефективност на кораба, определяме като отношение между произведените емисии CO_2 от ГД (при 75% натоварване) към съответно извършената транспортна работа от кораба за трите варианта:

$$(3) \ EEDI_{var1} = \frac{(P_{ME1} C_{FME} SFC_{ME1})}{f_i \cdot f_j \cdot Capaci \ ty \ v_{ref} \cdot f_w}$$

$$(4) \ EEDI_{var2} = \frac{(P_{ME2} C_{FME} SFC_{ME2})}{f_i \cdot f_j \cdot Capaci \ ty \ v_{ref} \cdot f_w}$$

$$(5) \ EEDI_{var3} = \frac{(P_{ME3} C_{FME} SFC_{ME3})}{f_i \cdot f_j \cdot Capaci \ ty \ v_{ref} \cdot f_w}$$

, където:

P_{ME1} , P_{ME2} и P_{ME3} - мощност на ГД при 75% натоварване за варианти №1 до №3 (гл. табл.5);

SFC_{ME1} , SFC_{ME2} и SFC_{ME3} - съответният специфичен разход на

гориво за ГД за варианти №1 до №3 (гл. табл.5);

$C_{FME}=3,1144$ (t-CO₂)/(t-Fuel) - коефициент на генериране на CO₂ от ГД за тежко гориво;

$v_{ref}=13$ knot - проектна скорост на кораба при 75% от мощността N_{MP} ;

f_i , f_j , f_w коригиращи коефициенти равни на единица.

	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
Двигател	6G45ME-C	7G40ME-C	6S46ME-B
N_{mp} , kW	7243	7570	7605
N_{75} , kW	5432	5678	5705
SFOC ₇₅ , g/kWh	163.4	170.9	166
C_{FME}	3.1144	3.1144	3.1144
EEDI, gCO ₂ /(t.nm)	2.83048	3.09961	3.02505

Табл.5. Параметри на вариантите ГД при 75% натоварване

Получените резултати за изчисления конструктивен индекс за енергийна ефективност на кораба – EEDI, (g-CO₂)/(t.nm) са показани в табл.5.

Изискваната допустима стойност на EEDI (Required EEDI) за новите кораби се определя както следва [1,2, 6]:

$$(6) \ Required \ EEDI = (1 - X/100) \cdot a \cdot b^{-c}$$

, където : $X=20$ - редуциращ фактор съгласно таблица 6; a,b, c – параметри на референтните криви, определени чрез регресионен анализ за отделните типове кораби съгласно таблица 7 ($a=961,79$, $b=DWT$, $c=0,477$).

Applicable Ship Types and Reduction Factors (in %)

Ship Type	Size	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk Carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas Carrier	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container Ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

Табл.6. Стойности на коефициента на редукция X в зависимост на типа на кораба

Ship type	a	b	c
Bulk carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
Gas carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
Container ship	174.22	DWT of the ship	0.201

Табл.7. Параметри на референтните криви в зависимост от типа на кораба

Phase	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 След 1 Jan 2025
Required EEDI	4,54649	4,09184	3,63719	3,18254

Табл.8. Стойности на Required EEDI (REEDI) за кораба при различните фази

Получените резултати за изискваната допустима стойност (Required EEDI) при различните фази са показани в табл.8. Влиянието на пропульсивните параметри (мощността-Р и оборотите-п) върху индекса за енергийна ефективност EEDI определяме чрез сравняването на EEDI на отделните варианти, спрямо EEDI на варианта №1:

$$(7) \quad dEEDI_i = \frac{(100 \cdot EEDI_{var\ i})}{EEDI_{var\ 1}}$$

4. Изводи

4.1.Получените изчислени стойности на конструктивния индекс за енергийна ефективност EEDI за трите варианта удовлетворяват изискванията на конвенцията MARPOL Annex VI до 31 декември 2024г., и след 1 януари 2025г.

$$EEDI_{var\ i} < REEDI = 3,183$$

4.2.Влиянието на пропульсивните параметри върху индекса за енергийна ефективност EEDI при сравнението на вариантите е $dEEDI = 6.87 \div 9,5 \%$.

Литература:

1.Implementing Energy Efficiency Design Index (EEDI).Indian Register of shipping, 2017.

2. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines, International Maritime Organisation, London, January 2016.

3.Marine Engine IMO Tier II and Tier III Programme 2016, MAN Diesel & Turbo, 2016.

4. В.А. Йорданов. Оптимизиране положението на пропульсивните точки в мощностното поле на корабен двигател при проектиране на пропульсивната уредба. Морски научен форум, ВВМУ „Н.Й. Вапцаров”, Варна, 2003 .

5. Yordanov V., Danilovskiy A., Htet Paing Aung. Layout and location of the power plant equipment and general ship’s systems equipment of transport ships. Fifteenth International Online Conference on Marine Sciences and Technologies, Black Sea 2020, Varna, p.231-237.

6.Zabi Bazari, MARPOL Annex VI, Chapter 4 – Energy Efficiency Regulations.National Workshop on Ratification and Effective Implementation of MARPOL Annex VI for Egypt, November 2020.

За контакти:

д-р Владимир Йорданов,
ТУ – Варна, катедра „Корабостроене,
корабни машини и механизми ”
e-mail: v_jord2@abv.bg

ОБСЪЖДАНЕ НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА СВЕТЛИНАТА В СПИРАЛНИ ФОТОННО КРИСТАЛНИ ОПТИЧНИ ВЛАКНА

Жейно Иванов Жейнов¹, Десислава Димитрова Ангелова²

DISCUSSING OF LIGHT PROPAGATION IN SPIRAL PHOTONIC CRYSTAL FIBERS

Zhejno Ivanov Zhejnov¹, Desislava Dimitrova Angelova²

Резюме: В статията се изследват равноъгълни спирални фотонни кристални влакна (ES-PCF) и други спирални дизайни на фотонно кристални влакна (PCF). Описва се математически дизайна на напречното сечение на ES-PCF и свойствата на този клас оптични влакна. Въведени са и са анализирани PCF на Архимед (AS-PCF) и влакна със спирала на Ферма (FS-PCF). Изследването на техните параметри е обяснено с кратки резултати от симулация. Обсъждат се резултатите, за да се тества ефектът от различните параметри на дизайна на спиралните PCF върху техните оптичните свойства.

Ключови думи: фотонни оптични влакна, спирала, дизайн, оптични свойства, параметри.

Abstract: The paper examines equiangular spiral photonic crystal fibers (ES-PCF) and other spiral photonic crystal fiber (PCF) designs. The cross-sectional design of ES-PCF and the properties of this class of optical fibers are described mathematically. Archimedean PCF (AS-PCF) and Fermat spiral fiber (FS-PCF) are introduced and analyzed. The study of their parameters is explained with brief simulation results. Results are discussed to test the effect of different design parameters of spiral PCFs on their optical properties.

Keywords: photonic crystal fibers, spiral, design, optical properties, parameters

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Оптичните свойства на влакното са важни за избора на правилен дизайн за специфично приложение. Сумата на времето и парите за производството на влакното са важен фактор за крайната му цена. Ако влакното има неподходящ дизайн, то може да не отговаря на спецификациите. Експерименталните техники са скъпи и консумират много време. Освен това вариацията на параметрите обикновено е ограничена от наличността на ресурса [1]. Ето защо преди да се изработи самото влакно се прави проучване и прогнозиране на характеристиките на влакното. С изчислителни методи се симулира дизайна на оптичното устройство и на някои явления, които не могат да бъдат постигнати с наличната технология. Процесът намалява разходите и времето, нужни за изработката на оптичното влакно. Резултатите от симулацията се обработват и анализират дали отговарят на приложението. Ако те не отговарят на желаните спецификации, се прави редизайн и повторно тестване няколко пъти, докато спецификациите бъдат удовлетворени.

II. МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО:

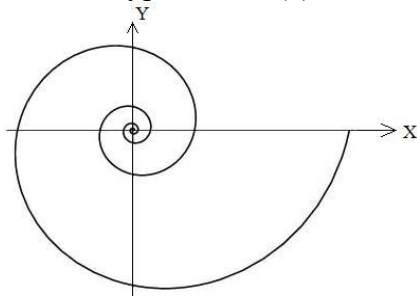
Работата представя симулация на спирални фотонно-кристални влакна (PCF) с цел проучване на някои техни оптични свойства. Използва се метода на крайните елементи (FEM). Този метод позволява произволен индексен профил да бъде представен по-ефективно и с по-добро приближение в честотния домейн, отколкото с другите методи. Симулацията на оптичен вълновод изисква използване на електромагнитната теория на полето. От уравненията на Максвел се извеждат вълновите уравнения. После се прилагат съответните изчислителни методи и FEM.

Проблемът, който ни интересува, се представя с математически уравнения, които само в ограничени случаи могат да бъдат решени точно. Те може да се решат приближено, като се направят съответните допускания [2].

Обсъжда се прилагането на спиралите (равноъгълна, архимедова и спирала на Ферма) във PCF.

В полярни координати равноъгълна

спирала е показана на фиг. 1 и представена [3] математически с уравнение (1).



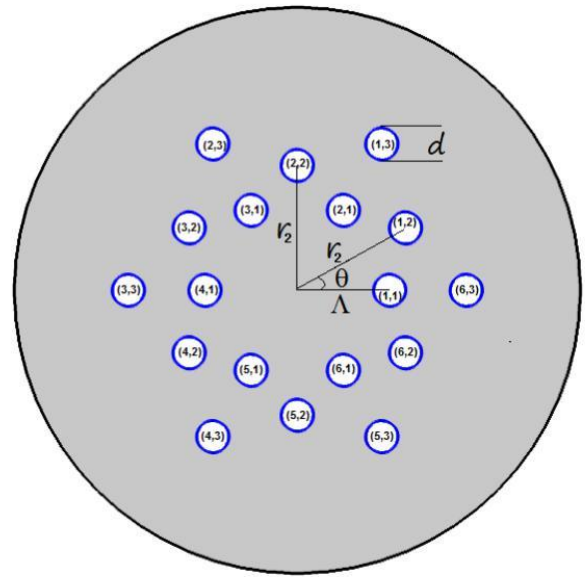
Фиг. 1. Равноъгълна спирала

$$r(\theta) = ae^{b\theta} \quad (1)$$

където θ е ъгълът измерен спрямо X оста, а e е скалар за мащабиране на кривата, коефициентът b контролира стегнатостта на спиралата и в каква посока расте. Спиралата расте обратно на часовниковата стрелка за положителни стойности на b и по посока на часовниковата стрелка за отрицателни стойности. Стойността на θ контролира броя на завоите на кривата. Едно завъртане на кривата изисква стойност $\theta = 2\pi$.

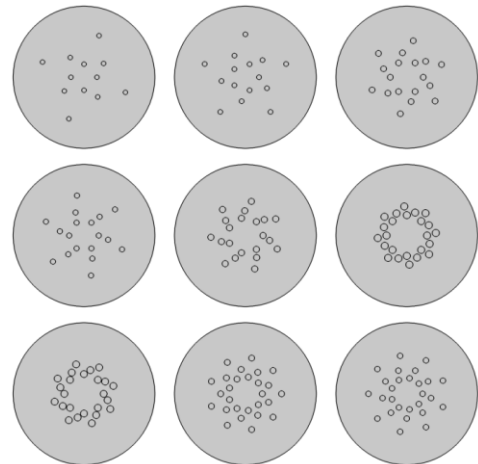
Разстоянията между завоите се увеличават в геометрична прогресия, което разграничава равноъгълната спирала от Архимедовата спирала (AS). Друго свойство на равноъгълната спирала е, че всички радиуси образуват постоянни ъгли с кривата, заради което се нарича "равноъгълна спирала".

Позицията на отворите в ES-PCF може да се управлява. Уравнение (1) се използва за изчисляване на разстоянието на центъра на дупките по отношение на центъра на структурата, зададен като начална точка, а във формулата за ES-PCF като Λ . Параметрите на ES-PCF, използвани за манипулиране на структурата в тази работа, са шест; брой рамена (N рамена), брой пръстени във всяко рамо (N пръстени), ъгълът между два последователни отвора на едно и също рамо (θ), скоростта на растеж на спиралата (b), който е фиксиран за даден брой рамена в ES-PCF и последните два параметъра, които са свързани един с друг като съотношение на размера на отвора (d) и стъпка (Λ). Съотношението d/Λ варира в зависимост от b , N и θ .



Фиг. 2. Схема на напречно сечение на ES-PCF

Разстоянието r_1 от центъра на конструкцията до първия отвор се изчислява с формула (1), където ъгълът с оста X е $\theta=0$. По същия начин разстоянието на втория отвор (r_2) се изчислява като ъгълът с оста X е равен на θ , третият отвор е под ъгъл 2θ и така нататък с всеки добавен отвор в рамото, ъгълът се увеличава с еднократно първоначалната му стойност. За n -тия отвор ъгълът е $(n-1)\theta$. Същата процедура се следва за всяко рамо, но оста се завърта на ъгъл от π/N . Следователно разстоянието на втория отвор от центъра е $r_2 = \Lambda e^{b\theta}$. Фигура 2 показва схематично напречно сечение на ES-PCF структура с 6 рамена и 3 пръстена. Дупките на фигурата са номерирани като (i, j) , където i е номерът на рамото, а j е номерът на пръстена.



Фиг. 3. Разпределение на отворите на ES-PCF

На фиг. 3 е показано напречно сечение на ES-PCF с 4 пръстена, където рамената N и θ са различни. Като се започне от горния ляв ъгъл и се придвижи надясно, стойностите се определят като набор от двойки (N, θ) както следва: (4, 35), (5, 45), (6, 40), (6, 50), (7, 40), (8, 25), (8, 30), (9, 60), (9, 70).

Броят на рамената може да варира на практика от 3 до малко над 10, тъй като дупките се събират близо една до друга за повисоки стойности на N рамена, оптималният диапазон е 5 до 8, за да се получи уникалната характеристика на дизайна ES. За по-малки стойности на N рамена размерът на дупките трябва да е голям, за да ограничи светлината в сърцевината.

Най-важният оптичен параметър е индексът на пречупване n . Изчислява се чрез уравнението (2) на Sellmeier [4], където всеки материал има различни коефициенти. Симулациите в тази работа са извършени за влакна със силициев диоксид, телурит и SF57.

$$n^2 - 1 = \sum \frac{B_j \lambda^2}{\lambda^2 - A_j^2} \quad (2)$$

Коефициентите A_j и B_j за материала на влакното са дадени в Таблица 1.

Таблица 1. Коефициенти на Sellmeier

Коефициент	1	2	3
A_j	0.0684043	0.1162414	9.896161
B_j	0.6961663	0.4079426	0.8974794

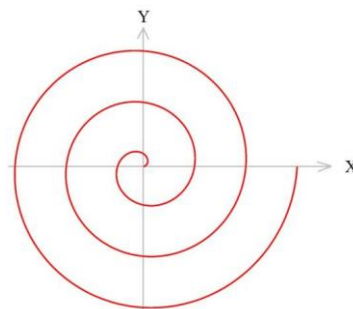
Архимедовата спирала (AS) се представя графично чрез точка, която се движи от началната точка с постоянна скорост по радиуса r , като се върти с постоянна ъглова скорост.

В полярни координати AS е показана на фиг. 4 и е представена математически с уравнение (3).

$$r = a + b\theta \quad (3)$$

Началната точка на спиралата зависи от стойността на константата a , а разстоянието на разделяне между две последователни завъртания се контролира от коефициентите θ и b . Това разстояние е с постоянна стойност, равна на $2\pi b$, където θ се измерва в радиани. Това го отличава от равноъгълната спирала. Архимедовата спирала се състои от две рамена, едното за положителна стойност на θ ,

а другото за отрицателна стойност на θ . На фигура 4 е показано само едно рамо. Второто рамо е отразеното изображение на това рамо от Y -оста. Тези две рамена са свързани в центъра.

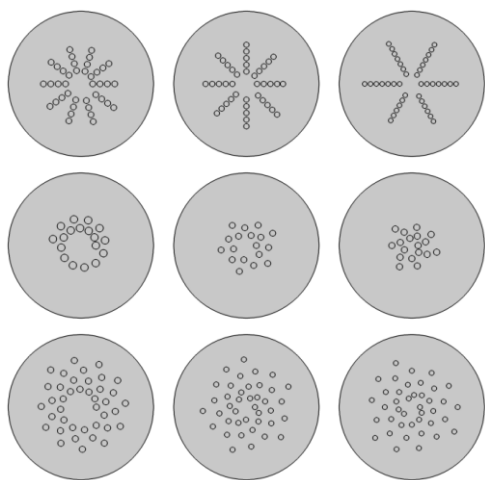


Фиг. 4. Архимедова спирала

Дизайнът има характеристики, които са подобни на ES-PCF. Има пет параметъра, които могат да се променят в структурата на AS-PCF. Три от тях a , b и θ са в уравнението, а другите две са брой дупки N и диаметър на дупките d . Параметърът a е подобен на Λ и както в ES-PCF е разстоянието от центъра на сърцевината до центъра на първия отвор и контролира размера на сърцевината. Вторият параметър b е стегнатостта на спиралата.

или разделянето между завъртанията, т.е. контролира съотношението на разстоянието между отворите от центъра към посоката навън. Ъгълът θ е подобен на ES-PCF, тъй като е ъгълът между два последователни отвора. Голямата стойност на θ би довела до големи празнини между дупките, което води до лошо задържане на светлина в сърцевината. Това се случва със стойностите на θ , които са делител на 2π , както е показано на фигура 5 (3 фигури на първи ред с $\theta = 36^\circ$, 45° и 60° отляво надясно).

За големите стойности на θ (над 90°) дупките са разпръснати, без ясно изразена сърцевина - фигура 5 (ред 2, колона3). От страната с малка стойност дупките са опаковани близо една до друга, така че се образува само един пълен кръг от дупки около сърцевината - фигура 5 (ред 2, колона 1). Най-добрите стойности за θ от гледна точка на физическото оформление са в средния диапазон около 65° - фигура 5 (ред 2, колона 2). Това обаче е валидно, когато броят на дупките е малък ($N < 30$).



Фиг. 5. Различно разпределение на отворите AS-PCF. $N=18$ (среден ред), $N=40$ (горен и долен ред) за различни θ стойности. От горния ляв ъгъл надясно стойностите на θ са 36° , 45° , 60° , 31° , 67° , 105° , 31° , 67° и 110°

Когато има голям брой дупки, θ може да бъде малък, тъй като дупките биха образували няколко кръга, обграждащи сърцевината - фигура 5 (ред 3, колона 1). За големи стойности на θ стойността на Λ трябва да бъде голяма, за да се образува разумен размер на сърцевината по отношение на пространството между отворите в областта на облицовката - фигура 5 (ред 3, колона 3).

Средният диапазон е подобен и в двата случая.

Ефективността на PCF зависи главно от размера на ядрото и ефективния индекс на облицовката. Размерът на сърцевината е силно зависим от Λ и размера на дупките в първия завой на спиралата, където радиусът на сърцевината е равен на $(\Lambda - d/2)$ в случай на кръгли отвори. Ефективният индекс на облицовката зависи както от разпределението на отворите, така и от техните размери. В AS-PCF разпределението на отворите се управлява от три параметъра: N , b и θ . Размерът на отвора се изчислява чрез диаметъра d .

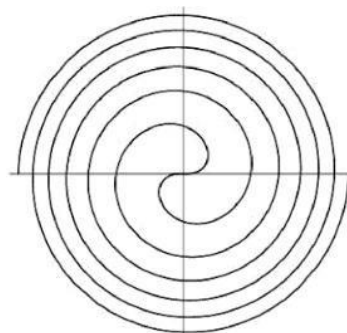
Спиралата на Ферма (FS) е известна още като параболична спирала. По-долу е представена (4) математическата формула на FS.

$$r = \theta^{1/2} \quad (4)$$

където r е радиалното разстояние, а θ е ъгълът в полярни координати.

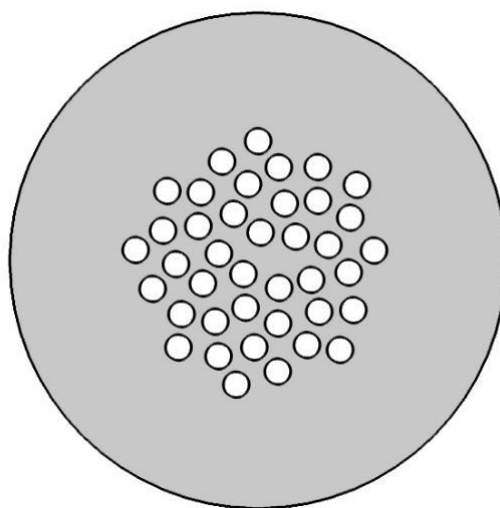
За всяка дадена положителна стойност на θ има две стойности на r , които имат

противоположни знаци. Затова получената спирала е симетрична спрямо началото и линията $y = -x$. Общото графично представяне на спиралата е дадено на фигура 6.



Фиг. 6. Спирала на Ферма

Разпределението на отворите в спиралата на Ферма е показано на фигура 7, която има ъгъл $\theta = 222,5^\circ$.



Фиг. 7. Разпределение на отворите в FS

От формулата става ясно, че има по-малко параметри за промяна в FS-PCF спирали. Параметрите, които се променят в FS-PCF, са брой дупки N , размер на дупката и размер на стъпката Λ . Размерът на сърцевината зависи от Λ , подобно на други спирални конструкции. Разликата в тази спирала е, че стойността на Λ е избрана малка в сравнение с размера на отвора, където съотношението d/Λ може да надвишава 1. Ядрото се формира чрез пропускане на първия отвор. Ядрото е повече контролирано в това PCF от броя на пропуснатите отвори, а не само от стойността Λ . Пропускането на дупки в FS-PCF води до

напълно различна форма на сърцевината. Промяната във формата на ядрото може да предложи различни свойства за всяка FS-PCF структура.

Изследването на броя дупки N показва, че трябва да бъде достатъчно голям, за да ограничи полето. Друг параметър, който може да се променя в FS-PCF, е радиусът на отвора d . Ефективната площ A_{eff} и n_{eff} за двата режима намаляват с увеличаване на радиуса на отвора както при случая на вариране на Λ , където n_{eff} и A_{eff} следват подобни тенденции. Радиусът на отвора има противоположен ефект на Λ . Ако размерът на отвора се увеличи, сърцевината става малко по-малка и пространството между дупките намалява [5].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Разглеждат се възможностите за промяна на параметрите на спиралата и чрез анализ на резултата може се намери най-подходящото приложение за съответния вид PCF. Трите типа спирални влакна имат общи параметри, които са стъпка и размер на отвора. Спиралата на Ферма има най-малко параметри за промяна, тъй като ъгълът между дупките е фиксиран. Тя показва големи стойности на двойно лъчепречупване поради асиметрия на ядрото.

Архимедовата спирала има два други параметъра, които са различни; ъгълът между отворите и параметъра b , който контролира плътността на спиралата (разстоянието между последователните завои). Архимедовата спирала е много ефективна при разпределението на дупките, когато броят им е голям.

Равноъгълната спирала (ES) има два параметъра, които контролират броя на дупките: броят на рамената и пръстените. Те могат да се контролират отделно. Ефективен дизайн обаче не може да се реализира, ако отворите са просто число. Отворите са разположени по симетричен начин и могат да се контролират по-свободно. Равноъгълната

спирала се манипулира, за да се улеснят възможностите за изработване на екзотични дизайни с традиционната техника Подреждане и Теглене (SaD).

IV. ЛИТЕРАТУРА:

- [1] M. N. Sadiku, Numerical Techniques in Electromagnetics. (CRC Press, New York, 2001).
- [2] T. Rylander, P. Ingelström, and A. Bondeson, Computational Electromagnetics. (Springer, New York, 2013).
- [3] E. W. Weisstein, CRC Concise Encyclopedia of Mathematics, Second Edition. (CRC Press, New York, 2003)
- [4] TIE-29 Refractive Index and Dispersion. Technical Information, Advanced Optics. SCHOTT AG, Mainz, Germany, 2016.
- [5] A. Agrawal, N. Kejalakshmy, J. Chen, B. M. A. Rahman, and K. T. V. Grattan, Golden spiral photonic crystal fiber: polarization and dispersion properties, Optics Letters, vol. 33, no. 22, pp. 2716–2718, 2008.

За контакти:

¹ доц. д-р инж. Жейно Ив. Жейнов
катедра „КНТ”

Технически Университет – Варна
e-mail: zh_viv@tu-varna.bg

¹ Assoc. prof. Eng. Zhejnov I. Zhejnov PhD
Department „CST”

Technical University of Varna

² ас. инж. Десислава Д. Ангелова
катедра „КНТ”

Технически Университет – Варна
e-mail: d.zhejnova@tu-varna.bg

² Ass. prof. Eng. Desislava D. Angelova
Department „CST”,

Technical University of Varna

АЛКОХОЛИТЕ, КАТО ДОБАВКА КЪМ ДИЗЕЛОВО ГОРИВО

Даниел Костадинов¹

ALCOHOLS AS AN ADDITIVE TO DIESEL FUEL

Daniel Kostadinov¹

Резюме: Докладът разглежда възможността за добавяне на алкохоли към дизелово гориво и анализира предимствата и проблемите, възникващи при тяхното използване. Описани са различните видове алкохоли, като метанол, етанол, изопропанол и n-бутанол, които могат да се използват като добавки към дизела. Основните предимства включват подобряване на горивните свойства, намаляване на емисиите на твърди частици и вредни емисии, както и по-пълно изгаряне на горивото. В същото време са отбелязани и проблемите при използването им, като проблеми с разтворимостта, намаляване на цетановото число и необходимостта от допълнителни мерки за безопасност.

Ключови думи: дизелово гориво, алкохоли, етанол, метанол, изопропанол, n-бутанол

Abstract: The report examines the feasibility of adding alcohols to diesel fuel and analyzes the advantages and issues arising from their use. Various types of alcohols are described, such as methanol, ethanol, isopropanol, and n-butanol, which can be used as diesel additives. The main advantages include improvement in fuel properties, reduction of particulate matter and noxious emissions, as well as more complete fuel combustion. At the same time, the issues related to their use are noted, including solubility problems, reduction of cetane number, and the need for additional safety measures.

Keywords: Diesel, alcohols, ethanol, methanol, isopropanol, n-butanol

I. ВЪВЕДЕНИЕ (INTRODUCTION):

Дизеловите двигатели намират приложение в различни сфери, включително автомобилния транспорт, тежката индустрия, селскостопанската техника и морския транспорт. Дизеловото гориво е невъзобновяем ресурс, който с времето ще се изчерпва поради прекомерната му употреба и производство. Освен това, емисиите от изгарянето на дизелово гориво допринасят за множество проблеми, засягащи човешкото здраве и околната среда. Забавянето на изчерпването на дизеловото гориво и намаляването на вредните емисии може да се постигне чрез използването на гориво-алкохолни смеси. [1].

II. ИЗЛОЖЕНИЕ (EXPOSITION):

Първичните алкохоли (метанол, етанол и бутанол) са широко разпространени и често използвани алкохоли в двигателите с вътрешно горене. [2]

Метанолът е безцветна течност с характерна миризма и е добър полярен разтворител. Силно е токсичен, както при вътрешно приемане, така и през кожата или чрез вдишване на парите му, като е възможно и настъпването на смърт вследствие на

парализа на дихателните пътища. Метанолът се използва в органичния синтез за получаване на формалдехид, за производство на биодизелово гориво. Използва се и при двигателите с вътрешно горене, като добавка към основното гориво (бензин или дизелово гориво) или като самостоятелно гориво за двигатели с принудително възпламеняване.

Етанолът е безцветна течност, която в природата се среща, като продукт на ферментационни процеси, под действието на дрожди. Промислено етанолът се получава чрез хидратация на алкени, които са сравнително евтин отпаден продукт при преработката на нефта (при т.н. крекинг процес). При дестилация се отделя като азеотропна смес, със съдържание на етанол 95,6 %. За получаване на 100% етанол се прилага азеотропна дестилация.

Етанолът е протоплазмена отрова, коагулира белтъчните вещества от цитоплазмата и умъртвява живите клетки. Продължителната му употреба води до хронично отравяне, увреждане на ЦНС, както и на някои вътрешни органи: черен дроб, сърце, бъбреци, панкреас, стомашно-чревен

тракт и др. Засягат се и носителите на наследствеността.

Като друг проблем за употребата на етанол, като гориво се обособява и фактът, че за добиването му се използват култури, които са жизнено необходими в някой краища на света.

Добавянето на метанол и етанол към дизелово гориво води до намаляване цетановото число на смесите и висока температура на самовъзпламеняване. За намаляване на тази температура, могат да се добавят подобрители на цетановото число. Освен това, поради полярния характер на метанола, той не се смесва с дизелово гориво. Могат да се използват добавки за получаване на стабилни смеси метанол-дизел. Проблемите със смесването на метанол с дизелово гориво могат да бъдат пренебрегнати чрез използване на техниката на фумигация с добавяне на алкохол. При този метод, алкохолът се добавя към въздуха, влизащ във входящия колектор чрез впръскване, като са необходими отделни линии за подаване на гориво и система за управление. При фумигацията алкохолът се пулверизира и след това се смесва с входящия въздух, което намалява температурата на въздушно-алкохолната смес и увеличава нейната плътност, в резултат на което може да се достави голямо количество въздушно-алкохолна смес и да се получи повече мощност от двигателя. Тъй като алкохолът се смесва с входящия въздух, не възникват проблеми със смесването и следователно не са необходими допълнителни добавки при фумигацията с алкохол.

При използването на етанол, като гориво в двигател с вътрешно горене, етанолът има много благоприятни свойства, като нисък вискозитет, високо съдържание на кислород, високо съдържание на въглеродороди (СН), ниско съдържание на сяра и ниска температура на изпаряване, което подобряват неговата обемна ефективност. Етанолът има по-нисък вискозитет в сравнение с дизеловото гориво, което води до по-добро разпръскване на гориво в цилиндъра, като подобрява смесообразуването. [3]

Поради по-ниската калоричност на метанола и етанола спрямо дизеловото гориво

разходът на гориво се увеличава. Ниското налягане на парите затруднява пускането в студено време. А при студен двигател се получава отмиване на масления филм от стените на цилиндрите, което води до ускорено износване на цилиндрите и буталните пръстени.

Според свойствата, посочени в Таблица 1 и Таблица 2 [4], сред тези горива метанолът има най-ниска топлотворна стойност, което води до по-висок специфичен разход на гориво в сравнение с другите алкохоли.

Изопропанолът е безцветна течност с характерна миризма и температура на кипене 357,1 К. Добрите му свойства и способността му да се разтваря във вода определят неговото използване в промишлеността в качеството му на разтворител и като антиобледенител за крилата на самолетите. Получава се промишлено, чрез хидратация на пропен, а самият пропен се получава при крекинга на нефта.

Бутанолът е безцветна течност, отличаващ се с остра миризма. Счита се за най-перспективен сред тези първични алкохоли поради своите по-подходящи свойства. Поради по-дългата си въглеродна верига в сравнение с нисшите алкохоли, бутанолът може да се смесва с традиционни горива във всякакви концентрации, без да причинява проблеми с разтворимостта.

По-високата температура на възпламеняване на бутанола го прави по-безопасен, а също така е по-малко корозивен от другите нисши алкохоли. По отношение на горивните свойства, топлотворната стойност на бутанола е по-висока от тази на останалите нисши алкохоли, което води до подобрен специфичен разход на гориво. Цетановото число на бутанола също е по-високо в сравнение с метанола и етанола, което осигурява по-кратко забавяне на възпламеняването.

Таблица 1. Физикохимични свойства на алкохоли

Параметър	Метанол	Етанол	Изопропанол
Хим. формула	CH_3OH	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$
Молеку-	32,04	46,07	60,1

Плътност, g/cm ³	0,791	0,794	0,80-0,805
Съдържание на кислород, масови %	49,9	34,7	26,6
Теоретично необходимо количество въздух за пълното изгаряне на 1 kg гориво, kg	6,45	9	10,4
Специфична топлина на изпарение, kJ/kg	1189	921	758
Специфична топлина на изгаряне, kJ/kg	19 900	27 000	30 400
Октаново число, ИМ	112	111	112
Цетаново число	3	8	10-12
Температура на замръзване, К	175	159	-
Температура на кипене (0,1MPa), К	337,7	351,5	357,1
Температура на самовъзпламеняване, К	743	673-733	672,1

Таблица 2. Физикохимични свойства на п-бутанол и дизелово гориво

Параметър	п-бутанол	Дизелово гориво
-----------	-----------	-----------------

Хим. формула	C ₄ H ₉ OH	C _n H _m
Молекулна маса	74,12	-
Плътност, g/cm ³	0,810	0,82-0,85
Съдържание на кислород, масови %	21,6	0
Теоретично необходимо количество въздух за пълното изгаряне на 1 kg гориво, kg	11,2	14,6
Специфична топлина на изпарение, kJ/kg	716	544-796
Специфична топлина на изгаряне, kJ/kg	33 100	40610-41870
Октаново число, ИМ	96	-
Цетаново число	17	45-56
Температура на замръзване, К	-	254-243
Температура на кипене (0,1MPa), К	391,15	543-633
Температура на самовъзпламеняване, К	616,15	623

Бутанолът има редица предимства в сравнение с етанола, който сега се използва като основно биогориво, първият е с по-

висок енергиен потенциал, хидрофобност и сравнително ниска корозивна активност. Бутанолът се характеризира с най-висока

енергийна концентрация сред разгледаните в статията алкохоли. Това го прави подходящ за добавка към дизеловото гориво, като по този начин ще има най-малко намаляване на калоричността.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION):

В заключение, алкохолите, като добавки към дизелово гориво, допринасят за подобряване на горивните характеристики, като повишават ефективността на изгарянето и намаляват емисиите на вредни вещества, включително твърди частици, въглероден оксид и азотни оксиди.

Използването на алкохолите включени в публикацията добавени към дизеловите горива предлага екологични и икономически ползи, като същевременно подкрепя прехода към по-устойчиви енергийни източници.

IV. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

[1] V. R. Georgieva, D.K. Kostadinov and K. C. Bogdanov, “Study of working process of diesel engine when working with addition of alcohol”, PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2020, volume 59, 2020, pp. 57–61.

[2] M. Bannikov, S. E. Gillani and I.Vasilev, „Effect of alcohol additives on diesel engine performance and emissions”, Journal of International Scientific Publications, 2015, pp. 8-19

[3] E. Mitev and S. Iliev, “Ethanol as an alternative fuel for diesel engines”, PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2022, volume 61, book 4.1., pp. 116–120.

[4] Димитров. А., Богданов. Кр. “Експлоатационни материали в транспортната техника”, Варна 2010, с. 106, [Dimitrov. A., Bogdanov Kr., “Eksploatacionni materiali v transportnata tehnika”, Varna 2010, p. 106]

За контакти (Affiliation):

¹ инж. Даниел Костадинов
катедра „Транспортна техника и технологии“
Технически Университет – Варна
e-mail: danny.kostadinov@gmail.com
¹ Eng. Daniel Kostadinov
Department „Automotive engineering“
Technical University of Varna

PROPOSAL FOR ENRICHING THE EXHIBITIONS
OF TWO VARNA MUSEUMS WITH XR TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

Nadya Stamatowa

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА ОБОГАТЯВАНЕ НА ЕСКПОЗИЦИИТЕ
НА ДВА ВАРНЕНСКИ МУЗЕЯ С XR ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ

Надя Стаматова

Abstract: This publication presents ideas and technological opportunities for organizing a new approach to museum exhibitions in the context of the development of immersive technologies of extended reality – virtual, augmented, and mixed. The demonstration objects used are two neighbouring sites in the city of Varna: the archaeological site Small Roman Thermae and the Museum of New History of Varna. Based on the analysis of the location and spatial characteristics of the two sites and their historical contexts, the principles of a multi-layered spatial-temporal scenario for an educational tour of the two museums are developed. The scenario covers three historical periods: Antiquity, the Middle Ages, and the Modern era. In spatial terms, the Antiquity period includes the following sites: the Small Roman Baths in ancient Odessos, a Roman street leading to the baths, a building with a high base and pedestals along the street, and a Roman city house with an impluvium. The Middle Ages are represented by the fortress walls of the citadel and its eastern bastion, while the Modern era is represented by the current building of the Museum of New History of Varna, during the years when it was used as a prison. This period also includes the museum's courtyard and the streets adjacent to it, as they were at that time.

Keywords: virtual museums, immersive technologies, extended reality, virtual reality, mixed reality, augmented reality, added reality, overlay reality, XR, VR, MR, AR, scenarios, artificial intelligence, AI

Резюме: Тази публикация представя идеи и технологични възможности за организиране на нов начин на музейни експозиции в контекста на развитието на имерсивните технологии на разширената реалност – виртуална, аугментирана и смесена. Като демонстрационни обекти са използвани два съседни обекта в гр. Варна: археологическият обект Малки римски терми и Музеят за нова история на Варна. На база анализ на местоположението и пространствените характеристики на двата обекта и на историческите им контексти, са развити принципите на многопластов пространствено-времеви сценарий за познавателен обход на двата музея. Сценарият обхваща три исторически периода: Античност, Средновековие и Ново време. В пространствен аспект, периодът Античност е представен от следните обекти: Малките римски терми в античния Одесос и римска улица, водеща до термите, сграда с висок цокъл и постаменти към улицата, градска римска къща с имлювий. Периодът Средновековие е представен от крепостните стени на цитаделата и източния ѝ бастион, а периодът Ново време – от сградата на сегашния Музей за нова история на Варна в години, в които тя е била ползвана за затвор. В последния период са включени и нейният двор, както и тангиращите я улици, такива каквито са били по това време.

Ключови думи: виртуални музеи, имерсивни технологии, разширена реалност, виртуална реалност, смесена реалност, аугментирана реалност, добавена реалност, насложена реалност, XR, VR, MR, AR, сценарии, изкуствен интелект, AI

This publication presents ideas and technological opportunities for organizing a new approach to museum exhibitions in the context of the development of immersive technologies of extended reality (XR) – virtual (VR), augmented (AR), and mixed (MR).

I. LOCATION AND DESCRIPTION
OF THE SITES

Both sites are situated in the current "Greek Quarter" in the old part of Varna—a city on the western coast of the Black Sea, known in antiquity as Odessos. The sites are:

- The archaeological site of the Small Roman Baths
- The Museum of New History of Varna

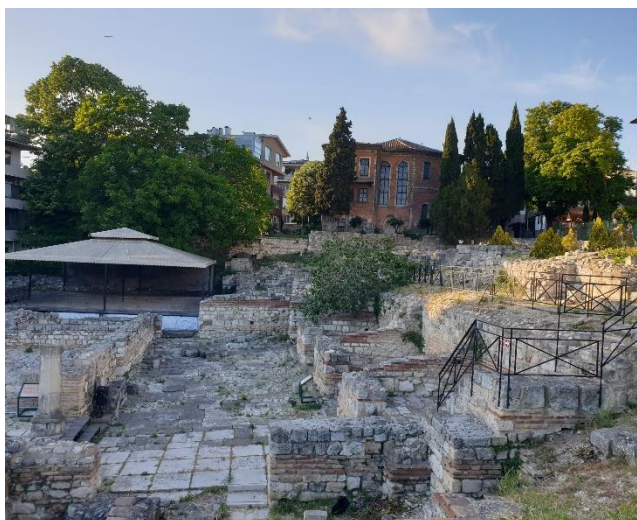


Fig.1 A view over the ruins of the Small Roman Thermae toward the building of the Museum of New History of Varna (photo:N.Stamatova, 2024)

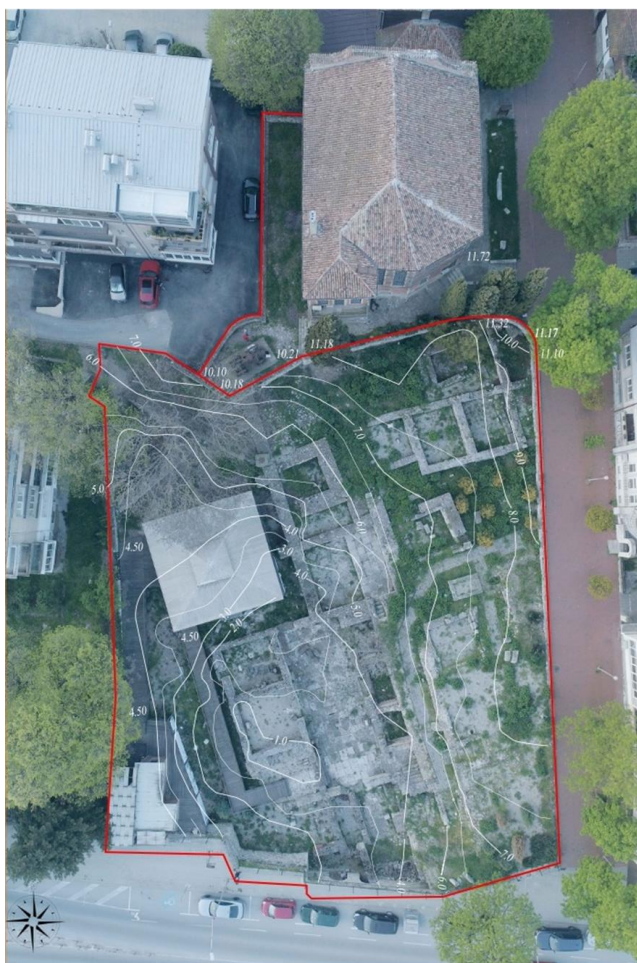


Fig.2 A view over the ruins of the Small Roman Thermae and the building of the Museum of New History of Varna
(aerial photo: I. Atanasov, 2024,
combined drawing: N.Stamatova. 2024)

The Small Roman Baths (fig.1) form an archaeological site where the floor level of the ruins lies significantly below the surrounding streets, at an elevation of 1 meter above sea level (fig.2). These baths were constructed following the decline of the Imperial Roman Thermae (the so-called "Large Baths") of ancient Odessos. The main entrance to the Small Roman Baths is located on their short northern façade, accessed via a Roman street. The heated rooms are oriented southward, and wastewater was directed in the same direction. At the time of their use, the cultural layer that now forms a high earth mound did not exist, and there was a wide sandy shoreline facing the south-oriented Varna Bay. East of the Roman street lies a building situated on a base approximately 1.5 meters high. This structure has a long façade with rhythmically arranged pedestals. The building was accessible from the higher natural terrain.

Above these structures, at an elevation of 8 meters above sea level (fig.2), stood a Roman urban house with an impluvium (a central pool). The layout of the house may have been U-shaped, with the open side facing west, where no room remnants have been discovered. From this vantage point, it is likely that there was a view over the roof of the lower building towards the Roman street, the entrance to the baths, and further westward towards Varna Lake. This house was situated at a prominent height, only a few dozen meters from Cape Varna, along which the current breakwater has been constructed.



Fig.3 The building of the Museum of New History of Varna
(photo: N.Stamatova. 2024)



Fig.4 The prison of Varna (archive photo: ~1920)



Fig.5 The prison of Varna (archive photo: ~1920)

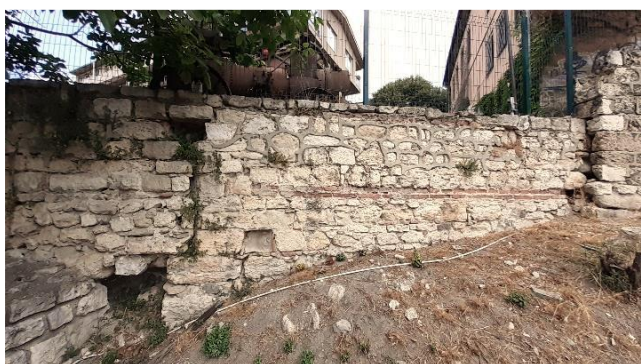


Fig.6 Authentic south wall of the yard of the prison (photo: N.Stamatova, 2024)

The museum building was likely constructed in 1832 on the foundations of Varna's citadel (inner fortress) [1],[2],[3] following the peace treaty after the Russo-Ottoman War of 1828–1829. A review of the building's historical development and the evolution of its layout in accordance with changes in its functions reveals that it gained a full basement only during its reconstruction as the Museum of the Revolutionary Movement, based on a 1965 project. The building of the current

museum has undergone numerous changes in its purpose over the years:

- 1832: Constructed as a residential building (possibly with additional storage and commercial functions)
- 1853: Consulate of the Kingdom of Belgium
- 1857: Hotel
- 1915: Dormitory for the Naval Engineering School
- 1917: Prison (fig.4), (fig.5)
- 1929: Commercial and industrial use
- 1945: Storage for theater scenery
- 1961: Museum (fig.1), (fig.3), (fig.7)



Fig.7 The corner of the museum, central point of the demolished East bastion of the Varna citadel (photo: N.Stamatova, 2024)

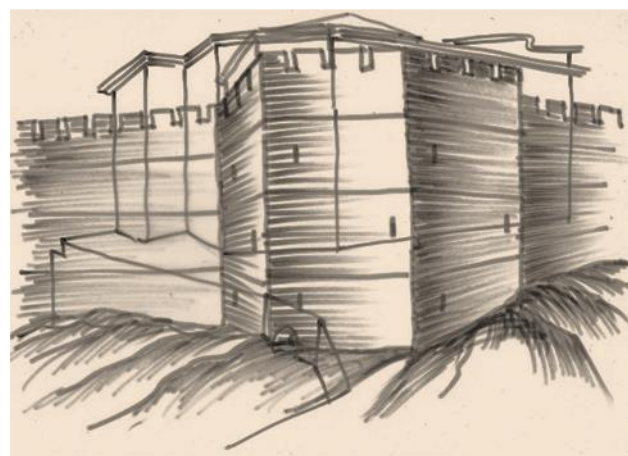


Fig.8 The estimated volume of the eastern bastion compared to the volume of the museum building (drawing: N.Stamatova, 2024)

II. CONNECTION OF CONTEXT RATHER THAN PHYSICAL SPACE

While the archaeological site and the museum building are located near each other in Varna, their historical functions and the periods they represent differ significantly. Instead of trying to physically connect them, the goal is to establish a deeper contextual connection through modern immersive technologies. This will allow visitors to experience the sites in a holistic manner, exploring the continuity of history and the way these spaces have evolved over time.

Although at first glance the objects seem to be two, there is also a "hidden" object between them - the medieval citadel and its eastern bastion (fig. 8), over which the current museum building is constructed. The Small Roman Thermae, the Roman street, and the long building were destroyed and covered by cultural layers. The Roman urban house was also destroyed. On its ground level, at the location of the northern wing of the rooms, a defensive tower (the eastern bastion) was constructed. This hexagonal tower is part of the medieval citadel and stands out as the most important and unique bastion, distinct from the others, which were square in plan.



Fig.9 Scenario “Middle Ages”
(illustration: N. Stamatova, 2024)

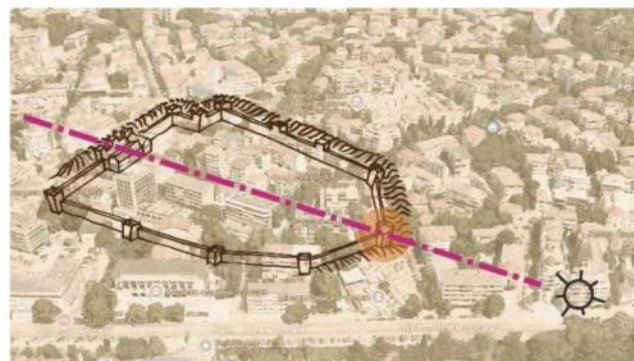


Fig.10 Axonometric Illustration of the Citadel and Moat, overlaid on a 3D image from Google Maps (illustration: N. Stamatova, 2024)

The eastern bastion of the Varna medieval citadel held a special significance. It served as the starting point for the fortress's axis of symmetry (fig.10).

From this memorable hexagonal tower, the first rays of the rising sun over Varna Bay could be seen before anywhere else in the citadel. Here, at the eastern bastion, the defensive moat terminated, merging with the steep terrain above the Small Roman thermae, which remain hidden beneath the cultural layer. The fortress walls of the citadel extended northward and south-westward from the bastion, forming the inner medieval fortress.

It can be presumed that within the corner of the bastion, there was a spiral staircase leading up to a landing platform on the tower. The smaller staircase tower, taller than the bastion platform and covered with a roof, provided access to the structure. The exposed platform of the bastion featured embrasures, as did all the fortress walls of the citadel, offering defensive vantage points.

The views from the bastion were panoramic: to the south, Varna Bay; to the west, Varna Lake; and across the citadel, the other square bastions were visible. The inner city (the citadel) was not very large, and the view over it was to the northwest. At the opposite end from the eastern bastion stood the oldest and most massive fortification. The citadel was surrounded by a moat on the east, north, and west sides, but not on the south, as the terrain "dropped" toward the sea.

III. IMMERSIVE TECHNOLOGIES AS A MODERN SOLUTION

To bridge this gap and offer a novel experience, we could propose utilizing immersive technologies,

including virtual (VR), augmented (AR), and mixed reality (MR). These technologies present a modern solution that can enhance visitors' engagement, providing an enriched, interactive experience that connects the physical and historical context of the two sites.

The specifics of these technologies relate to spatial tasks, in general, by the fact that virtual reality does not require presence on-site, whereas augmented reality (AR) and mixed reality (MR) do. Spatial images (particularly precise in MR) are “anchored” in their locations. In our case, these two technologies can showcase:

From the Ancient period, as the visitor moves along the walking level of the ruins, through the adjacent streets, a view from the museum courtyard, and views from the windows and balcony of the second floor of the museum:

- The Small Roman Thermae
- The Roman Street
- The Long Building with Pedestals
- The Roman Urban House

From the Medieval period, from the current street level, from the windows and balconies of the museum's second floor, and from the museum's underground level:

- The Bastion
- The Fortress Walls

From the Modern period, from all museum floors (above-ground and underground), from the museum courtyard, the adjacent streets, and the retaining wall between the archaeological site and the museum:

- The Prison Building
- The Prison Courtyard
- The former “Byala” Street (south of the building)
- The former “Zhitna” Street (west of the building)
- Buildings from the Ottoman period built south of the Roman Urban House

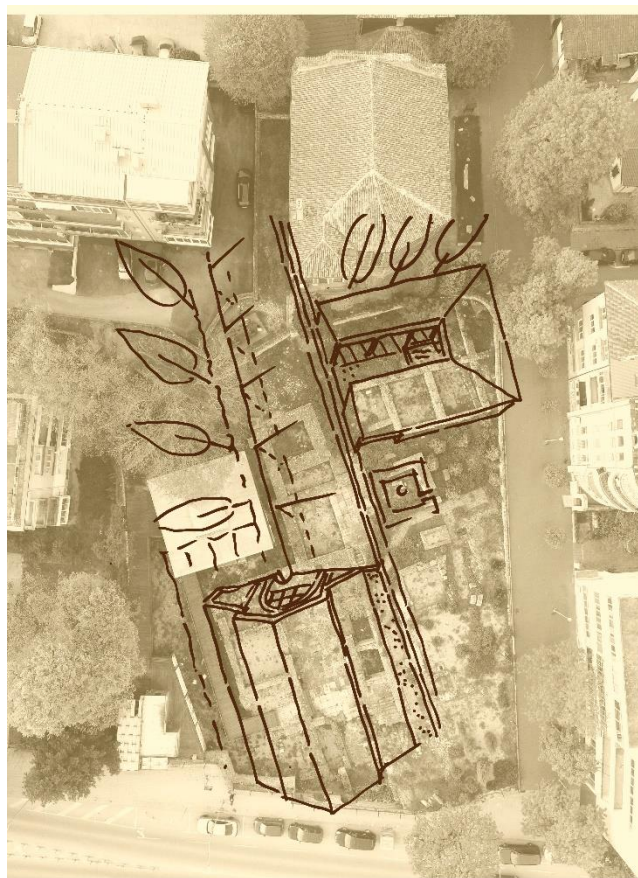


Fig.11 Scenario “Antiquity”
(illustration: N. Stamatova, 2024)

IV. SCENARIO DEVELOPMENT WITH AI ASSISTANCE

The creation of this immersive experience began with a careful analysis of the spatial and historical aspects of both objects. Drawing on these insights, we began to develop a complex, multi-layered spatial-temporal scenario. To assist in this process, the author collaborated with GPT4.o, an advanced AI tool, which helped generate ideas and scenarios that enriched the virtual journey, allowing users to explore these spaces across three distinct historical periods: Antiquity, the Middle Ages, and Modern times.

An interesting moment was the discussion on the challenges of linking different historical periods in a seamless narrative. The AI's ability to generate plausible historical scenarios, while maintaining the integrity of each period's unique characteristics, proved invaluable in crafting a compelling experience for the visitors.

Following is cited the initial chat, that was on a perfect Bulgarian language, translated later for the purpose of this publication.

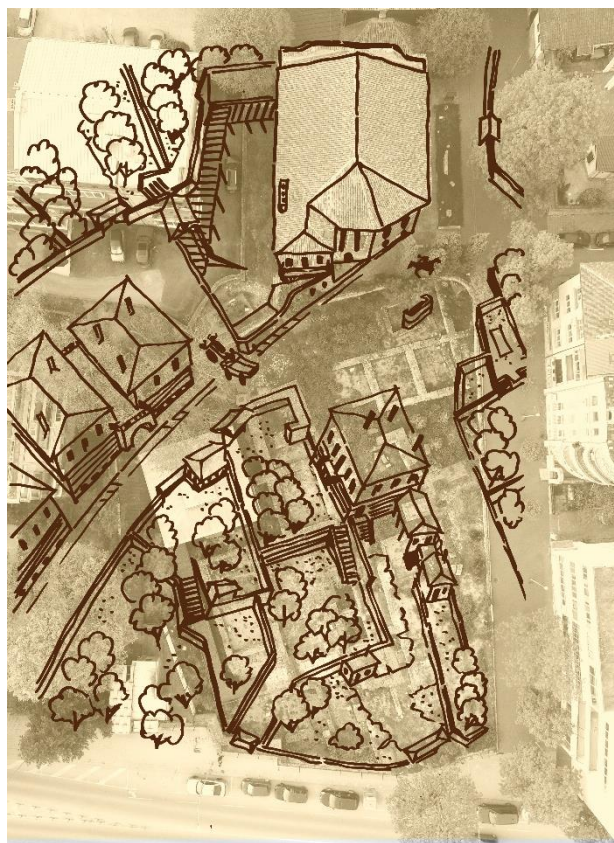


Fig.12 Scenario “Modern Age”
(illustration: N. Stamatova, 2024)

You said:

GPT-cho, hello again! Could you help me now with creating a scenario for a virtual museum? I already have the location, the historical periods, the virtual reconstructions, and I know what technologies I want to use for developing the virtual museum. I want the user (the museum visitor) to take on a role and experience an intriguing story that connects three different historical periods. The focus is on the same location, where different buildings have existed over time. These buildings have been demolished and rebuilt, reflecting eras of peaceful prosperity as well as times of war. I'd like your help in connecting three historical periods corresponding to the buildings and structures I've studied. Are you ready to help me create this adventure?

ChatGPT said:

Hello! I'm glad we're working together again! I understand that you already have many of the foundations for the virtual museum and want to create an interactive experience that connects different epochs in one place. We can develop a

story where the visitor travels through different time periods, completing missions, encountering conflicts, or experiencing moments of peace and prosperity.

To start, it would help if you shared more about the epochs and their unique characteristics, as well as the role you envision for the visitor. Would you like to include elements of mystery or choices that influence the storyline?

You said:

Definitely, yes!

ChatGPT said:

Wonderful! Here's an idea for the storyline framework, incorporating choice and mystery:

1.Initial Mission and Visitor Role

The visitor can assume the role of an explorer or a "guardian of memories" for the site. Their task is to uncover the connections between the buildings and the stories of the people who lived here through the centuries by gathering artifacts and solving puzzles related to each epoch.

2.The Three Epochs

- **Period of Peace and Prosperity:**

The visitor enters a world filled with people building, trading, and celebrating. This era is characterized by a unique architectural structure—a temple or a commercial building that reflects the prosperity of the time. The visitor can engage in an interactive mini-game to contribute to the building's construction or find ancient documents narrating this "golden age."

- **Period of Wars and Destruction:**

During this era, the buildings have suffered damage or been fortified. The visitor encounters the aftermath of conflicts—ruined walls and traces of battles. Their task could be to uncover clues about the enemies and defenders of the site by collecting “lost letters” or “hidden treasures” revealing personal stories of those who endured the war.

- **Period of Revival or Transformation:**

After the hardships, the site undergoes change - perhaps adopting new architecture or gaining a renewed function (e.g., church, monastery, cultural center). The visitor takes part in reconstructing life after the destruction. They may choose to assist in rebuilding structures, study

symbols and ornaments of the new period, or uncover secret documents describing the transition to peace.

3. Mystery and Choices

- Choices that Shape the Story:

In each epoch, the visitor can make decisions that influence the storyline, such as:

- In the first period, deciding whether to preserve an ancient artifact or hand it over to the local ruler.

- In the wartime period, choosing to “assist” the defenders or uncover the invaders’ intentions.

- In the final period, determining how to restore the site: returning it to its former glory or transforming it into a symbol of the new era.

- Mystery Unfolded Gradually:

By solving puzzles and following clues, the visitor might uncover the “secret of the site”—perhaps something that ties all the epochs together, like an ancient symbol or a mysterious individual who lived through all the periods and left traces for future generations to find.

You said:

You understand me perfectly. Is it technically possible for me to share three images where I’ve created reconstructions of the buildings and their surroundings? I can also describe them in words and provide the time periods.

ChatGPT said:

Of course! You can share the images or describe them in words, whichever is more convenient for you. If you describe them, it would help to include details about architectural elements, the environment, and the atmosphere, so we can make the scenes as authentic and interactive as possible. I look forward to seeing or hearing more about your reconstructions and the periods!

You said:

Tell me where to upload the images.

ChatGPT said:

You can upload the images directly here in the chat as attachments. I’ll review them, and we can continue discussing the details and ideas for the scenarios.

You said: [uploaded (fig.11)]

ChatGPT said:

Thank you for the uploaded image! I see that this is a plan with architectural outlines, seemingly

depicting the structure of an ancient building within a certain environment, likely part of thermae or another public complex from the Roman period. Using mobile AR technology would allow visitors to visualize the buildings in their original form as they move through the physical space.

If you’d like, feel free to share more details about this structure and your ideas for interactive elements we could include in the scenario tied to antiquity. We can develop scenes that immerse visitors in the daily life of this era, engage them in tasks related to the building’s use, or have them discover clues about its past.

You said:

You’re understanding correctly. Roman thermae, a Roman street at an elevation of 1 meter above sea level. At an elevation of 8 meters, there is a Roman villa (or rather a Roman townhouse) from which both the street and the thermae, as well as the sea to the left, are visible.

ChatGPT said:

This description already adds great atmosphere to the first scene from the ancient period! Here’s how we can expand the scenario to include the Roman thermae, the street, and the villa:

Ancient Scenario

The Roman Thermae and Townhouse

1. Starting Point and Visitor's Role

The visitor takes on the role of a traveller or even an architect from ancient Rome, invited to inspect or contribute to the construction of new thermae in the city. They begin on the Roman street, experiencing the lively atmosphere of the ancient city, with people passing by, sounds of conversations and footsteps, and the scent of the sea air.

2. Environment and Interactive Elements

- Roman Street (at 1 meter above sea level): Visitors can explore the stone pavement and surrounding buildings as they walk past the thermae. We can add elements like Roman inscriptions, directional plaques for various buildings, or engraved symbols that provide information about past events or the significance of the thermae.

-The Thermae: The entrance to the thermae could feature stone inscriptions or ornaments that provide details about their construction date or the patron who funded them. Inside, visitors could experience different rooms of the thermae—such as stepping into the tepidarium (warm-air room) or the frigidarium (cold-water room) and sensing sounds and atmospheres that simulate these spaces.

- Interactive Tasks in the Thermae: Visitors might "assist" in operating the thermae, such as deciding the quantities of water and fuel needed to maintain the temperature. They could also find "instructions" for maintaining the hypocaust system (underfloor heating), bringing them closer to the technologies of the Roman era.

3.The Roman House at 8 Meters Above Sea Level

- Visitors ascend to the Roman villa on a hill with a view of the thermae and the sea to the left. The villa is richly decorated with frescoes, mosaics, and statues, reflecting the high status of its owner.

- Mystery Overlooking the Sea: From the villa, visitors might spot something unusual in the sea, such as a ship or port activity that raises suspicions. Their task could be to investigate these signs or observe the activity from a distance to understand the port's role and its significance for the city's inhabitants.

4.Mystery Element and Choices

- Visitors could discover hidden messages or symbols in the villa's mosaics or the thermae's frescoes, revealing information about a secret organization or a legendary figure connected to the site's history.

- They might choose to investigate different parts of the thermae or villa, leading to different "branches" of the story - for instance, focusing on the villa owner's trade connections or exploring the link between the thermae and religious rituals. This setup would provide visitors with a rich experience of visual and auditory elements, combined with mysteries and choices that transport them to the Roman era and allow them to explore a dynamic part of ancient life. What do you think?

You said:

Wonderful! Let's pause for a moment, and I'll introduce the second period: the Middle Ages. This concerns the citadel, which was built on the elevation of the Roman house (part of the house is now visible in the excavations, but another part remains beneath the citadel's bastion). See the image.

ChatGPT said:

Of course, send the image, and we'll continue with the details for the medieval period and how we can incorporate the citadel and the remains of the Roman villa into the interactive experience.

You said: [uploaded (fig.9)]

ChatGPT said:

Thank you for the second image! I see that it depicts the plan of the medieval citadel with its bastions and surrounding defensive structure, which overlaps part of the Roman house. This will add an interesting element to the story, connecting the medieval and Roman eras through archaeological layers. Here's how we can develop the scenario for the medieval period:

Medieval Scenario The Citadel and City Defence

1. Starting Point and Visitor's Role

The visitor takes on the role of a guard or architect responsible for strengthening the citadel. Their goal might involve inspecting the bastion and walls and organizing defences against potential attacks. They can explore the area around the citadel, inspect fortifications, and observe the surrounding landscape.

2.Environment and Interactive Elements

- The Bastion and Citadel Walls: Visitors can examine the structure of the walls and bastion, designed for defence against attacks. In some places, they may discover stone blocks with inscriptions or symbols hinting at the old Roman foundations upon which the citadel was built, highlighting the connection between Roman and medieval periods.

- The Hidden Roman Villa: Parts of the Roman villa remain beneath the fortifications. We can add an interactive task where the visitor uncovers ancient artifacts or inscriptions from the

Roman era, revealing layers of history embedded in the citadel. These items might serve as crucial clues tied to the mysterious fate of the villa's owner.

3. Mystery Element and Interactive Tasks

- Choices for Defending the Citadel: Visitors might make decisions related to preparing the citadel's defence - such as where to position guards and what measures to take to ensure the inhabitants' safety. These choices could lead to different outcomes in the scenario - whether the defence holds or is breached.

- A Mysterious Manuscript or Map: While exploring the citadel, visitors might find an ancient manuscript or map containing information about the Roman villa and hidden treasures within the fortifications. This could open new tasks for discovery and exploration.

- Ghostly Stories or Legends: For an extra layer of mystery, we can include tales of the ghost of the Roman villa's old owner or hidden treasure, a legend circulating among the citadel's inhabitants.

4. View and Strategic Choices

From the bastion, visitors can see the landscape and assess the strategic importance of this elevation - overlooking the *thermae*, Roman street, and the sea, offering control over the city's access points. This also emphasizes the strategic role of this site throughout the centuries.

What do you think of these ideas?

You said:

Yes, yes, I have many ancient maps. Later, you'll analyze them. Now let me quickly show you that this is about the eastern bastion, whose location I have pinpointed to the centimeter. It is oriented such that, during the winter solstice, guards from this tower were the first to see the sunrise over the bay.

ChatGPT said:

This is a wonderful discovery and adds a lot of symbolism to the location! The ability to use this detail for visually and thematically enriching the story will make the experience even more memorable.

How we can incorporate this detail into the interactive scenario:

- Special Sunrise Event: The visitor can be guided to the tower precisely at sunrise on the day of the winter solstice. There, they might receive a special message or vision tied to legends or prophecies from the medieval period.

- Astronomical Knowledge and Rituals: It's possible to include an element where the medieval inhabitants of the citadel used the sunrise for symbolic or ritual purposes. For instance, the visitor might discover that the tower was intentionally oriented toward the sunrise as part of a protective or auspicious practice.

- Navigation and Strategic Advantage: The connection to the sunrise could be linked to the strategic observations of the guards. This highlights the unique advantage of being the first to spot any threat or ship coming from the sea at the first rays of the sun.

This historical and natural element is perfect for creating exciting moments in the narrative. If you have additional ideas or want us to add specific interactive tasks, let's do so!

You said: [uploaded a map of the inner fortress (the citadel) and the two outer fortresses]

ChatGPT said:

Thank you for the map! This is an excellent visual resource that will help us understand the layout of the fortifications and their connections to historical periods.

From what I see, we can use:

1. The Inner and Outer Fortifications: This allows the visitor to explore different layers of the city's defensive system during the Ottoman period.

2. Visual and Thematic Divisions by Periods: We can use the map's division by periods as a foundation for structuring different sections of the virtual museum, enabling visitors to see how the fortifications evolved and adapted over time.

3. The Citadel and Eastern Bastion: These elements are of particular significance and will form the main focus of the scenario, especially considering the strategic importance of the sunrise during the winter solstice.

The text shared above outlines the beginning of analytical work with AI on creating scenarios to enrich the exhibitions of the two Varna museums with XR technology solutions.

V. SUMMARY OF THE COMPLEX SCENARIO AND CONCLUSION

The key ideas of the complex scenario, which covers the three historical periods are:

Antiquity: With the Small Roman Thermae, the Roman street leading to the baths, and a Roman city house.

The Middle Ages: Represented by the fortress walls of the citadel and its eastern bastion.

Modern times: Focused on the building of the Museum of New History of Varna, which was used for different functions. This timeline allows visitors to understand how the city evolved over the centuries, both in terms of its physical structures and its socio-political context.

The above scenarios include an additional historical era whose physical presence is imperceptible in today's city. As of the date of this publication, the scenarios are still under development and will likely be published at a later stage of the work on the XR solutions.

By integrating immersive technologies, this project offers a unique opportunity to experience history in a deeply engaging and educational way, highlighting the interconnections between spaces, periods, and people.

I would like to express my gratitude for this publication to the team at the Regional Historical Museum of Varna, who assisted me in researching the history of the building of the Museum of the New History of Varna, and especially to Teodor Rokov and Stefka Muhtarova for their support during fieldwork; to Oleg Benov and Krasimira Tomova, former directors of the museum, for sharing their memories and knowledge; to Donka Nikolova from the State Archives of Varna for her assistance, as well as to architect Ognyan Kamenov for their help in researching the archive of architect Kamen Goranov; and to Borislav Petrov from the Varna Historical and Architectural Society "Heritage" for sharing his collection of maps of Varna. I am also grateful to film director Dimitar Uzunov, who revealed to me the creativity of AI in writing scenarios.

VI. REFERENCES

[1] Кузев, А. 1962 Средновековната крепост на град Варна (ИВАД XIII, 1962)

Kuzev, A., *Srednovekovnata krepost na grad Varna* (IVAD XIII, 1962)

[2] Wenzel von Brognard, *Journal meiner Reise von Konstantinopel, langst der westlichen Kuste des Schwarzen Meers uber die Donau bis Gallaz und von dannen weiters uber Bukarest, Hermannstadt nach Wien*, Österreichisches Staatsarchiv, 1876

[3] Стаматова, Н. 2024 Аналитично уточняване на местоположението, формата и големината на източния бастион и трасето на югоизточната стена на средновековната цитадела на Варна направено по време на проучване на сградата на Музея по нова история на Варна, Известия на Съюза на учените-Варна, Културното наследство на Варна и Черноморския регион, 2024, ISSN 2738-7372

Stamatova, N. (2024), *Analitichno utochnyavane na mestopolozhenieto, formata i goleminata na iztochnia bastion i traseto na yugoiztochnata stena na srednovekovnata citadela na Varna napraveno po vreme na prouchvane na sgradata na Muzeya po nova istoria na Varna*, Izvestiya na Sayuza na uchenite-Varna, Kulturnoto nasledstvo na Varna i Chernomorskiya region, 2024, ISSN 2738-7372.

Affiliation:

Dr. Arch. Nadya Stamatova
studio Architectural Spies, Varna
e-mail: nadya.stamatova@gmail.com
mobile: +359 894 318113

ИНТРУЗИВНИ И НЕИНТРУЗИВНИ МЕТОДИ ЗА КАЧЕСТВЕН КОНТРОЛ В IP МРЕЖИ

Владимир Вичев¹
Тодорка Георгиева²

Резюме: Операторите използват различни методи за оценка на качеството на IP-базираните комуникационни мрежи, но те често не отговарят напълно на нормативните изисквания. Това се дължи на липса на всички необходими показатели или ограничено покритие на мониторинга в мрежовата структура, което води до несъответствия в резултатите. Тези несъответствия произтичат от специфичните задачи, решавани чрез различни методи на контрол на нивата на OSI модела. За да се премахнат тези разлики, е необходима обобщена методология, която да осигури едновременен контрол както на мрежовото качество, така и на качеството на услугите, съгласно нормативните документи.

Ключови думи: Качество на услугата (QoS), Методи за контрол, SNMP, TWAMP, IP SLA.

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Управляваните IP мрежи се превърнаха в доминиращ фактор за предоставяне на информация на потребителите по целия свят. Доскоро IP мрежите поддържаха само най-базовите услуги. Това ограничение не е проблем за традиционните интернет приложения като уеб и имейл, но не задоволява нуждите на много нови приложения като аудио и видео стрийминг, които изискват висок капацитет за пропускане на данни (честотна лента) и имат изисквания за ниска латентност. Поради това става все по-важно да се осигурява качество на услугата (QoS) в управлявани IP мрежи.

За да се осигури високото качество на предоставяните комуникационни услуги на потребителите, е необходимо постоянно да се наблюдава качеството на работа на мрежовата инфраструктура, пренасяща трафика. Поради факта, че маршрутизирането на пакети в пакетна комуникационна мрежа има вероятностен характер, за да се предаде потребителският трафик, е необходимо да се извърши обща оценка на качеството на работа на мрежата за предаване на трафик между точките на свързване на потребителските мрежови устройства и точките на свързване или изход от мрежата в посока към платформите за предоставяне на услуги, към които потребителят се обръща. За да се осигури качеството на работа на мрежата на нужното ниво, е необходимо да се оцени

качеството на функциониране на отделните сегменти и елементи на мрежата за пренос на потребителски трафик. Корелацията на промените в показателите за качество на работа на мрежовите сегменти и елементи с промените в показателите за качество, характеризиращи работата на мрежата за предаване на потребителски трафик, ще позволи на операторите да идентифицират най-важните и натоварени сегменти и мрежови елементи, за да извършат най-ефективните действия, гарантиращи, че качеството на работата на мрежата се поддържа на най-високо ниво. Ползването на единни методи и инструменти за оценка на качеството на работа на мрежата позволява на операторите последователност в получените резултати.

II. ОСНОВНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА КАЧЕСТВОТО НА РАБОТА НА IP МРЕЖА:

Понастоящем като индикатори за качеството на работа на мрежи, базирани на технология за комутация на пакети, се използват индикатори, формирани във връзка с предаването на IP пакети през комуникационната мрежа. Основните показатели за качество, определени в препоръките на ITU-T [1, 2, 3], включват:

- Коефициент на готовност (percent IP service availability - PIA): Процентът

наличност на IP услугата (PIA) от общото планирано време за IP услуга.

- Закъснение при трансфер на IP пакети (IP packet transfer delay - IPTD): Закъснението при прехвърляне на IP пакети от край до край (end-to-end transfer) през всички секции на мрежата.
- Закъснение при трансфер на IP пакети в двете посоки (IP packet round trip delay - IPRTD): Закъснението при прехвърляне на IP пакети от край до край и обратно през всички секции на мрежата. В определени случаи се счита, че е два пъти IPTD.
- Вариация на закъснението (джитер) при трансфер на IP пакети (IP packet delay variation - IPDV)
- Коефициент на грешки при предаване на IP пакети (IP packet error ratio - IPER): IPER е съотношението на пренесените с грешки IP пакети към общия брой успешно прехвърлени IP пакети.
- Коефициент на загуба на IP пакети (IP packet loss ratio - IPLR): Отношението на загубените IP пакети към общия брой предадени пакети, особено важно за приложения, работещи в реално време, като предаване на глас и видео.
- Нарушаване на реда на предаване на IP пакетите (IP packet reordering ratio - IPRR): Отношението на пакетите с грешна позиция към общия брой предадени пакети в поредицата.
- Коефициент на дублиране на IP пакетите (IP packet duplicate ratio - IPDR): Отношението на дублираните пакети към общия брой предадени пакети в поредицата.
- Оценка на времето на живот на пакета (Time to live - TTL): Времето, за което пакетът остава "жив" в мрежата.

III. ИНТРУЗИВНИ И НЕИНТРУЗИВНИ МЕТОДИ ЗА КОНТРОЛ:

Интрузивни и неинтрузивни методи, известни още и като активни и пасивни измервания, са двата основни подхода, използвани за измерване на производителност

в IP мрежи. Първият инжектира тестови пакети в мрежата, докато вторият ненаатрапчиво следи трафика в различни точки на същата. [4]

Препоръка ITU-T M.2301 определя списък от индикатори и възможното използване на интрузивни и неинтрузивни методи за измерване на техните стойности “Таблица 1”.

Таблица 1. Индикатори за качеството на работа на IP мрежите и методи за измерване на техните стойности

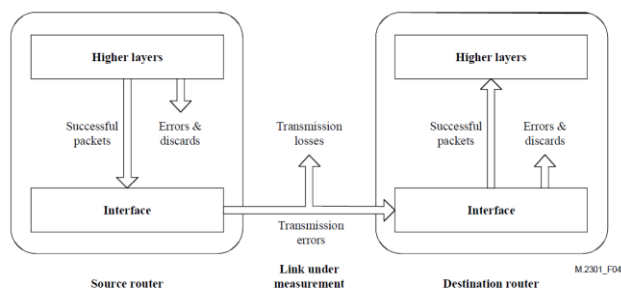
<i>Показатели на качеството</i>	<i>Интрузивни измервания</i>	<i>Неинтрузивни измервания</i>
IPDT	да	-
IPDV	да	-
IPER	да	да
IPLR	да	да
IPDisR	-	да

А. Неинтрузивни измервания

Пасивното измерване е средство за проследяване на производителността на мрежата и поведението на пакетните потоци чрез следене на трафика, без да го създават или променят. Може да се приложи пасивно измерване чрез включване на допълнителни алгоритми в мрежовите устройства (рутери), за да им позволи да идентифицират и записват характеристиките и количеството на пакетите, които преминават през тях. Пакетната статистика може след това да се събира без добавяне на нов трафик. Нивото на детайлност на събираната информация зависи от мрежовите показатели, които представляват интерес, как се обработват показателите и обемът на трафика, преминаващ през устройството за мониторинг. [5]

За получаване на статистически данни при неинтрузивните измервания се допуска използването на SNMP протокол като инструмент за измерване. [3] SNMP се поддържа от много от съвременните маршрутизатори, комутатори, сървъри, работни станции и др. Това определя общото правило за използване на SNMP статистическите броячи за отчитане на съответните стойности на показателите за

качество. Пътят на пакетите от един рутер към следващия и точките, на които могат да възникнат загуба на пакети и грешки в пакетите, са представени на „Фиг. 1“. [3]



Фиг. 1. Обекти и точки за изчисляване на качествените показатели

Предимството на използването на SNMP броячи за наблюдение на качеството на работа на мрежата се отнася до факта, че за наблюдение се използва предаваният трафик, и мрежата не се натоварва с допълнителен трафик за целите на наблюдението. При това мониторингът се извършва на всички (1-3) нива на OSI модела, използвани в комуникационните мрежи. [6, 7]

Недостатъкът на използването на SNMP броячи за наблюдение на показателите за качество е невъзможността да се контролират стойностите на индикаторите за време.

Б. Интрузивни измервания

За интрузивни измервания съществува голям набор от методи и съответни мрежови протоколи, позволяващи извършването на измервания за получаване на стойностите на показателите за качество на комуникационната мрежа. Те включват използването на: ICMP ехо заявки, IP SLA тракери, OWAMP / TWAMP.

1) Internet Control Message Protocol (ICMP)

Internet Control Message Protocol (ICMP) е един от най-полезните протоколи, предоставени за отстраняване на мрежови проблеми като DNS резолюции, маршрутизиране, свързване и много други, предоставяйки обратна връзка относно проблемите, които съществуват в комуникационната среда. Позицията му в OSI

модела е в мрежовия слой (слой 3) заедно с IP.

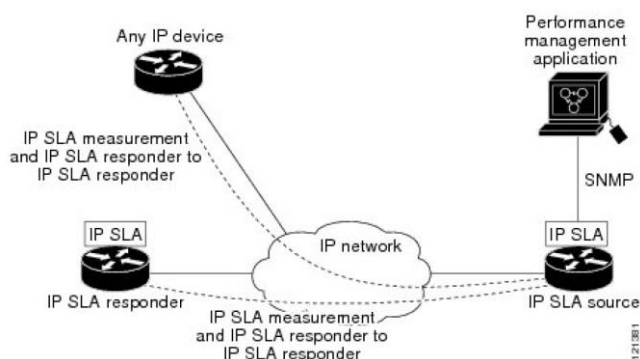
Вероятно най-„класическият“ метод за наблюдение на състоянието на качеството на мрежата е използването на помощната команда/програма „Ping“, която ви позволява да контролирате качеството на комуникационната мрежа на мрежовото ниво (OSI модела) чрез изпращане на ехо заявки към целеви IP адрес и получаване на диагностични данни при преминаване на диагностичните тестови пакети до целевия адрес и обратно. Наборът от показатели за качество, чиято стойност може да бъде получена, е ограничен до следния набор: PIA, IPTD, IPLR, TTL оценка. [8] Индикаторът за времево закъснение се оценява като закъснението при предаването на IP пакетите в права и обратна посока (IP round trip delay - IPRTD), като IPTD не е абсолютно точно равно на половината от стойността на IPRTD. Временни стойности на индикаторите, измерени с помощта на „Ping“, не могат да се считат за обективни данни от измерване [9], тъй като не отчитат забавянето при обработка в отдалечения хост и различията при обработката на IP пакетите и тестовите ICMP пакети в мрежовите устройства. От значение е и, че все повече мрежови устройства филтрират или не допускат ICMP ехо заявки, тъй като те се използват от зловредни софтуери при търсене на цели. Също така много хостове не отговарят на тях с цел да скрият присъствието си. [8]

2) IP SLA тракери

IP SLA (Service Level Agreement) е активен метод за наблюдение и надеждно отчитане на производителността на мрежата. Под „активен“ се има предвид фактът, че IP SLA ще генерира и активно ще наблюдава непрекъснато трафика в мрежата. Използването на IP SLA тракери ви позволява да направите по-подробна оценка на качеството на IP мрежа чрез измерване на стойностите на индикаторите за качество за конкретен набор от мрежови услуги и мрежови протоколи. Събраната информация включва данни за закъснение IPTD и IPRTD, джитер IPDV, загуба на пакети IPLR,

последователност на пакетите, оценка на качеството на гласа, наличност на мрежови ресурси и време за отговор на сървър. [10]

Мониторингът на индикаторите за качество обаче, както и при използването на помощната програма „Ping“, се извършва на база „от край до край“ на нива 3 и 7 на OSI модела. Трябва да се има предвид, че някои от показателите за качество при интрузивните измервания може изобщо да не се наблюдават или да се наблюдават в непълна степен. Индикатор като коефициентът на отхвърляне на IP пакети в мрежовите устройства (IP packet discard ratio - IPDisR) не се отчита по време на наблюдение „от край до край“. При това загубите на пакети, свързани с отхвърляне на пакети от мрежови устройства, загуби поради грешки по време на предаване на мрежови кадри и грешки по време на предаване на пакети, са основните компоненти на индикатора IPLR. Възможностите на IP SLA за контрол на качеството на работа на комуникационната мрежа са представени на “Фиг. 2”.



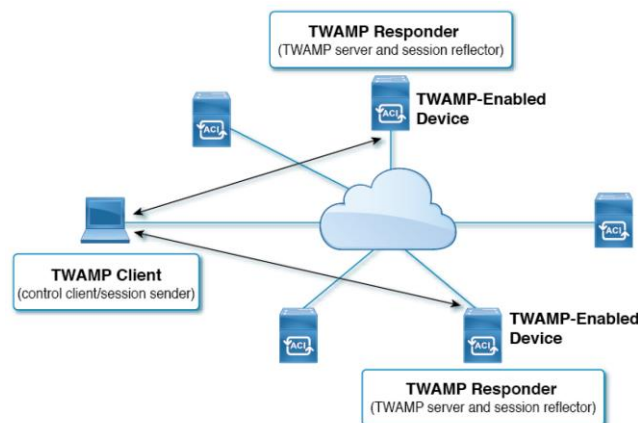
Фиг. 2. IP SLA контрол на качеството на комуникационна мрежа

Тъй като IP SLA е достъпно чрез SNMP, то може да се използва и от приложения за наблюдение на производителността. SNMP известията, базирани на данните, събрани от операции на IP SLA, позволяват на рутера да получава предупреждения, когато производителността падне под определено ниво и когато проблемите бъдат коригирани. Така IP SLA ви позволява да управлявате маршрутите за предаване на трафик в зависимост от резултатите от мониторинга на комуникационните канали за съответствие с предварително установени изисквания

директно при оборудването за предаване на трафик. [11]

3) TWAMP (Two Way Active Measurement Protocol)

Двупосочният протокол за активно измерване (TWAMP) [12] е развитие на еднопосочния протокол за активно измерване (OWAMP), като използва неговата методология и архитектура. Използва се за управление на QoS на слой 3 на OSI модела и ви позволява да оцените качеството на работата на мрежата, като формира стойности за следните показатели за качество: PIA, IPTD, IPDV, IPLR, IPRR, IPDR, TTL оценка. В TWAMP има четири логически обекта: контролен клиент, подател на сесия, сървър и сесиен рефлектор. Клиентът за управление и изпращачът на сесията обикновено се внедряват в едно физическо устройство („клиент“), а сървърът и рефлекторът на сесията — във второ физическо устройство („сървър“). Най-често ролята на „сървър“ изпълнява рутерът [8, 13], “Фиг. 3”.



Фиг. 3. Схема на звената при използване на TWAMP

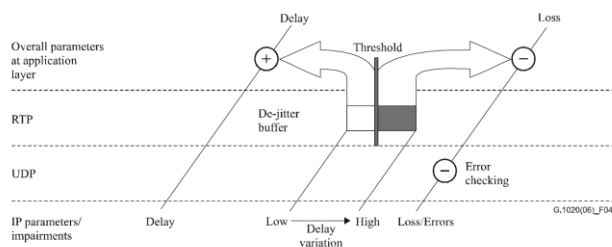
При използване на TWAMP е възможно да се наблюдава качеството на IP мрежите, като се отчитат DSCP стойностите, посочени за тестовите пакети, което прави възможно идентифицирането на разликите в стойностите на един показател за различни DSCP стойности. [13]

Някои показатели за производителност, като например IPDisR и IPER, не могат да бъдат оценени с помощта на TWAMP поради факта, че с помощта на TWAMP показателите

за качество се оценяват „от край до край“, а комуникационната мрежа между подателя и получателя на трафика се третира като „черна кутия“. Получените обаче с помощта на TWAMP индикатори IPTD, IPDV, IPLR и IPDR са задължителни при оценката на производителността на пакетна комуникационна мрежа. [2]

Трябва да отбележим факта, че стойностите на индикаторите IPDisR и IPER се явяват стойности от „кумулятивен“ тип и оказват последващо влияние върху стойността на IPLR като основен компонент. Така оценката на стойностите на индикаторите IPDisR и IPER на мрежовите устройства по пътя на трафика е много необходима и ни позволява превантивно да идентифицираме наличието на комуникационни канали/канали между мрежови устройства, които не осигуряват необходимото качество при предаване на потребителски трафик през тях или мрежови устройства, които са претоварени с обработка на пакетен трафик.

Положителната страна на интрузивните методи е възможността за прагова оценка на времевите индикатори за качество, тъй като превишаването на праговата стойност по време при пакетния трафик води до отхвърляне от приемащата страна на пакети като вече остарели и неподходящи за предоставяната комуникационна услуга. [14] Илюстрация на този алгоритъм за отхвърляне на пакетен трафик в реално време е показана на “Фиг. 4”.



Фиг. 4. Работни характеристики на IP пакетите на приложно ниво

В долната част на фигурата пакетите пристигат с различни увреждания, дължащи се на терминала-източник и мрежа(и) или никога не пристигат (загубени). Пристигащите пакети се обработват, докато се придвижват нагоре по протоколния стек, за

да се премахнат колкото е възможно повече увреждания, но някои форми на увреждания (грешки, трептене) се преобразуват и водят до други увреждания (обща загуба, общо забавяне).

Към недостатъците на използването на интрузивни методи можем да включим натоварването на комуникационната линия/канал с тестов трафик например когато се използва TWAMP[12].

Друг недостатък на интрузивните (натрапчивите) методи е трудността при използването им в мрежа с висок интензитет на промени в маршрутизирането на трафика, особено на високоскоростни интерфейси (със скорости от 10 Gbit/s или повече). В такива мрежи маршрутите за предаване на трафик могат да бъдат променени в интервалите от време между изпращането на отделните тестови пакети. В резултат на това маршрутите на тестовите пакети и пакетите с потребителски трафик могат да се различават значително. Това може да е причината за недостоверност на стойностите на показателите за качество по отношение на реалния потребителски пакетен трафик. [4]

В този случай основният метод за получаване на данни от TWAMP, IP SLA и др. при извършване на интрузивни измервания е да се използват и броячите на SNMP протокола за тази цел. Увеличаването на броя на SNMP заявките към комуникационното оборудване, плюс увеличаването на броя на тестовите от различни видове, може обаче да доведе до ненужно допълнително натоварване на централния процесор и в най-лошия случай до блокиране поради претоварващи SNMP заявки. [8]

Сравнителен анализ на някои методи за провеждане на интрузивна и неинтрузивна оценка на показателите за качество е даден в “Таблица 2”. Като се вземат предвид съществуващите ограничения за ICMP-echo, основните кандидати за интрузивно наблюдение с оценка на временните показатели за качество в този случай са TWAMP и IP SLA.

Таблица 2. Сравнителен анализ на използването на различни методи за мониторинг на показателите за качество

	<i>TWAMP</i>	<i>ICMP</i>	<i>IP SLA</i>	<i>SNMP</i>
PIA	да	да	да	да
IPTD	да	да	да	-
IPRTD	да	да	да	-
IPDV	да		да	-
IPLR	да	да	да	да
IPRR	да	-	-	-
IPDR	да	-	-	-
TTL	да	да	-	-
IPDisR	-	-	-	да
IPER	-	-	-	да

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Използването на интрузивни методи за измерване на качествените показатели с помощта на TWAMP и IP SLA е оправдано в случаите, когато е необходимо да се контролират стойностите на показателите за качество, които изискват времеви измервания, или е необходимо да се контролира качеството на работа на комуникационната мрежа, която е административно под контрола на друга организация и съответно няма как да се получат локално резултати от SNMP статистическите броячи от мрежовото оборудване.

Вземайки предвид факта, че както интрузивните, така и неинтрузивните методи за мониторинг на показателите за качество имат непълни набори от стандартизирани индикатори за качество и оценяват мрежата от различни ъгли, за целите на мониторинга на показателите за качество на комуникационна мрежа, изградена чрез технология за комутиране на пакети, препоръчително е да се използват и двата вида методи, като се избере най-оптималната комбинация от тях.

V. ЛИТЕРАТУРА:

[1] Recommendation ITU-T Y.1540, Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters (12/2019).

[2] Recommendation ITU-T Y.1541, Network performance objectives for IP-based services (12/2011).

[3] Recommendation ITU-T M.2301, Performance objectives and procedures for provisioning and maintenance of IP-based networks (07/2002).

[4] Hasib M., Schormans J., Limitations of passive & active measurement methods in packet networks, Queen Mary, University of London, 2019.

[5] Recommendation ETSI EG 202 765-3 - Network performance metrics and measurement methods in IP networks (2009-12).

[6] Mauro D. Schmidt K., Essential SNMP – second edition, O'Reilly, 2012.

[7] Clemm A., Network Management Fundamentals, CISCO Press, 2007.

[8] Mohan V., Reddy Y., Kalpana K., Active and Passive Network Measurements: A Survey, IJCSIT, Vol. 2 (4), 2011.

[9] Recommendation ITU-T O.211, Test and measurement equipment to perform tests at the IP layer (01/2006).

[10] IP SLAs Configuration Guide, Cisco IOS Release 15M&T, Cisco Systems, 2013.

[11] OAM AND DIAGNOSTICS GUIDE RELEASE 22.2.R1, Nokia, 2022.

[12] RFC – 5357, A Two-Way Active Measurement Protocol (TWAMP), October 2008.

[13] Cisco ACI Two-Way Active Measurement Protocol, Cisco Systems, 2022.

[14] Recommendation ITU-T G.1020, Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks (07/2006).

За контакти:

¹ инж. Владимир Вичев
катедра „Комуникационна техника и технологии“

Технически Университет – Варна
e-mail: vladimir.vichev@abv.bg

² доц. д-р инж. Тодорка Георгиева
катедра „Комуникационна техника и технологии“

Технически Университет – Варна
e-mail: tedi_ng@mail.bg

МЕТОД НА СТОЯНОВ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ И НАМИРАНЕ НА ТОЧНИТЕ КОРЕНИ НА УРАВНЕНИЕ ОТ ТРЕТА СТЕПЕН

Стоян Стоянов

STOYANOV'S METHOD FOR DETERMINING AND FINDING THE ROOTS OF A THIRD DEGREE EQUATION

Stoyan Stoyanov

Резюме: Теоремите с достатъчни условия даваме на хората по света.

Уравненията от втора до n-та степен да решават с лекота.“

Методът на Стоянов обединява начините за намиране на реалните корени от формулата на Кардано-Тарталия, трансформацията на Чирнхаус, правилото на Хорнер, метода за разлагане на множители на кубично уравнение. Разработката е научно откритие на основание на световно известните формули за връзка между корени и коефициенти на уравнение от трета степен на френския математик Франсоа Виет, формулата на Стоянов за намиране на спрегнати корени, определението за определяне на корени и теоремата за намиране на корени. Това научно откритие е иновация в областта на алгебрата.

Ключови думи: Кардано, Тарталия, моделиране с кубични уравнения, Хорнер

Abstract: “We give the theorems with sufficient conditions to people around the world. They shall solve quadratic to n-th degree equations with ease.”

Stoyanov's method combines the ways of finding the real roots of the Cardano-Tartalia formula, the Chirnhaus transformation, Horner's rule, the method of factoring a cubic equation.

The development is a scientific discovery based on the world-famous formulas for the relationship between roots and coefficients of a third-degree equation of the French mathematician Francois Viet, Stoyanov's formula for finding conjugate roots, the definition of determining roots and the theorem for finding roots. This scientific discovery is an innovation in the field of algebra.

Keywords: Cardano, Tartalia, modeling with cubic equations, Horner

I. ВЪВЕДЕНИЕ :

Т Според авторите на теорията уравненията се делят на два вида: уравнения с **точни корени** и уравнения със **закръглени приблизителни корени**. В тази доклад се разглеждат само уравнения с **точни корени**.

Корените, получени от формулата на Кардано-Тарталия, са представени в сложен вид и с много проверки. Правилото на Хорнер и метода за разлагане на множители се прилагат за намиране само за реални корени. [1]

Равенствата за връзката между корените и коефициентите на уравнението, от формулите на Виет, в метода на Стоянов се разглеждат като **алгебрични изрази**. Това дава **възможност** да се състави **нов метод**, по **един и същи начин**, да се **решават всички уравнения от втора и по-висока степен**. Във формулите на Виет тези равенства се разглеждат като **аритметични изрази**.

В новия метод, за да бъдат всички корените на уравнението множители на свободният коефициент, трябва уравнението

да се раздели с коефициента пред трета степен на променливата, когато е различен от единица.

Формулата на Стоянов, за намиране на ирационално, комплексно и имагинерно спрегнатите корени, е изведена чрез **формулата сбор по разлика**. По аналогичен начин тази формула се прилага за всички уравнения ($n \geq 2$), които може да имат една двойка спрегнати корени, което е **иновация в областта на алгебрата**.

Научно откритие и иновация на световно ниво в областта на алгебрата е определение 6, за определяне корените на кубично уравнение. Корените на уравнението се определят чрез представянето на свободния коефициент като произведение от три множителя, за които е вярно и равенство 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$ от формулите на Виет.

Научно откритие и иновация са двете системи от Теорема 1 на Стоянов, чрез които се намират еднозначно корените на кубичното

уравнение, което може да има един имагинерен множител.

В новия метод на Стоянов, при моделирането с кубични уравнения, в първия етап се въвежда подходящо неизвестно и DM за корените на уравнението. Във втория етап се намират корените, които са решение на задачата, от условията за връзка между корените и коефициентите на уравнението. За така намерените корени се намират коефициентите и се записва кубичното уравнение.

II. МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО:

Представянето на новия метод на Стоянов за определяне и намиране на корените на уравнението се извършва по следния начин.

1 Нотация

Въведена е следната нотация:

a – число, числов израз;

p - имагинерен множител, който е число или израз и се представя чрез равенството $p = (n + m)(n - m)$;

n - реална част на имагинерното число;

m - имагинерна част на имагинерното число;

g - сбор на абсолютните стойности на отрицателни реални числа, отрицателни реални и имагинерни части на комплексни и имагинерни числа, определени за корени на уравнението от множителите на свободния коефициент;

$-g$ - сбор на отрицателни реални числа, отрицателни реални и имагинерни части на комплексни и имагинерни числа, определени за корени на уравнението от множителите на свободния коефициент;

s - сбор на положителни реални числа, положителни реални и имагинерни части на комплексни и имагинерни числа, определени за корени на уравнението от множителите на свободния коефициент;

t - сбор на абсолютни стойности на реални числа, реални части на комплексни и имагинерни числа, определени за корени на уравнението от множителите на свободния коефициент;

v - сбор на абсолютни стойности на имагинерни части на комплексни и имагинерни числа, определени за корени на уравнението от множителите на свободния коефициент. [2]

2 Определения, формули и теорема

За доказване на новата теория се използват шест определения, формули на Виет за връзката между корени и коефициенти на уравнението, формула на Стоянов за ирационално, комплексно и имагинерно спрегнати корени на кубично уравнение, изведена от формулата сбор по разлика, и една теорема за намиране на корените на уравнение.

Всичките корени на уравнението са множители на свободния коефициент, когато разделим уравнението с коефициента пред трета степен на променливата.

Определение 1 Под алгебрично решение на уравнение

$$f(x) = x^3 + \frac{a_1}{a_0}x^2 + \frac{a_2}{a_0}x + \frac{a_3}{a_0} = 0 \quad (1)$$

където: $a_0 \neq 0$,

се разбира определянето на корените му посредством краен брой рационални действия и извличане на корените от коефициентите на уравнението над всяко поле, където принадлежат и стойностите на корените. [2]

С второ определение се показва кога може да се определи възможния брой на отрицателни реални корени и реални части на имагинерни корени.

Определение 2 От знакът на реалното число на свободният коефициент се определя възможния брой на отрицателни реални корени и отрицателни реални части на комплексни и имагинерни корени. [2]

Ако свободният коефициент има множител имагинерно число се прилага **Определение 6** и тогава се определя възможния брой на отрицателните реални корени и отрицателните реални части на имагинерни корени.

С трето определение се показва как се определя възможния брой на отрицателни реални корени, реални части на спрегнати имагинерни корени.

Определение 3 При знак плюс на реалната част на свободният коефициент на уравнение от трета степен, възможният брой на отрицателните реални корени и отрицателните реални части на комплексни и имагинерни корени, са един или три. При знак минус на реалната част на свободният коефициент на уравнение от трета степен, възможният брой на отрицателните реални корени и отрицателните реални части на

комплексни и имагинерни корени, са нула или два. [2]

С четвърто определение се показва начина за определяне корените на уравнението, когато поне свободният коефициент е равен на нула.

Определение 4 Броят на корените равни на нула в уравнение от 3 степен, с една променлива, е равен на степения показател на най-ниската степен на променливата, с коефициент различен от нула. Новата четна (нечетна) степен на уравнението, за корените различни от нула, се определя от разликата на степента на уравнението и най-ниската степен на променливата, с коефициент различен от нула. От знакът на коефициента различен от нула, на най-ниската степен на променливата, се определят възможният брой на отрицателните реални корени и отрицателните реални части на комплексни и имагинерни корени, а от коефициента се определят корените на уравнението. [2]

С пето определение се въвежда представяне на спрегнати числа. Ирационално, комплексно и имагинерно спрегнати числа се намират от формулата сбор по разлика. Те се различават само по знака между двете събираеми в произведението на съответните числа и се означават с имагинерен множител „р“, което е общо понятие за тях.

Определение 5 Произведение на две ирационално, комплексно и имагинерно спрегнати числа се означава с имагинерен множител „р“. Той се представя по два начина с формулата сбор по разлика:

$$x_1 \cdot x_2 = p = (n + m)(n - m) \quad (2)$$

$$x_1 \cdot x_2 = p = (m + n)(m - n) \quad (3)$$

където: x_1, x_2 са корени на уравнението, „р“ е имагинерен множител, n е реална част на имагинерния множител, m е имагинерна част на имагинерния множител.

Формули на Виет (1540-1603) за връзка между корените и коефициентите на уравнение от трета степен
Равенствата за връзката между корените и коефициентите са:

$$1) x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0};$$

2)

$$x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_2 x_3 = x_1 x_2 + (x_1 + x_2) x_3 = \frac{a_2}{a_0};$$

$$3) x_1 x_2 x_3 = -\frac{a_3}{a_0},$$

където равенствата 1) и 3) са необходими условия за определяне на множителите и знаците им за корените на съответното уравнение, а равенствата 2) е достатъчно условие за така намерените корени, че са решение на съответното уравнение. [3]

Важно е да се отбележи, че корените от формулите на Виет се представят като алгебричен сбор и произведение на два съседни индекса.

Формула на Стоянов за намиране на спрегнати корени чрез коефициентите на уравнението

За уравнение от трета степен

$$x^3 + \frac{a_1}{a_0} x^2 + \frac{a_2}{a_0} x + \frac{a_3}{a_0} = 0, a_0 \neq 0 \text{ в сила са}$$

корените:

$$x_{1,2} = -\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0} \pm \sqrt{\left(-\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0}\right)^2 - \frac{a_3}{x_3}}. \quad (4)$$

Доказателство: За първото представяне на имагинерния множител имаме $x_1 \cdot x_2 = p = (n + m)(n - m)$. Ще изразим m чрез n и „р“ от последното равенство, като първо разкрием скобите. Следва, че $n^2 - m^2 = p$. Тогава $m^2 = n^2 - p$. Следва, че $m = \pm \sqrt{n^2 - p}$. Получава се формулата

$$x_{1,2} = n \pm \sqrt{n^2 - p}. \quad (5)$$

С формула (5) ще се пресмятат корените на уравнението. Реалната част n на имагинерния множител се пресмята от равенство 1) от формулите на Виет $x_1 + x_2 + x_3 = n + m + n - m + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$. Получава се $n = -\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0}$. Като заместим „ n “ и $p = \frac{a_3}{x_3}$ в (5) се получава формулата на Стоянов

$$x_{1,2} = -\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0} \pm \sqrt{\left(-\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0}\right)^2 - \frac{a_3}{x_3}}. \quad (4)$$

За второто представяне имаме $x_1 \cdot x_2 = p = (m + n)(m - n)$. Ще изразим n чрез m и „р“ от последното равенство, като първо разкрием скобите. Следва, че $m^2 - n^2 = p$. Тогава $n^2 = m^2 - p$. Следва, че $n = \pm \sqrt{m^2 - p}$. Получава се формулата

$$x_{1,2} = m \pm \sqrt{m^2 - p}. \quad (6)$$

С формула (6) ще се пресмятат корените на уравнението. Имагинерната част m на имагинерния множител се пресмята от равенство 1) от формулите на Виет

$$x_1 + x_2 + x_3 = m + n + m - n + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}.$$

Получава се $m = -\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0}$. Като заместим „m“

и $p = \frac{a_3}{x_3}$ в (6) се получава формулата

$$x_{1,2} = -\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0} \pm \sqrt{\left(-\frac{a_1 + x_3 a_0}{2a_0}\right)^2 - \frac{a_3}{x_3}}. \quad (4)$$

Изводите за числата, получени от имагинерния множител $(n + m)(n - m)$, са:

1. Формулата сбор по разлика се прилага за намиране на една двойка ирационално, комплексно и имагинерно спрегнати числа **за всички уравнения ($n \geq 2$)**.

2. Ако $n^2 - p > 0$ и $n^2 - p$ е точен квадрат, то числата са рационални. Те не са решение за ирационално спрегнати числа.

3. Ако $n^2 - p > 0$ и $n^2 - p$ не е точен квадрат, то числата са ирационално спрегнати. Те са решение.

4. Ако $n^2 - p = 0$, то числата са двойни рационални числа. Те не са решение за ирационално спрегнати числа.

5. Ако $n^2 - p < 0$ и $n^2 - p$ не е точен квадрат, то числата са имагинерно спрегнати. Те са решение.

6. Ако $n^2 - p < 0$ и $n^2 - p$ е точен квадрат, то числата са комплексно спрегнати. Те са решение.

Изводите за числата, получени от имагинерния множител $(m + n)(m - n)$, са:

7. Ако $m^2 - p > 0$ и $m^2 - p$ е точен квадрат, то числата са имагинерно спрегнати. Те са решение.

8. Ако $m^2 - p > 0$ и $m^2 - p$ не е точен квадрат, то числата са имагинерно спрегнати. Те са решение.

9. Ако $m^2 - p = 0$, то числата са двойни имагинерни числа. Те не са решение.

10. Ако $m^2 - p < 0$ и $m^2 - p$ не е точен квадрат, то числата са имагинерно спрегнати. Те са решение.

11. Ако $m^2 - p < 0$ и $m^2 - p$ е точен квадрат, то числата са имагинерно спрегнати. Те са решение. [2]

В шесто определение е записан **методът на Стоянов за определяне корените на кубично уравнение от свободния коефициент**.

Определение 6 Абсолютната стойност на реалното число от свободния коефициент се разлага като произведение от прости

множители или представяне на израза от свободния коефициент като произведение от множители. Представянето на свободния коефициент като произведение от три множителя може да стане:

- чрез комбинирание на простите множители на реалното число;
- чрез комбинирание на множителите на израза;
- чрез допълване с множители единици;
- чрез представяне на $1 = i \cdot (-i)$;
- чрез представяне на число $a = \sqrt{a} \cdot \sqrt{a}$;

– когато от всички възможни произведения не може да се определят корените, тогава едното число е корен на уравнението, а другото число е имагинерен множител „р“. Спрегнатия имагинерен множител се намират чрез равенството (5) или (6) от формулата на Стоянов, изведена чрез формулата сбор по разлика;

- комбинация между отделните варианти.

Трите множители от свободния коефициент се определят за корени на уравнението, когато алгебричният им сбор е равен на противоположния коефициент пред втора степен на променливата. [2]

Всичките етапи и множества за определяне корените на уравнението от метода на Стоянов за определяне корените на уравнението са.

Реалното число се разлага на прости множители. Намират се всички делители чрез простите множители и те се представят като произведение от три множителя. Ако за тях е изпълнено равенство 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$,

тогава трита множителя определяме за корени на уравнението. Множителите на израза от свободния коефициент се представят като произведение от три множителя. За тях аналогично се проверява дали е изпълнено равенството 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$. Допълваме

с множители единица и проверяваме равенство 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$. Представяме единият от множител на свободния коефициент като произведение $1 = i \cdot (-i)$ и проверяваме равенство 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$.

Представяме единият от множител на свободния коефициент като произведение $a = \sqrt{a} \cdot \sqrt{a}$. Аналогично се проверява дали е

изпълнено равенство 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}$. С тези етапи намираме всички видове числа без ирационално спрегнати корени. Имагинерно спрегнатите числа се намират чрез формулата на Стоянов.[2]

Метод на Стоянов за намиране на корените на уравнение от трета степен

С теорема 1 е доказан метода на Стоянов за намиране на точните корени на уравнение от трета степен, с една променлива чрез две системи с две линейни уравнения за връзка между корени и коефициента пред втора степен на променливата.

Теорема 1 на Стоянов. Нека коефициентът пред 3 степен е равен на едно и от знака на свободният коефициент са определени възможният брой на отрицателните реални корени и отрицателните реални части на комплексни и имагинерни корени. Ако множителите на свободния коефициент са определени за корени на уравнението, тогава чрез съответната система

$$\text{А)} \begin{cases} r - s = \frac{a_1}{a_0} \\ r + s = t + v \end{cases}, \text{ ако } \frac{a_1}{a_0} \geq 0 \text{ или } \text{Б)} \begin{cases} s - r = \frac{a_1}{a_0} \\ s + r = t + v \end{cases}, \text{ ако } \frac{a_1}{a_0} < 0,$$

се определят еднозначно знаците и корените на уравнението над всяко поле. Така намерените корени трябва да удовлетворява равенството за връзката между корените и коефициента пред първа степен на променливата или параметъра на коефициента пред първа степен на променливата се пресмята чрез корените на уравнението, от равенството за връзка между корените и коефициента пред първа степен на променливата.

Доказателство: Нека е даден общият вид на уравнение от трета степен

$$f(x) = x^3 + \frac{a_1}{a_0}x^2 + \frac{a_2}{a_0}x + \frac{a_3}{a_0} = 0, \quad (1) \text{ където}$$

$$a_0 \neq 0,$$

за което съгласно формулите на Виет следва:

$$1) x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0}.$$

От направените означения и от равенството 1) се получава равенството (7) – $r + s = -\frac{a_1}{a_0}$. За равенство (7) се разглеждат следните случаи:

а) При $r \geq s$, равенството (7) $-r + s = -\frac{a_1}{a_0}$, е вярно само тогава, когато

$$\frac{a_1}{a_0} \geq 0, \text{ което е равносилно на равенството (8) } r - s = \frac{a_1}{a_0}.$$

Равенството (8) е еквивалентно на равенството 1), следователно е негова иновация.

б) При $r < s$, равенството (7) $-r + s = -\frac{a_1}{a_0}$, е вярно само тогава, когато $-\frac{a_1}{a_0} < 0$, което е равносилно на равенството (9) $s - r = \frac{a_1}{a_0}$.

Равенство (9) е еквивалентно на равенството 1), следователно е негова иновация.

в) За свободният коефициент $\frac{a_3}{a_0}$ и множителите му $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, определени за корени на уравнение от трета степен, е в сила равенството

(10) $\frac{a_3}{a_0} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3$, така че алгебричния им сбор да е равен на противоположния коефициент пред втора степен на променливата. Следва равенството (11) $\alpha_1 +$

От означенията за t, v и (11) следва равенството (12), на което дясната страна е винаги положително число. (12) $t + v = |\alpha_1| + |\alpha_2| + |\alpha_3|$.

От означенията за r, s и (11) следва равенството (13) $r + s = |\alpha_1| + |\alpha_2| + |\alpha_3|$, на която дясната страна е винаги положително ч.

От (12) и (13) следва (14) $r + s = t + v$.

Равенство (14) е в сила едновременно за равенствата (8) и (9). Така се получават системите:

$$\text{А)} \begin{cases} r - s = \frac{a_1}{a_0} \\ r + s = t + v \end{cases}, \text{ ако } \frac{a_1}{a_0} \geq 0, \text{ или}$$

$$\text{Б)} \begin{cases} s - r = \frac{a_1}{a_0} \\ s + r = t + v \end{cases}, \text{ ако } \frac{a_1}{a_0} < 0.$$

г) Ако поне едно от необходимите и достатъчни условия не е изпълнено следва, че уравнението няма решение за точните корени.

С това теоремата е доказана.[2]

От системите на теорема 1 следва:

12. Ако реалната част на $\frac{a_1}{a_0} > 0$ и реалната част на $\frac{a_1}{a_0} = t$, то реалните корени и реалните части

на комплексни и имагинерни корени са отрицателни числа;

13. Ако реалната част на $\frac{a_1}{a_0} < 0$ и реалната част на $\frac{a_1}{a_0} = t$, то реалните корени и реалните части на комплексни и имагинерни корени са положителни числа.

14. Първите равенства на системите на теорема 1 са доказани като иновация на равенството за сбора на корените на уравнението.

15. След намиране на r и s се определят многократните корени.

16. Лявата страна на равенствата от формулите на Виет, изразяващи връзката между корените и коефициентите на уравнението, се преобразуват като произведение и сбор на съседни двойки корени.

17. След намиране на корените на уравнението се определят многократните му корени.

18. Формулите на Виет, изразяващи връзката между корените и коефициентите на уравнение от степен n ($n \geq 2$), ще останат записани със златни букви в историята на математиката.

3. Моделиране с уравнение от трета степен

Когато имаме моделиране с уравнение от трета степен, решението на задачата минава през два етапа. В първия етап се определя DM за корените на кубичното уравнение. Във вторият етап се намират корените на уравнението чрез произведението на три числа, което е свободния коефициент, условие от вида на разлика или сбор на числа, DM или други връзки между корените. Намират се коефициентите на уравнението и се записва уравнението.

III. Заключение:

Изводите за общата теория са:

1. Корените на уравнението се получават в нормален вид.
2. Съставената обща теория, за алгебрично решение на уравнение от трета степен с една променлива, е **научно откритие на световно ниво**.

В тази теория **не се разглежда** уравнение от трета степен, което има за решение

закръглена приблизителна стойност на реалните корени.

ПРАКТИЧЕСКО ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТЕМАТА.

1 зад. $x^3 + \sqrt{3}x^2 - 2x - 2\sqrt{3} = 0$

Решение: От определение 2, определение 3 и $\frac{a_3}{a_0} < 0$ следва, че уравнението има нула или два отрицателни реални корени, реални части на комплексни или имагинерни корени.

От определение 6 следва

$$\frac{a_3}{a_0} = 2\sqrt{3} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3}. \text{ Следва } x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = -\frac{a_3}{a_1} = -\sqrt{2} \cdot (-\sqrt{2}) \cdot (-\sqrt{3}) = -2\sqrt{3}.$$

От определение 6, формулите на Виет и

$$1) x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0} = \sqrt{2} - \sqrt{2} - \sqrt{3} = -\sqrt{3}.$$

От теорема 1, $\frac{a_1}{a_0} \geq 0$ и система

$$A) \begin{cases} r - s = \sqrt{3} \\ r + s = \sqrt{3} + 2\sqrt{2} \end{cases} \quad \text{Следва}$$

$r = \sqrt{2} + \sqrt{3}, s = \sqrt{2}$. От реална част на $\frac{a_1}{a_0} > 0$ и реална част на $\frac{a_1}{a_0} \neq t$, то реалните корени имат различни знаци.

Корените на уравнението са: $x_1 = -\sqrt{3}$, $x_2 = -\sqrt{2}$, $x_3 = \sqrt{2}$, за които трябва да е в сила равенството за коефициента пред първа степен на променливата:

$$2) x_1 x_2 + (x_1 + x_2) x_3 = \frac{a_2}{a_0} = -2.$$

2 зад. $4x^3 - 16x^2 + 21x - 9 = 0$

Решение: От определение 1 следва $x^3 - \frac{16}{4}x^2 + \frac{21}{4}x - \frac{9}{4} = 0$.

От определение 2, определение 3 и $\frac{a_3}{a_0} < 0$ следва, че уравнението има нула или два отрицателни реални корени, реални части на комплексни или имагинерни корени.

От определение 6 следва $\frac{a_3}{a_0} = \frac{9}{4} = 1 \cdot \frac{3.3}{2.2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot 1$. Следва $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = -\frac{a_3}{a_1} = 1 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{9}{4}$.

От определение 6, формулите на Виет и

$$1) x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0} = 1 + \frac{3}{2} + \frac{3}{2} = \frac{16}{4}.$$

От теорема 1, $\frac{a_1}{a_0} < 0$ и система

$$B) \begin{cases} s - r = \frac{16}{4} \\ s + r = \frac{16}{4} \end{cases} \quad \text{Тогава } s = \frac{16}{4}, r = 0. \quad \text{От}$$

реална част на $\frac{a_1}{a_0} < 0$ и реална част на $\frac{a_1}{a_0} = t$, то реалните корени са положителни числа.

Корените на уравнението са: $x_1 = 1$, $x_2 = \frac{3}{2}$, $x_3 = \frac{3}{2}$, за които трябва да е в сила равенството за коефициента пред първа степен на променливата:

$$2) x_1 x_2 + (x_1 + x_2) x_3 = \frac{a_2}{a_0} = \frac{21}{4}.$$

От 2) следва, че корените са решение на уравнението. Следва, че $\frac{3}{2}$ е двукратен корен.

$$3 \text{ зад. } x^3 + (12 - 23i)x + i - 47 = 0$$

Решение: От определение 6 следва $\frac{a_3}{a_0} = -47 + i = -9 + 19i - 18i + 38i^2 = -9(1 + 2i) + 19i(1 + 2i) = (1 + 2i)(-9 + 19i) = (1 + 2i)(+6 + 10i + 9i + 15i^2) = (1 + 2i)(2(3 + 5i) + 3i(3 + 5i)) = (1 + 2i)(2 + 3i)(3 + 5i).$

От определение 3, $\frac{a_3}{a_0} > 0$ и $\frac{a_1}{a_0} = 0$ следва, че уравнението има една отрицателна реална част на комплексен корен.

$$\text{Следва, че } -\frac{a_3}{a_0} = (1 + 2i)(2 + 3i)(-3 - 5i).$$

От определение 6, формулите на Виет и 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0} = 1 + 2i + 2 + 3i - 3 - 5i = 0.$

От теорема 1, $\frac{a_1}{a_0} \geq 0$ и система А) $\begin{cases} r - s = 0 \\ r + s = 6 + 10i \end{cases}$. Следва $r = 3 + 5i$, $s = 3 + 5i$. От реална част на $\frac{a_1}{a_0} = 0$ и реална част на $\frac{a_1}{a_0} \neq t$, то корените имат различни знаци.

Корените на уравнението са: $x_1 = 1 + 2i$, $x_2 = 2 + 3i$, $x_3 = -3 - 5i$, за които трябва да е в сила равенството за коефициента пред първа степен на променливата:

$$2) x_1 x_2 + (x_1 + x_2) x_3 = \frac{a_2}{a_0} = 12 - 23i$$

От 2) следва, че корените са решение на уравнението.

$$4 \text{ зад. } x^3 + 2x^2 + x + 2 = 0$$

Решение: От определение 2, определение 3 и $\frac{a_3}{a_0} > 0$ следва, че уравнението има един или три отрицателни реални корени, реални части на комплексни корени.

От определение 2 и определение 6 следва $\frac{a_3}{a_0} = 2 = 1.2$. Следва $-\frac{a_3}{a_0} = -i \cdot i \cdot (-2) = -2.$

От определение 6, формулите на Виет и 1) $x_1 + x_2 + x_3 = -\frac{a_1}{a_0} = i - i - 2 = -2.$

От теорема 1, $\frac{a_1}{a_0} \geq 0$ и система А) $\begin{cases} r - s = 2 \\ r + s = 2 + 2i \end{cases}$. Следва $r = 2 + i$, $s = i$.

От реална част на $\frac{a_1}{a_0} \geq 0$ и реалната част на $\frac{a_1}{a_0} = 2$, то реалните корени, реалните части на комплексните корени са отрицателни числа.

Корените на уравнението са: $x_1 = i$, $x_2 = -i$, $x_3 = -2$, за които трябва да е в сила равенството за коефициента пред първа степен на променливата:

$$2) x_1 x_2 + (x_1 + x_2) x_3 = \frac{a_2}{a_0} = 1.$$

От 2) следва, че корените са решение на уравнението.

$$5 \text{ зад. } x^3 + 4x^2 + 5x = 0$$

Решение От определение 4 и $\frac{a_3}{a_0} = 0$ следва, че $x_3 = 0$ и $x_1, x_2 \neq 0$.

Новата степен на уравнението е четна, защото $3 - 1 = 2$.

От определение 2, определение 3 и $\frac{a_2}{a_0} > 0$ следва, че уравнението има нула или два отрицателни реални корени, отрицателни реални части на корени, които могат да бъдат комбинация между реални корени, реални части на комплексни и имагинерни корени.

От определение 5 и определение 6 следва $\frac{a_2}{a_0} = 5 = (n + m)(n - m)$, където 5 е имагинерен множител. Нека $x_1 x_2 = p = 5$. От $\frac{a_1}{a_0}$ следва, че реалните части на спрегнати ирационални, комплексни или имагинерните корени са с еднакви знаци.

От определение 6, формулите на Виет и 1) следва $n + m + n - m = -4$. Тогава $n = -2$. От формулата на Стоянов следва $x_{1,2} = -2 \pm \sqrt{(-2)^2 - 5}$. Следва $\frac{a_2}{a_0} = (-2 + i)(-2 - i).$

От теорема 1, $\frac{a_1}{a_0} = 0$ и система А) $\begin{cases} r - s = 0 \\ r + s = 0 \end{cases}$. Следва

От реалната част на $\frac{a_1}{a_0}$, то реалните корени, реалните части на комплексните и имагинерни корени са с еднакви знаци.

Корените са: $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$.

6 зад. 3 $-(3 + 2i) - (1 - 2i)x + 1 = 0$

Решение: От определение 1 следва

$$-x + = 0.$$

От определение 2, определение 3 и > 0 следва, че уравнението има един или три отрицателни реални корени, реални части на имагинерни корени.

От следва, че реалните части на спрегнати имагинерните корени са с различни знаци, но произведението на двата спрегнати корена е отрицателно число.

От определение 6 следва $= = 1$.
 $= 1 \cdot (m+n)(m-n)$, където $-$ е имагинерен множител. Нека $= p =$.

От определение 6, формулите на Виет и 1) следва $1 + n + m - n + m =$. Тогава $m =$.
 От формулата на Стоянов следва

$$. \text{ Следва } =$$

$$. 1 = .$$

От определение 6, формулите на Виет и

$$1) = + + 1 = .$$

От теорема 1, < 0 и система

Б) . Следва

$$, r = . \text{ От реалната част на}$$

, то реалните корени, реалните части на комплексните и имагинерни корени са с различни знаци.

Корените са: $=$, $=$, $=$
 1, за които трябва да е в сила равенството за коефициента пред първа степен на променливата:

$$2) = = .$$

От 2) следва, че корените са решение на уравнението.

7 зад. Един баща има деца. Произведението на годините на децата е 15, а

техния сбор е 9. Да се намерят годините на децата и да се намери уравнението.

Решение: Първи етап. ДМ: $x_1, x_2, x_3 \in \mathbb{N}$.

Втори етап. За да се намерят годините на децата, трябва да се разложи числото 15 на прости множители и да се провери кога се получава сбор 9. От $15 = 3 \cdot 5$ и да се получи сбор 9 трябва да прибавим 1. Бащата има 3 деца и те са на 1, 3 и 5 години. Уравнението има три корена и е от трета степен.

Корените на уравнението са: $= 1$,
 $= 3$, $= 5$.

За да се състави уравнението трябва да се намерят коефициентите на уравнението от формулите на Виет, за връзка между корени и коефициенти на уравнението.

$$1) x_1 + x_2 + x_3 = = 9$$

$$2) = = 23$$

$$3) \cdot \cdot = = 15.$$

$$\text{Уравнението е: } x^3 - 9x^2 + 23x - 15 = 0.$$

IV. ЛИТЕРАТУРА:

[1] Генов, Г., Ст. Миховски, Т. Моллов, „Алгебра“, Паисий Хилендарски, 2006, с. 296-299, [Genov, G., St. Mikhovski, T. Mollov, „Algebra“, Paisii Khilendarski, 2006, s. 296-299].

[2] Стоянов, С., Й. Стоянов, Обща теория за алгебрично решение на уравнение от степен n ($n \geq 2$), с една променлива, над всяко поле, без понижаване степента на уравнението, което може да има един и повече от един имагинерен множител, „Доклади от V национална конференция Педагогика на обучението по математика и информатика“, Архимед&Диоген, 2020, с. 112-128, [Stoyanov, S., I. Stoyanov, Obshta teoriya za algebrichno reshenie na uravnenie ot stepen n ($n \geq 2$), s edna promenлива, nad vsyako pole, bez ponizhаване stepenta na uravnenieto, koeto mozhe da ima edin i poveche ot edin imaginерен mnozhitel, „Dokladi ot V natsionalna konferentsiya Pedagogika na obuchenieto po matematika i informatika“, Arkhimed&Diogen, 2020, s. 112-128].

[3] Обрешков, Н., Висша алгебра, Наука и изкуство, 1954, с. 154 [Obreshkov, N., Vissha algebra, Nauka i izkustvo, 1954, s. 154].

За контакти :

Стоян Стоянов, старши учител по математика
 СУ „Св. Св. Кирил и Методий“ –
 Две могили, Обл. Русе
 e-mail: stoyanov_7150@abv.bg

СЪВРЕМЕННИ МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ИЗНОСВАНЕТО НА ЦИЛИНДРОВИТЕ ВТУЛКИ С ДИАМЕТЪР МЕЖДУ 500 – 1000 mm НА ДВУТАКТОВИ КОРАБНИ ДВИГАТЕЛИ

Калин Люцканов

MODERN METHODS FOR DETERMINING THE WEAR OF CYLINDER LINERS WITH A DIAMETER BETWEEN 500 – 1000 mm OF TWO-STROKE MARINE ENGINES

Kalin G. Lyutskanov

Резюме: В доклада са разгледани новите тенденции и методи за определяне на износването на цилиндрови втулки с диаметри между 500 – 1000 mm. Цилиндровите втулки на двутактовите корабните двигатели са подложени на максимално износване при експлоатацията на двигателя. Съвременните методи за измерване на цилиндровите втулки LINER DIAMETER MEASUREMENT (LDM) дават възможност износването да бъде актирано, без разглобяване на глава, изпускателен клапан и тн.

Ключови думи: съвременни методи на измерване, износване, дефектация, цилиндрови втулки, корабни двигатели

Abstract: The report examines new trends and methods for determining the wear of cylinder liners with diameters between 500 - 1000 mm. The cylinder liners of two-stroke marine engines are subject to maximum wear during engine operation. Modern methods for measuring cylinder liners, LINER DIAMETER MEASUREMENT (LDM), make it possible to measure wear without disassembling the head, exhaust valve, etc.

Keywords: modern methods, wear, cylinder liner, measurement, marine engines.

I. ВЪВЕДЕНИЕ (INTRODUCTION):

Цилиндровите втулки на двутактовите корабните двигатели са едни от елементите подложени на максимално износване при експлоатацията на двигателя. Степента на износване на цилиндровите втулки се определя на 1000 работни часа на двигателя. За новите двигатели степента на износване е 0.03-0.04мм/1000 раб. часа, докато при старите двигатели е със стойност 0.1 мм/1000 раб. часа. [1]

Характерните проблеми отнасящи се към цилиндровите втулки са свързани с:

- ✓ Триене;
- ✓ Корозия;
- ✓ Абразивно износване;
- ✓ Задиране или адхезия;
- ✓ Полиране на работната

повърхност.

Триенето по повърхността на цилиндровата втулка се получава вследствие на работата на буталото и буталните пръстени, при което се получава износване на

двата взаимно работещи детайла. Триенето зависи от няколко фактора:

- ✓ скорост на движението;
- ✓ използваните материали;
- ✓ температура;
- ✓ смазване;
- ✓ натоварване на двигателя;
- ✓ качество на горивния процес[1].

Износване вследствие на корозия се получава вследствие неизгаряне на горивото в горивната камера. Това се получава поради високо съдържание на сяра в горивото. По време на горенето в горивното пространство се образуват киселини, които трябва да бъдат неутрализирани от цилиндровото масло, което е алкално по характер. Образоването на киселини ще бъде повече когато и наличието на сяра е по-голямо - образува се сярна киселина. Тази сярна киселина се образува поради абсорбирането на кондензат или влага в горивното пространство. Износването вследствие на този вид корозия е по-голямо около отворите за смазване, като там се

образува визуално отпечатък във формата на детелина.

Абразивното износване се получава вследствие на наличие на твърди частици между цилиндровата втулка и бутало-мотовилковия механизъм.

Задирането или адхезията се получават поради липса на добри обмазване, което води до увеличаване на топлината между буталния възел и цилиндровата втулка, което от своя страна води до микрозаваряване между буталните пръстени и цилиндровата втулка, което от своя страна може да доведе до отчупване на бутален пръстен и рязко повишаване степента на износване на цилиндровата втулка. Задирането или адхезията могат да се получат и при отсъствието на хонинг канали в цилиндровата втулка, вследствие на което няма да има задържане на масло по стените на цилиндровата втулка, което пък ще доведе до задиране или адхезионна връзка. Задиране може да се получи и вследствие на неправилна центровка между буталния възел и цилиндровата втулка или при неправилен монтаж на цилиндровата втулка в цилиндровия блок.

Полиране на работната повърхнина - получава се вследствие на натрупване на отлагания, които се натрупват в хонинг каналите на цилиндровата втулка и вследствие работата на буталния възел повърхността на цилиндровата втулка се заглажда и се получава огледало[1]

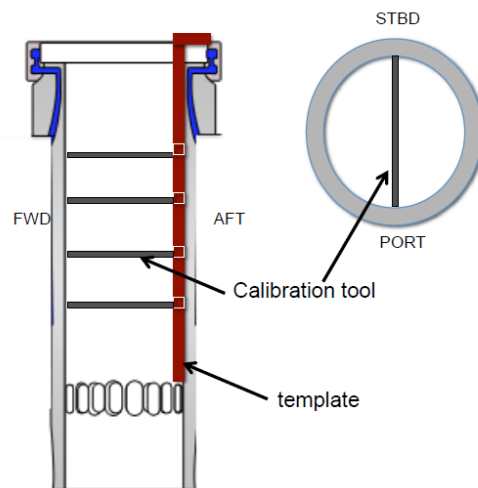
II. МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО (METHODS, RESULT):

Когато износването на цилиндровите втулки е по-голямо от $0,6 \div 0,8\%$ от номиналния диаметър на втулката тя трябва да се смени с нова.

Стандартният метод за определянето на износването на цилиндровата втулка става с помощта на вътромер с индикаторен часовник

или шихмус. При тези методи е необходимо демонтиране на главата, както и изпускателния клапан и всички прилежащи към тях тръби и окабелявания.

Самото измерване се осъществява по две направления 0 и 90 градуса в 6 сечения



Фиг. 1. Стандартен метод за измерване на износването на цилиндрова втулка

(зависимост от височината на втулката). При този метод обаче има намесата на човешката грешка, която може да настъпи при самото калибриране на уреда .

Съвременните методи за измерване на цилиндровите втулки LINER DIAMETER MEASUREMENT (LDM) дават възможност износването да бъде актирано, без разглобяване на глава, изпускателен клапан и т.н.

Процедурата по измерване на цилиндровата втулка посредством LDM е следната:

1. Помпата за смазочното масло се спира и се включва валоповоротката;
2. Температурата на цилиндровата втулка трябва да е под 70°C ;
3. Отварят се капачите за оглед на продухvatелните прозорци на цилиндровата втулка, пръстените и самото бутало;
4. Премахва се единствено пусковият клапан или горивната дюза, за да се спусне главата на антената на апарата.



Фиг. 2. Поставяне на антената

5. Главата на антената се спуска на 50 мм в горивната камера и се осигурява против откачане

6. Под буталото, с магнит, се закрепя датчик за положението му

7. Кабелът на този датчикът и кабела на антената се свързват към интерфейс кутия , които трябва да останат свързани по време на измерването.



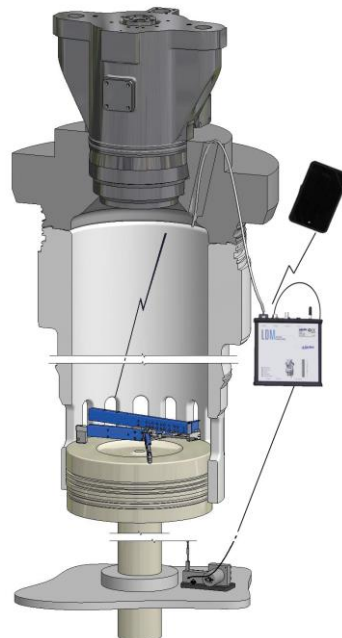
Фиг. 3. Интерфейс кутия

8. Приспособлението за измерване (фиг. 4) състоящо се от база и измервателно въртящо рамо се поставя през продухателните прозорци на цилиндровата втулка, като базата и рамото се настройват и калиброват според номиналния диаметър на втулката.



Фиг. 4 Приспособление за измерване (база и измервателно въртящо рамо)[2]

Данните на износването се взимат от измерванията на 0, 90, 180 и 270 градуса, а за изноване „clover leafing” сечения на цилиндровата втулка, тя се измерва на 0, 10, 20, 30 и т.н. градуси (фиг. 5).



Фиг. 5. Цялостна схема на измерването[2]

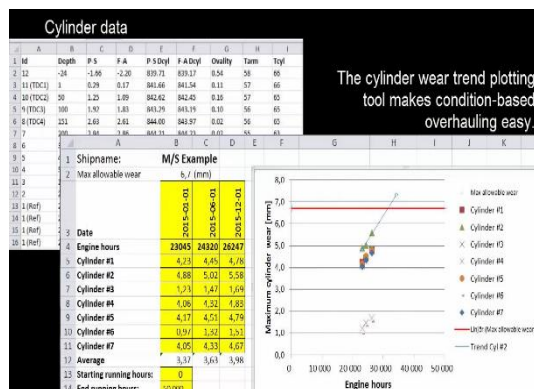
Цялостно измерване на цилиндровата втулка по този метод отнема 20 минути (фиг.6).

След приключване на измерването на

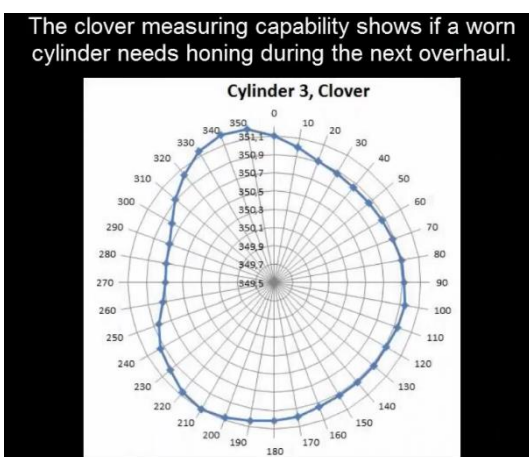


Фиг.6. Clover leafing износване

цилиндровите втулки на целия двигател, данните се обсъждат и се взимат последващи решения за пословащите ремонтно-възстановителни дейности.



Фиг. 7. Резултати от измерването



Фиг. 8. Резултати от измерване на clover leafing износване

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION):

Съвременните методи за измерване на износването на цилиндровата втулка, спестяват време, което може да е от изключителна важност при необходимости бързи и адекватни взимане на решения.

II. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1] KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5
- [2] <https://chris-marine.com/>
- [3] HRISTOV, H. Repairing piston steel head in internal combustion ship engine Mitsubishi 60 LS by means of flux-cored arc built up welding. Journal of Marine Technology and Environment, vol. 2, pp. 45-48, Constanta Maritime University, Romania, 2017, ISSN(Print):1844-6116, ISSN(Online):1884-6116.
- [4] HUTCHINGS I., M., TIBOLOGY: Friction and wear of engineering materials, Edward Arnold, London, 1992.
- [5] KALPAJIAN, S. Manufacturing Engineering and Technology, Illinois Institute of Technology Addison - Wesley Pub. Co., 1199 p., 1990

За контакти :

¹ гл. ас. д-р инж. Калин Люцканов
Катедра „КММ“
ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ – Варна
e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu

СТАТИЧНО БАЛАНСИРАНЕ НА ГРЕБНИ ВИНТОВЕ

Калин Г. Люцканов

STATIC BALANCING OF PROPELLERS

Kalin G. Lyutskanov

Резюме: В разработката е представена една примерна типова технология за статично балансиране на гребни винтове. Съгласно изискванията на класификационните организации, след ремонт свързан с отнемане или добавяне на метал, корабните винтове се подлагат на статично уравновесяване.

Ключови думи: гребни винтове, статично балансиране, кораборемонт, възстановяване

Abstract: The report presents an exemplary type of technology for statically balancing propellers. According to the requirements of the classification societies, after repairs involving the removal or addition of metal, the ship's propellers are subjected to static balancing

Key words: propeller, static balancing, ship repair, reconditioning

I. ВЪВЕДЕНИЕ (INTRODUCTION):

След ремонт гребните винтовете се балансират. Статичното балансиране на винтовете може да се извърши по различни начини:

- върху цилиндричен дорник и призми (ножове), подобно на статичното балансиране на диск на ротора на турбина;
- върху цилиндричен дорник в центровете на струга; в хоризонтално положение на специални машини за балансиране.[1]

Чрез статичното балансиране се определя и намалява статичната неуравновесеност. За статично балансиране на въртяща се част, нейният център на тежестта трябва да бъде прехвърлен към геометричната ос на въртене. Този тип балансиране се нарича статично балансиране.

По време на статично балансиране винтът е монтиран на дорник, поддържан от лагери с ниско триене, така че винтът да може да се върти свободно и изисква минимална сила за преместването му

Принципът на статичното балансиране е следният: поставете винта върху машината и

го завъртете. По време на развиване автоматичното устройство определя нивото на дисбаланс, показва данните от измерването на дисплея и посочва къде да се постави тежестта с каква маса.[1],[2],[3].

II. МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО (METHODS,RESULT):

Съгласно изискванията на класификационните организации, след ремонт свързан с отнемане или добавяне на метал, корабните винтове се подлагат на статично балансиране.

Статичната балансировка се проверява с контролна тежест, която поставена в края на всяка хоризонтално разположена лопатка (лопус), трябва да предизвика завъртане на винта (съгласно БДС 13103:1981 Винтове гребни. Технически изисквания. Методи на измерване).

Масата на контролната тежест се определя по формулата: [2]

$$m = K \frac{m_B}{R \cdot 1000}, kg \quad (1)$$

където: m_B – маса на гребния винт в тонове (t);

R – радиус на гребния винт в метри (m);

K – коефициент, зависещ от броя на оборотите и масата на винта (таблица 1).

Таблица 1: Коефициент K на винтове

Обороти на винта [min^{-1}]	Маса на винта:	
	до 10 t.	над 10 t.
до 200	0,75	0,50
от 200 до 500	0,50	0,50
над 500	0,25	

Статично балансиране:

Извършва се на специален стенд посредством дорник с два конуса (подвижен и неподвижен) на които се закрепва гребния винт при следната последователност:

1. Сапанирания винт се поставя на дорник през главината докато неподвижния конус легне в нея. Подвижния конус се натяга посредством гайка, при което дорника се самоцентрира към главината на гребния винт. Дорника с монтирания на него винт се поставя на стенда.
2. Винтът се завърта неколкоратно в едната и другата посока. Ако гребния винт застава с тежкия лопус надолу, а лекия нагоре последния се довежда до хоризонтално положение и в края се окайва контролна тежест с маса изчислена по формула 1.
3. Ако винта се завърти под действието на контролната тежест това показва, че статистическата неуравновесеност е в допустими граници.
4. При статистическа неуравновесеност е над допустимите стойности (норми) от тежкия лопус се отнема метал до постигане на изискванията за статично балансиране.

В случай, че тежки се окажат два лопуса метал се отнема и от двата, след което винта се проверява за уравновесеност съгласно т. 1.

При отнемане на метал да се спазват допуските за отклонение от дебелината на перките.

Забележка:

В обосновани случаи се допуска уравновесяване чрез добавяне на метал.

За уравновесяване на гребния винт може да се отнема метал от главината. Ако това е недостатъчно – от място, разположено по засмукващата страна на лопуса, отстоящо на разстояние от ръба не по-малко от 10% от

ширината на лопуса, при следната последователност:

1. На лекия лопус, поставен в хоризонтално положение, се закрепва уравновесяваща тежест, която трябва да доведе до завъртване на винта. Масата на метала, подлежащ на снемане, се определя по формулата:[2]

$$G_M = \frac{G_{yp} \cdot R_{yp}}{R}, \text{kg} \quad (2)$$

където: G_{yp} – тегло на уравновесяващата тежест (kg);

R – разстояние от оста на гребния винт до центъра на повърхността, от която ще се отнема метал (m);

R_{yp} – разстояние от оста на гребния винт до центъра на уравновесяващата тежест (m).

2. Определеното количество метал се отнема с помощта на турбинка или чрез изсичане, след което се прави проверка за статическа уравновесеност по описания по-горе начин.[2]

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION):

След достигане на статическа уравновесеност в допустимите норми повърхнините, от които се отнема метал се обработват с клас на грапавост $Rz40 \div Ra2,5$.

Забележка:

1. Завишаване класът на грапавост се изисква само в специални случаи.
2. При ремонт или подмяна на лопуси на гребни винтове с регулируема крачка разликата в теглото на перките не трябва да превишава 1,5%.

Статично уравновесеният гребен винт се приема от инспектор по качество и представител на класификационна организация.

IV. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1]. KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5
- [2] CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243
- [3] HRISTOV, H. Repairing worn-out rudder bearing hub and propeller by means built up welding. Journal of Marine Technology and Environment vol. 2, pp. 49-52, Constanta Maritime University, Romania, 2017, ISSN(Print):1844-6116, ISSN(Online):1884-6116.

[4]. SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987

[5] TOWNSIM RL, SPENCER DS, MOSAAD M, PATIENCE G. Rough propeller penalties. Trans SNAME; 1985.

[6] TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. Trans SNAME; 1981.

За контакти (Affiliation):

¹ гл.ас. д-р инж. Калин Люцканов
катедра „КММ”

ВВМУ „Н.Й.Вапцаров“ – Варна

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu

¹ Asst. prof. Eng.Kalin Lyutskanov PhD

Department „Ship power plants”

Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna

ТЕХНИЧЕСКИ ИЗИСКВАНИЯ И МЕТОДИ НА ИЗМЕРВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ГРЕБНИ ВИНТОВЕ**Калин Г. Люцканов****TECHNICAL REQUIREMENTS AND METHODS OF MEASURING OF PROPELLER PARAMETERS****Kalin G. Lyutskanov**

Резюме: Гребният винт е основния двигател на кораба. Това се дължи на неговите предимства – висок к.п.д и голяма надеждност при работа. В доклада са анализирани техническите изисквания към гребните винтове методите за измерване на параметрите им.

Ключови думи: гребни винтове, параметри и характеристики на гребни винтове.

Abstract: The propeller is the main propulsion of the ship. This is due to its advantages – high efficiency, great reliability in operation. The report analyses the technical requirements for propellers and the methods for measuring their parameters.

Keywords: propellers, propeller parameters, measurement.

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Като основен метод за изработване на гребни винтове е металолееенето. Получените заготовки се подлагат на механична обработка до получаването на готовия продукт.

Гребните винтове са с различен дизайн и затова рядко се получават поръчки за еднакви винтове.

Определя се геометричната ос на гребния винт, измерват се неговите геометрични параметри, определя се големината на прибавката за механична обработка от нагнетателната и засмукващата страна на всеки лопус.

В кораборемонтната практика е необходимо да се измерят параметрите на новодоставени или ремонтирани гребни винтове и получените данни да се сравнят с техническите изисквания [1],[2].

II. ИЗЛОЖЕНИЕ:

Техническите изисквания и методите за контрол на параметрите на гребните винтове (ГВ) зависят и се дефинират от техния клас.

Техническите изисквания и методите за контрол на параметрите на гребните винтове (ГВ) зависят и се дефинират от техния клас.

Класовете на гребните винтове и материалите им могат да се определят както следва: S – специален: Специални бронзи; Неръждаема стомана; Специални сплави. I –

висш: Специални бронзи; Специални месинги; Неръждаеми и въглеродни стомани; II – среден: Специални бронзи; Специални месинги; Неръждаеми и въглеродни стомани; Специални сплави; III – нормален: Неръждаеми и въглеродни стомани; Сив и високоякостен чугун; Специални сплави

Проверката на параметрите и техническите характеристики на гребните винтове се извършва в определена последователност. Тя може да се представи по следния начин:

1. Грешката на използваните инструменти не трябва да превишава половината от допустимото отклонение на измерваната величина.

2. Крачката, дебелината, дължината на сечението на лопуса (перката) и разстоянието от осевата линия на лопуса до изходящия ръб на ГВ се измерват с сечения с радиуси: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95R;

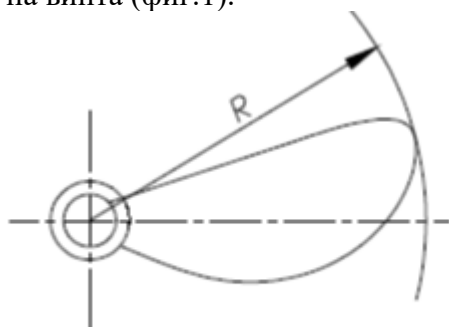
В зависимост от класа на винта:

➤ класове „S” и „I” е диаметър D до 2,5 m – се измерват в не по-малко от осем сечения;

➤ класове „S” и „I” с диаметър D < 2,5 m и клас „II” – в не по-малко от пет сечения съответно с радиуси: 0,3 или 0,4; 0,5; 0,6 или 0,7; 0,8; 0,9 или 0,95R;

➤ клас „III” – в не по-малко от четири сечения съответно с радиуси: 0,4 или 0,5; 0,6 или 0,7; 0,8; 0,9 или 0,95R.

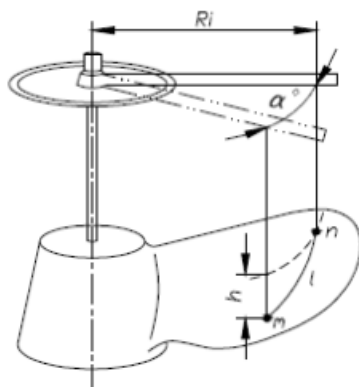
3. Радиусът на винта „R” се определя като разстояние от оста на винта до крайния ръб на лопуса на винта (фиг.1).



Фиг. 1. Радиус ГВ

4. Измерването на се извършва като гребният винт се поставя в хоризонтално положение на удобно място с нагнетателната повърхност на лопусите нагоре. След почистването им се монтира крачкомера, като се центрова се извършва по малкия диаметър на отвора в главината. Нагнетателната повърхност се намазва с оцветител и на всеки лопус се очертават контролни окръжности с величина на радиусите съгласно т. 2.

5. Крачката на сечението „НС” за винтове с плоска нагнетателна страна се определя по сечението при даден радиус R_i между две точки „m” и „n” всяка от които е разположена на разстояние не по-малко от 0,1 дължина на сечението от края на лопуса. Между точките „m” и „n” в плоскостта, перпендикулярна на оста на винта при зададен ъгъл „ α ” в градуси с крачкомера се измерва разликата във височините „h” mm (фиг.2) [1], [2].



Фиг. 2.

6. Крачката на сечението H_C за винтове с вдлъбната или изпъкнала нагнетателна страна на лопуса се определя по сечението на дадения радиус между две крайни точки,

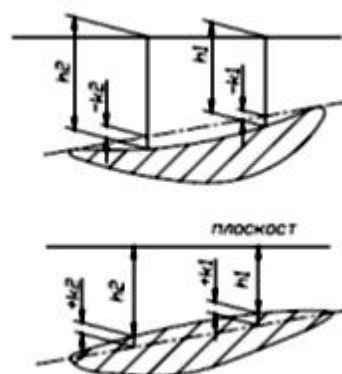
всяка от която е разположена на разстояние не по-малко от 0,1 дължина на сечението от края на лопуса. В тези точки при зададен ъгъл „ α ” в градуси, се измерват осевите координати на нагнетателната повърхност „ h_1 ” и „ h_2 ” с отчитане на поправките „ k_1 ” и „ k_2 ” (снемат се от чертежа на сеченията) за вдлъбнатост и изпъкналост на нагнетателната страна относно вътрешната или външна хорда (фиг.3).

Крачката на сечението на дадения радиус се изчислява по формулата:

$$H_C = \frac{360^\circ}{\alpha^\circ} \cdot [(h_2 \pm k_2) - (h_1 \pm k_1)], \text{ mm} \quad (3)$$

7. Кривината в сечението на лопуси на ГВ от специален, висш и среден клас се измерват по сеченията R_i (т.2.) на нагнетателната повърхност в точките m, n (т.5.) и в точка, по средата между тях.

8. Крачката на лопуса НП се изчислява като средноаритметично на крачката на



Фиг. 3. Определяне на крачката по сечение НС на даден радиус по две крайни точки

сечението на лопуса на всички приети радиуси, започвайки от 0,5R по формулата:

$$H_{\Pi} = \frac{(H_{C0,5R} + \dots + H_{C0,95R})}{n} \quad (4)$$

където: 0,5R ÷ 0,95R – радиуси на измерването;

където: n – брой на сеченията на лопуса.

9. Крачката на винта H_B се изчислява като средноаритметично на крачките на всички лопуси по формулата:

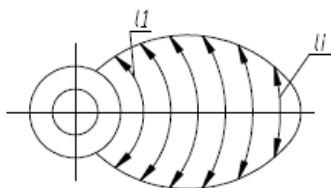
$$H_B = \frac{(H_{I1} + H_{I2} + \dots + H_{Iz})}{z} \quad (5)$$

където: z – брой на лопусите на гребния винт.

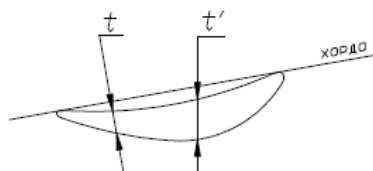
10. Разликата на крачките на сеченията ΔH_C се изчислява в проценти по формулата:

$$\Delta H = \frac{H_{Cmax} - H_{Cmin}}{H_{CK}} \cdot 100, \% \quad (6)$$

и представлява отношение на разликата



Фиг. 4.



Фиг. 5

между действителната максимална и минимална стойност на крачката при еднакви радиуси на сеченията на различни лопуси към крачката на това сечение, посочена в работния чертеж на винта.

11. Дължината на сечението на лопус „I” се определя по нагнетателната повърхност чрез налагане на гъвкава рейка (линийка) върху следата на съосен с винта цилиндър на дадения радиус (фиг.4).

12. Дебелината на сечението на лопуса се измерва на всички приети радиуси в зададените точки в направление перпендикулярно на хордата „t” или успоредно на оста на гребния винт „ t'” (фиг.5.) [1], [2].

Дебелината на сечението на лопуса се измерва в не по-малко от четири точки, извънрайона на ръбовете. Това важи и за измерването на максималната дебелина.

За ГВ с диаметър до 1,0 m. включително и с дисковоотношение по-малко

от 0,70 се допуска измерване дебелината на сечението само по линията на най-големите дебелини.

Дебелината на входящите и изходящи ръбове се проверява с шаблони, които осигуряват спазването на размерите на ръбовете с допустими отклонения, непревишаващи определени стойностите

Дължината на работната част на шаблоните за проверка трябва да бъде 0,15 от дължината на сечението, но не повече от 125 mm. За винтове, обработвани на машини с ЦПУ и на копирни машини, дължината на шаблона се определя от предприятието производител.) [1], [2].

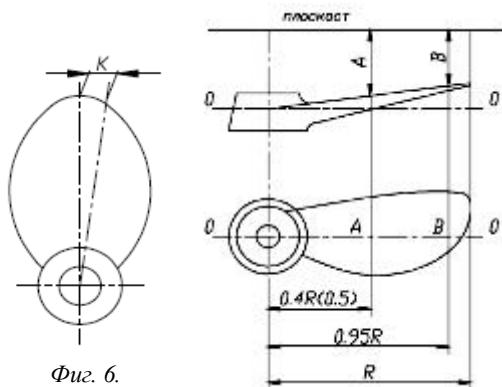
Ръбовете на ГВ от специален и висш клас могат да бъдат проверени със срязани шаблони ако предприятието производител и клиента се договорят. Дължината на тези шаблони трябва да представлява 0,20 от дължината на сечението, но не повече от 300 mm.

Максималните хлабини между срязаните шаблони и лопуса не трябва да превишава:

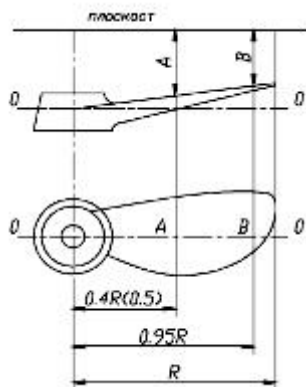
- за гребни винтове от клас „S” – 0,25 mm;
- за гребни винтове от клас „I” – 0,35 mm.

13. Отклонението от положението на осевата линия на лопуса по окръжността в плоскостта на диска на винта „K” се измерва в съответствие с показаната схема на фиг. 6.

14. Положението на лопуса надлъжно на оста на винта се определя чрез измерване на разстоянието от равнина, перпендикулярна на оста на винта, намираща се на определено разстояние от кърмовата стена на главината, до точки, лежащи на осевата линия на всяка перка на разстояние 0,4 или 0,5R и 0,95R от оста на винта, в съответствие с фиг.7.



Фиг. 6.



Фиг. 7

Взаимното разположение на осевите линии на лопусите надлъжно на оста на винта се определя като разлика от най-голямото и най-малкото разстояние в точките 0,4 или 0,5R, измерени в съответствие с изискванията на т. 14.

Масата на гребния винт се проверява чрез претегляне

15. Грапавостта на повърхнината на лопусите и главината се проверява чрез преносим уред за измерване на грапавост или се сравнява с еталонни образци за грапавост.

16. Чрез шаблони се проверява плавността на повърхнината на лопусите.

III. ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА:

[1] KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5

[2] CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

[3] SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987

[4]. TOWNSIM RL, SPENCER DS, MOSAAD M, PATIENCE G. Rough propeller penalties. Trans SNAME; 1985.

[5]. TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. TransSNAME; 1981.

За контакти (Affiliation):

¹гл.ас. д-р инж. Калин Люцканов

катедра „КММ”

ВВМУ „Н.И.Вапцаров“ – Варна

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu

¹ Asst. prof. Eng.Kalin Lyutskanov PhD

Department „Ship power plants”

Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna

ЕФЕКТИВНОСТ И ЕКОЛОГИЧНИ ПРЕДИМСТВА НА ТЕЖКОТОВАРЕН АВТОМОБИЛЕН ТРАНСПОРТ С ХИБРИДНО ЗАДВИЖВАНЕ

Николай Иванов

EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL BENEFITS OF HYBRID HEAVY-DUTY ROAD TRANSPORT

Nikolay Ivanov

Резюме: Разгледани са основните ефекти от въвеждането на хибридно задвижване при тежкотоварния автомобилен транспорт от гледна точка на повишаване на неговата ефективност, удължаване на периода на неговата енергийна автономност, намаляване на престоя за презареждане, в сравнение с чисто електрическите еквиваленти на батерии, както и значението при постигане на екологичност на модерните товарни автотранспортни средства.

Ключови думи: хибридно задвижване, тежкотоварен автомобилен транспорт, енергийна ефективност, екология

Abstract: A review has been done on the main effects of the introduction of hybrid drive in heavy-duty road transport in terms of increasing its efficiency, extending the period of their energy autonomy, reducing downtime for recharging compared to purely electric battery equivalents, as well as its importance in achieving environmental friendliness of modern cargo vehicles.

Keywords: hybrid drive, heavy-duty road transport, energy efficiency, ecology

I. Въведение:

С нарастването на изискванията за повишаване на екологичността на тежкотоварния автомобилен транспорт се поражда необходимостта от разработване на алтернативни методи на задвижване.

Тежкотоварните автомобили, аналогично на леките автомобили могат да използват хибридни системи на задвижване.

За основен източник на енергия се използва горене на нефтопроизводни горива като дизел, бензин и газ, както и задвижване чрез автономни батерии.

След значителен напредък на технологията през последните години, започнаха по-широко да се прилагат хибридните двигатели, използвайки мощни и високоефективни електродвигатели захранвани чрез малък двигател с вътрешно горене.

След множество настоящи и все още не влезли в сила нормативни документи по

отношение на ограничаване на вредните емисии в атмосферата, хибридните двигатели се явяват възможна алтернатива на класическите големи двигатели с вътрешно горене, който все по-трудно изпълняват прогресивно намаляващите критерии за съдържанието на изгорелите газове.

Със създаването на все по-компактни и ефективни хибридни системи, от скоро започнаха да се предлагат и първите тежкотоварни превозни средства.

Настоящият труд разглежда предимствата и недостатъците от внедряването на новите разработки в областта на хибридното задвижване при тежкотоварните превозни средства, както и досегашните пречки които бяха преодоляни, за да може тази технология да стане приложима при този вид транспорт.

II. Изложение:

Хибридно задвижване е обект на непрестанно развитие през последните години. Именно поради напредъка в областта на този вид технологии от сравнително скоро е приложима и икономически изгодна комбинацията на конвенционален двигател с вътрешно горене и електрически двигатели, по отношение на завиждане на тежко товарни автомобили.

Хибридно задвижване се характеризира с едновременно използване два или повече начина на задвижване, като обикновено се разбира комбинацията от електрическо задвижване и двигател с вътрешно горене.

За първи път хибридни автомобили се появяват през 1899 г., разработвани от създателя на Порше, Фердинанд Порше и Якоб Лонер, като технологичните ограничения за онова време, ограничават масовото разпространение на концепцията.

Първоначално технологията намира приложение при железопътния транспорт, като системата е била от последователен (сериен) тип – конвенционален двигател произвежда електричество чрез свързан генератор, което се използва от електрически двигател свързан с трансмисията за извършване същинското задвижване.

С постоянно нарастващите екологични изисквания и крайна цел достигане на 0 вредни емисии отделяни от превозните средства по света, за много от компаниите производители настъпва подходящия момент да вложат ресурси в разработването на хибридни технологии.

Първият модерен хибриден автомобил е „Тойота Приус“, където се използва едновременната работа на двигател с вътрешно горене и електродвигател, снабден с метал-хидридни батерии. Системата е от серийно-паралелен тип, която при моделите на Тойота се нарече синерджи драйв, използва паралелно предаване на въртящия момент към задвижващите колела с едновременната работа на двигателя с вътрешно горене и електродвигателя.

За изработка на Никел-Метал-Хидридни батериите се използват около 1 кг неодиум и 15 кг лантан, водещо до оскъпяване на първите

модели коли, но със перспективата тази инвестиция да бъде компенсирана от икономията на гориво. Първият модел хибриден „Приус“ е пуснат на пазара през 1997 г., като от тогава са продадени над 1,7 милиона хибридни автомобили от този модел, което се равнява на икономия от близо 9 милиона тона въглероден диоксид, които биха били освободени в атмосферата от конвенционални автомобили. [1]

От екологична гледна точка хибридните превозни средства значително намаляват разхода на гориво и емисиите, чрез комбинацията от двигатели с вътрешно горене и електродвигатели.

В резолюция на страните членки на Европейския съюз се предвижда до 2030 г. нивото на CO₂ емисии които превозните средства отделят да е с 35% по-малко, в сравнение с това от 2020 г. Тази цел е непостижима с употребата на чисто електрически превозни средства поради малкото им разпространение или непрестанното подобряване на работата на настоящите бензинови или дизелови двигатели. При сегашното състояние на технологиите и инфраструктурата за зареждане на електромобили по света, най-икономически изгодно и приложимо се явява употребата на хибридни превозни средства.

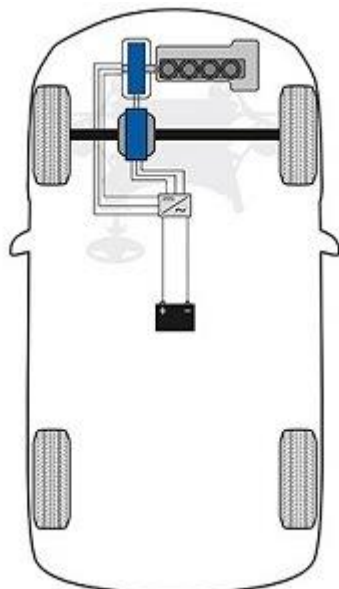
Съществуват няколко основни вида хибриди:

- **Сериен Хибрид:** състоящ се от поне два двигателя и едно задвижване (Фигура 1).

Серийното хибридно задвижване се състои от двигател с вършено горене свързан с генератор на електроенергия, която се съхранява в акумулатори или се използва директно от един електродвигател свързан с диференциал, или два и повече електродвигателя за директно задвижване на колелата.

Този вид хибрид позволява пълна автономност на превозното средство и скорост на презареждане. Основната функция на двигателя с вътрешно горене е да допълва батерията захранваща електродвигателите, като по този начин се позволява ограничен пробег изцяло на електричество, като в същото време междинното презареждане при

пътувания на дълги разстояния представлява допълване на резервоар със съответното гориво в най-близката бензиностанция. Това е огромно предимство спрямо някои от следващите видове хибриди и изцяло електрическите превозни средства.



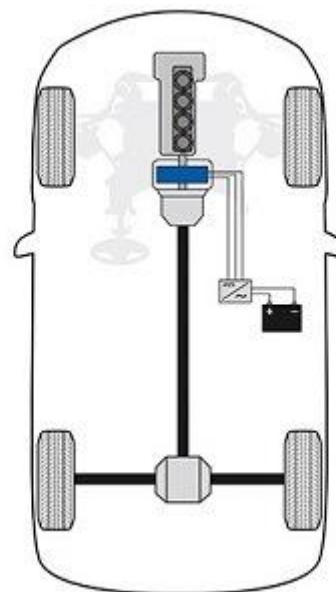
Фигура 1: Сериен Хибрид [2]

- **Паралелен Хибрид:** два двигателя и два начина на задвижване.

Тук характерно е едновременното предаване на мощност от двигател с вътрешно горене и електродвигател, като съотношението на предаваната сила може да бъде променлива. Също така е характерна нуждата от няколко комплекта трансмисии със съединители.

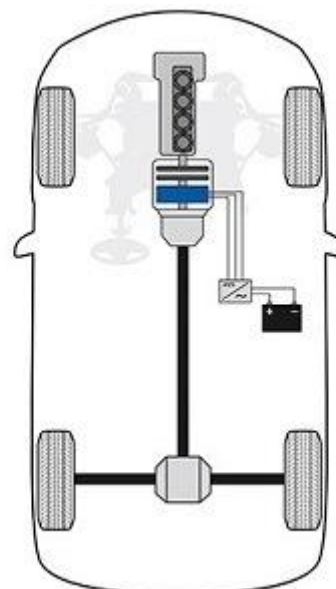
Съществуват два основни подвида паралелни хибрида – **умен хибрид** (също наричан мек хибрид) и **пълнен хибрид**.

Умният хибрид (Фигура 2) е най-простият като конструкция и най-икономически изгоден хибрид. Представлява употребата на 48 волтов електродвигател играещ ролята на стартер, свързан с ремъчна предавка или чрез директна твърда връзка към колянния вал на двигателя с вътрешно горене. Основната функция се изразява в оползотворяване спиращата енергия за зареждане на батериите и допълване на мощността на основния двигател при ускорение. В комбинация със старт/стоп системата, спираща двигателя с вътрешно горене когато не е нужен може да постигне значителна икономия на гориво.



Фигура 2: Паралелен Умен Хибрид [2]

Пълният хибрид (Фигура 3). представлява електродвигател на 230 до 600 волта (в зависимост от модела и производителя), свързан директно към трансмисията, която обикновено е автоматична. Този вид задвижване се използва при по тежите автомобили, което позволява също придвижване на къси разстояния изцяло на електричество.



Фигура 3: Паралелен Пълнен Хибрид [2]

Този вид хибрид позволява придвижване изцяло на двигател с вътрешно горене, на електродвигател, като и на комбинация от двете. Тук електродвигателя може да

подпомогне ускорението на двигателя с вътрешно горене, като също при спиране той влиза в режим генератор зараждайки акумулаторите.

- **Plug-In Хибрид:** Паралелен Хибрид с акумулатори с голям капацитет

Plug-In Хибрида може да представлява всеки от по-горе изброените типове хибридно задвижване, с разликата, че е оборудван с акумулатори с голям капацитет, позволяващи удължен пробег изцяло на електричество. Поради тази си особеност, този вид хибриди основно се зареждат от външната електрическа мрежа за продължително време, най-често при употреба на по-късни разстояния. За сметка на това най-много се доближават до изцяло електрическото задвижване. Наличието на двигател с вътрешно горене до голяма степен осигурява по голяма енергийна независимост при по-дълги преходи, при значително по-малки вредни емисии.

Обичайния пробег при повечето автомобили от този тип е 60 километра изцяло на електродвигател и акумулатори и до около 500 километра при дозареждане в движение чрез двигателя с вътрешно горене.[3]

- **Мощностно Разделен Хибрид:** комбинация на три двигателя в едновременно серийна и паралелна система

Мощностно разделеният хибрид комбинира функциите на серийен и паралелен хибрид, използвайки в допълнение към двигателя с вътрешно горене един електродвигател в помощ на мощността и втори в режим генератор за оползотворяване на излишната енергия в всеки един момент.

Поради спецификата на този вид конструкция основните недостатъци са предварителното задаване на пропорциите на предаване на мощността към колелата, които се определят при производството за точно определено превозно средство, със съответната липса на гъвкавост и значително по високите производствени разходи. [2]

След успешното внедряване на технологията при пуснати в масово производство леките автомобили, следващата логична стъпка, на база статистиката от

последните години, е появата на първите модерни тежкотоварни автомобили.

Екологичен ефект от използването на хибридните тежкотоварни автомобили

В Европа тежкотоварният автомобилен транспорт допринася 25% от отделените от сухопътния транспорт вредните емисии, въпреки, че съставляват едва 2% от превозните средства по пътищата. [5]

Водейки се от тези статистически данни, подмяната на достатъчно голям брой от сегашните товарни автомобили, с такива използващи хибридни задвижване, ще доведе до значително намаляване на цялостното количество отделени вредни емисии. Поради тази причина и в съответствие с директивите на Европейския съюз, според които до 2050г., вредните емисии генерирани от транспорта трябва да намалеят с 60 % в сравнение с 1990 г., все повече от производителите на товарни автомобили се насочват към разработката на хибридни системи на задвижване.

Първите опити за хибриден товарен автомобил прави през 2004 г. Mercedes-Benz с техния ван Sprinter, следвани от Isuzu и Mitsubishi през 2005 г. и 2006 г. [6]

Обобщен списък на основните производители на хибридни товарни автомобили включва марки като Nissan, General Motors, Fiat Chrysler, Toyota, Ford, Renault, DAF, Scania, Mercedes Benz, Volvo, Liebherr, Isuzu, Dongfeng, Volkswagen [7]

От тук се вижда, че много от производителите влагат значителни ресурси в разработка на алтернативните начини на задвижване на товарните автомобили и изборът и качеството на предлаганите превозни средства със всяка изминала година нараства.

Това показва, че хибридните технологии са достигнали достатъчно високо ниво така че да бъдат приложими за товарни превозни средства на дълги разстояния. С появата на батерии с по-голям капацитет и оптимизирането на класическите двигатели с вътрешно горене, хибридните системи могат да се считат за икономически изгодни и технически приложими за употреба при тежкотоварните автомобили.

III. Заключение:

С навлизането на повече хибридни товарни автомобили годишното количество на отделените замърсители във въздуха драстично ще намалее.

Използвайки комбинацията от конвенционален двигател с вътрешно горене и електродвигатели може да се постигне също и голяма икономия на гориво, тъй като този вид системи използва силните страни на единия вид двигател за да компенсира слабите на другия.

Употребата на хибридни системи позволява намаляване на времето за презареждане, в сравнение с чисто електрическите алтернативи, свеждайки този процес до просто дозареждане на резервоар с гориво, а в случаите на Plug-In Хибридите и допълнително дозареждане на батериите с увеличен капацитет при по дълъг престой, какъвто е регламентирания период за задължителна почивка на водачите.

За постигане на поставените от Европейския съюз екологични цели е нужна комбинация от множество промени в транспортната индустрия и промишлеността, а употребата на хибридни системи е едно добро начало в борбата с вредните емисии.

IV. Литература:

1. Wikipedia – Хибриден автомобил (https://bg.wikipedia.org/wiki/Хибриден_автомобил)
2. Хибридни задвижвания и начина, по който работят (<https://motofocus.bg/novini/1528/hibridni-zadvizhvanija-i-nachin-po-kojto-rabotjat>)
3. Хибриден автомобил (<https://www.авто-услуги.бг/хибриден-автомобил/>)
4. Хибридна система (www.авто-услуги.бг/хибридна-система/)
5. transportenvironment.org (<https://www.transportenvironment.org/to-pics/trucks>)
6. Wikipedia - Hybrid electric truck (https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_electric_truck)
7. Текущо състояние на хибридният пазар (<https://www.sphericalinsights.com/report/s/hybrid-truck-market>)

За контакти:

Технически Университет, Варна,
Корабостроителен Факултет,
Катедра КУТОЧВП
гл. ас. д-р инж. Николай Иванов
e-mail: n.evgeniev@tu-varna.bg

ЕФЕКТИВНОСТ НА АВТОМАТИЗИРАНИ ВЪТРЕШНО-ПРИСТАНИЩНИ СИСТЕМИ ЗА ОБРАБОТКА НА ТОВАРИТЕ

Николай Иванов

EFFICIENCY OF AUTOMATED INNER-PORT CARGO HANDLING SYSTEMS

Nikolay Ivanov

Резюме: Разгледани са основните ефекти от въвеждането на вътрешно-пристанищни автоматизирани системи за обработка на товарите, различните видове системи използвани в големите световни пристанища, както и степента на икономическата и техническа приложимост в пристанища с по-малък товарооборот.

Ключови думи: обработка на товари, пристанищна механизация, автоматизирани системи, автоматизация

Abstract: A review has been done the main effects of the introduction of in-port automated cargo handling systems, the different types of systems used in the world's major ports, and the degree of economic and technical feasibility in ports with a smaller cargo turnover.

Keywords: cargo handling, port mechanization, automated systems, automation

I. Въведение:

През последните години беше постигнат голям напредък в развитието на автоматизираните технологии в различни сектори на производството и обработката на стоки и товари.

Изключение не прави и изграждането на автоматизирани пристанищни системи.

Увеличаването на скоростта на обработка и намаляването на престоя на транспортните средства е основна цел за постигане на по-добра ефективност и подобряване на техническите и икономическите показатели на едно пристанище.

Настоящият труд разглежда новите автоматизирани технологии и системи за превоз и обработка на товари в пристанищата, тяхната ефективност. Разгледани са основните претоварни машини, подобренията и системите които са внедрени, както и степента на подобрене по отношение на скоростта на претоварване и безопасността при работа.

II. Изложение:

Корабоплаването и превоза на товари съществуват като концепция от векове. С развитието на различните цивилизации, начинът на съхранение и превоз на стоки са ставали все по качествени. От историческата появата на първите море-плаващи народи, съществува една основна константа – употребата на човешка и животинска сила е била основен ограничаващ фактор за скоростта на обработка на товарите. Първообразът на модерната пристанищна механизация се появява малко след откриването и масовото производство на електричество. С появата на първите електродвигатели се конструират и първите електрически товарни кранове, заменяйки използваните до тогава парни кранове. Според твърденията на някои източници, след въвеждането на напълно автоматизирани процеси модерни пристанища като Холандското пристанище Ротердам, отбелязват ръст в производителността си в размер на 80%. [1]

С непрестанния ръст на световната търговия, все по-голямо значение има оптимизирането на контейнерните пристанища, поради високата им скорост на обработка и степен на сигурност. Характерните за контейнерно корабоплаване графици все по-трудно биха били спазени без въвеждането на все повече автоматизация при обработката. Увеличаването на автоматизацията и контрола на състоянието на критичните пристанищни активи е задължително, за да се спестят разходи и време и да се запазят надеждността и конкурентоспособността.

Всяка година в световните мегапристанища се обработват милиони тонове товар. Тези цифри е невъзможно да бъдат постигнати без наличието на множество сензори осигуряващи безпроблемната и бърза работа.

Такива са например сензорите гарантиращи правилното захващане на контейнерите без нуждата това да бъде проверено от хора на кея.

Използва се комбинация от индуктивни сензори за гарантиране правилното захващане на контейнера, сензори за наклон за случаите когато контейнера е захванат накриво или заключващия механизъм в някои от четирите ъгли на контейнера не ляга правилно, както и сензори за отчитане на пълното завъртане на закрепящите механизми (Фигура 1).



Фигура 1. Сензори на заключващ контейнерен механизъм [2]

На фигурата се вижда индуктивен сензор следящ за хоризонталното разположение на спредерът върху контейнера. Двата сензора вдясно следят за правилното завъртане на 90 градуса на заключващия механизъм.

При маневриране на претоварната техника обработваща контейнери винаги има опасност от сблъскване на няколко товарача.

Първата стъпка за решаването на този проблем беше въвеждането на пасивни камери за подобряване видимостта на водача,

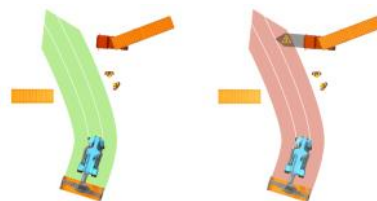
но те не предпазват от удари и разчитат изцяло на неговата преценка.

Следващата стъпка в развитието е използването на 3D камери които активно следят опасните зони за обекти по траекторията на придвижване и активно предупреждават водача за опасност от сблъскване (Фигура 2).



Фигура 2. 3D навигационна камера [2]

При използване на системата в режим „Добавена реалност“, системата автоматично разпознава опасни обекти, след първоначалното въвеждане на габаритите на превозвания обект и превозното средство с ръчно въвеждане или избор от вградена база данни на най-често използваните машини. Предимството тук е, че системата прави оценка за текущата обстановка многократно в секунда и дава оценка в реално време за степента на опасност за товара и превозното средство. (Фигура 3)



Фигура 3. Разпознаване опасна зона [2]

Не на последно място е функцията за „добавена реалност“, където върху обектите видими на екраните за подобряване на видимостта се очертават опасните зони в различни цветове в зависимост от разстоянието и степента на опасност. В добавка към този режим ако препятствието е друго претоварно средство оборудвано със същата система, то времето за реакция и точността на предвиждане на потенциален сблъсък са в пъти по-точни, тъй като има възможност системите на двете превозни средства да комуникират една с друга и по този начин да се постигне по-голяма прецизност на оценката на ситуацията.

В зависимост от степента на опасност, модерните системи предвиждат няколко степени на предупреждение, започвайки със слаби аудио-визуални сигнали, преминавайки през по-забележими и разпознаваеми звуци и образи на контролния монитор, и в случай на нужда – задействане на спирачките на превозното средство за избягване на евентуален удар.

Подобно на модерните автомобилни системи също е възможно активирането на автоматични системи за разпознаване на опасни обекти след първоначално задаване обичайните габарити на превозното средство, както и неговия товар. В случаите на контейнерните превозни средства тези настройки се правят еднократно с два основни профила за товар от 20 футов или 40 футов контейнер.

Друг пример за въвеждане на автоматизация в пристанищната претоварна техника са системите на модерните товарни кранове.

Основни нововъведения спрямо моделите кранове в миналото са системите за контрол на теглото на товара, предпазващи от претоварване и системите за автоматично успокояване на товарната стрела, с употребата на сензори като акселерометри за отчитане скоростта на движение.

До голяма степен скоростта и прецизността на претоварването са зависели от опита на краниста, докато сега чрез тези системи нуждата от противодействащи движения от оператора се свежда до минимум, а автоматичните системи се грижат работата с товара и крана да става оптимално бързо и точно.

Не на последно място при претоварните кранове е внедряването на дисплеи за активно следене на състоянието на крановете по множество параметри и екрани свързани с камери с високо качество, способни да увеличат зоната на претоварване за по-лесна и прецизна обработка на товарите.

Внедряването на нови системи и автоматизирани превозни средства на теория обещава многократно повишаване продуктивността и безопасността на претоварните операции, но следва да се

разгледат и негативните страни от подобно начинание.

Ако разгледаме ситуацията в Съединените Американски Щати, ще открием, че настроените по отношение на модернизацията са коренно различни в сравнение с мегапристанищата в Европа и Азия.

Пример за това са стачките на пристанищните работници по цялото Източното крайбрежие на САЩ, включително крайбрежието на Мексиканския залив, които започнаха на 01.10.2024г и завършиха на 04.10.2024г [3][4]

Като основна причина за стачките се цитира ниското заплащане по колективния трудов договор и възможността да бъде вдигната пълната забрана за автоматизация на пристанищната работа, описана в досегашните договори между профсъюзът на пристанищните работници, Морския алианс на пристанищните организации и множество работодатели, обслужващи Източното крайбрежие на САЩ и крайбрежието на Мексиканския залив.

Въпреки приключването на стачките, въпросът с проектите за автоматизация на терминалите продължава да се дискутира, като се цитират опасенията на работниците, че подобни нововъведения ще доведат до загуба на множество работни места.

От друга страна големите пристанища в Европа вече значителен период от време продължават да увеличават количеството на автоматизирани процеси в претоварната дейност, съумявайки да бъдат в крак с прогреса на технологиите, като в същото време постигат споразумения със синдикатите на пристанищните работници за гарантиране на работните места.[5]

Подобна е ситуацията в Азиатските суперпристанища. След първоначално повдигнатите опасения на пристанищните работници, пристанищните оператори са осигурили плавен и сигурен преход към автоматизация и модернизация, като по този начин продуктивността и ефективността са се повишили многократно. Поради факта, че начални и крайни дестинации са модерните западноевропейските суперпристанища, се затваря цикъла по доставка при оптимални скорост и безопасност.

III. Заключение:

С въвеждането в употреба на модерните системи за автоматизация може да се постигне голяма степен на безопасност и сигурност на претоварните операции, повишавайки скоростта и прецизността на товарния процес.

Системите за контрол на захватите и сензорите за тегло гарантират, че товарите които се обработват са здраво закрепени и не превишават максималните норми за товароподемност на даденото претоварно средство

Добавянето на системите за пространствен контрол при оперирането на претоварната техника позволява повишаване на скоростта на работа и намалява вероятността от сблъсък при придвижване.

Използването на системи за контрол на движението на товара, включително системата за успокояване на товарната стрела, многократно повишават скоростта на обработка и намаляват нуждата да се разчита на дългогодишния опит на операторите за постигане на подобни резултати.

Както се е случвало многократно през историята на човечеството, новите открития и технологии позволяват значително да се подобри скоростта на работа и да се повиши безопасността.

Основна задача на съответното ръководство на даденото предприятие или пристанище, заедно с контролиращите ги органи е тези подобрения да бъдат внедрени така, че да не са за сметка на масови съкращения на работни места и да се осигури плавен и сигурен преход към модернизацията.

С напредването на технологиите все по-нови системи и начини на обработка ще бъдат въведени в употреба, като основни приоритети ще са скоростта на работа, намаляване на физическия труд и значително повишаване на степента на безопасност при претоварване.

IV. Литература:

1. Michigan State University Online <https://www.michiganstateuniversityonline.com/resources/supply-chain/integrating-automation-to-americas-ports/>
2. IFM IoT решения и продукти <https://www.ifm.com/bg/bg>
3. Стачката срещу автоматизацията в САЩ <https://www.maritime.bg/114131/>
4. Стачката срещу автоматизацията в САЩ прекратена <https://www.maritime.bg/114195/>
5. Протест на работниците в Ротердам <https://www.etf-europe.org/automation-in-ports-dockers-take-action-in-rotterdam-to-defend-their-jobs/>

За контакти:

Технически Университет, Варна,
Корабостроителен Факултет,
Катедра КУТОЧВП
гл. ас. д-р инж. Николай Иванов
e-mail: n.evgeniev@tu-varna.bg

МЕТОДИ ЗА УЯКЧАВАНЕ НА СПЛАВИ ОТ АЛУМИНИЕВ БРОНЗ

Николай Вълчев¹

METHODS FOR STRENGTHENING ALUMINUM BRONZE ALLOYS

Nikolay Valchev¹

Резюме: Медно-алуминиевите сплави, известни още като алуминиев бронз, са сплави на основата на мед, които съдържат алуминий като основен легиращ елемент. Тези сплави показват висока якост, отлична устойчивост на корозия и добра топлопроводимост. Алуминиевите бронзови сплави намират приложение в морски хардуер, топлообменници, клапани и оборудване за химическа обработка.

Ключови думи: алуминиев бронз, уякчаване

Abstract: Copper-aluminum alloys, also known as aluminum bronze, are copper-based alloys that contain aluminum as the main alloying element. These alloys exhibit high strength, excellent corrosion resistance, and good thermal conductivity. Aluminum bronze alloys find applications in marine hardware, heat exchangers, valves, and chemical processing equipment.

Key words: Aluminum bronze alloys, strengthening

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Алуминиевите бронзи са цветни сплави, които се отличават с отлични механични свойства (Табл.1), като висока якост, износоустойчивост и корозионна устойчивост, в това число и в агресивни водни среди [3] (Табл.2).

Таблица 1. Медно алуминиеви бронзи [6]

EN Стандарт и наименование	Плътност	Химически Състав %	Механични свойства
CuAl10Ni3Fe2	7,5	Al 8,5-10,0 Fe 1,0-3,0 Ni 1,5-4,0 Cu min 82	Rm >600 Rp 0,2 >250 A% >20 HB >120
CuAl10Fe5Ni5	7,6	Al 8,5-11,0 Fe 3,5-5,5 Ni 4,0-6,5 Cu min 76	Rm >700 Rp 0,2 >300 A% >13 HB >160
CuAl11Fe6Ni6	7,6	Al 9,0-12,30 Fe 4,0-7,0 Ni 5,0-7,5 Cu min 73	Rm >750 Rp 0,2 >400 A% >5 HB >185
CuAl10Fe2	7,5	Al 8,0-11,0 Fe 2,0-4,0 Cu min 83	Rm >550 Rp 0,2 >200 A% >15 HB >115

Rm – якост на опън в N/mm²
Rp 0,2 – границата на провлачване в N/mm²
A% - удължение в %
HB – Твърдост по Бринел

Таблица 2. Приложение на алуминиеви бронзи

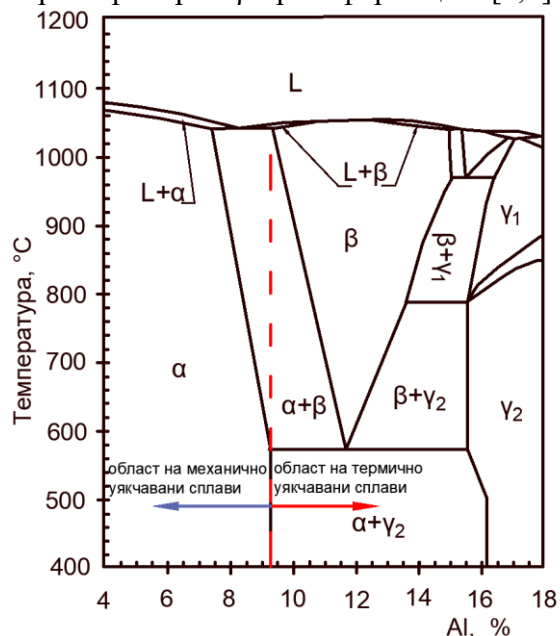
CuAl10Ni3Fe2	Използва се за части, които са изложени на корозия при агресивни водни условия – химическа индустрия и за машини за хранителновкусовата индустрия
CuAl10Fe5Ni5	Тези бронзи са подходящи за употреба в условия на морска вода, киселини, и ерозийни условия. Употребява се главно в производство на корабни компоненти
CuAl11Fe6Ni6	Използва се главно за части за двигатели на самолети, насочващи вентили, корозионноустойчиви части, втулки, зъбни козела, смесители. Трябва да се използва внимателно, тъй като този бронз не е подходящ за използване в силно окислителни киселини
CuAl10Fe2	Бронзи от тази сплав се използват при нужда от висока якост, твърдост, износоустойчивост, като хидравлични зъбни козела

II. МЕТОДИКИ:

Медните сплави легирани с алуминий са известни като алуминиеви бронзи. На **фигура 1** е показана всеизвестната диаграма на фазовите промени на сплавите между мед и алуминий в зависимост от температурата и концентрацията.

Структурата на тези сплави се определя основно от процентното съдържание на алуминий в тях:

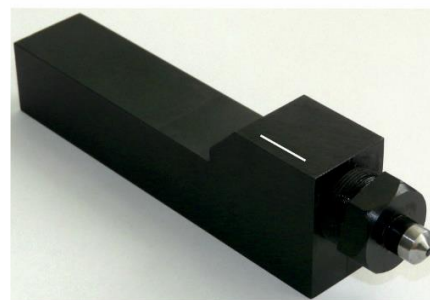
- под 9,4 % тя е еднофазна и се състои от α -фаза [4],
- над 9,4 % структурата е двуфазна и се характеризира с β -трансформация. [2,7]



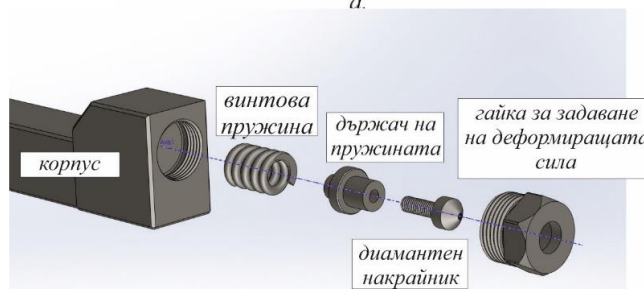
Фиг. 1. Диаграма на фазовите промени на сплавите между мед и алуминий [1]

При съдържание на алуминия под 9%, той се разтваря в кристалната решетка на медта. При тези условия основната структура се явява твърд разтвор – α -Cu. Тази структура притежава висока пластичност и дава възможност да се обработва чрез пластична деформация. Възможностите за уякчаване на подобни сплави (под 9%) са възможни само чрез механичен наклеп (burnishing и slide burnishing) [4,6].

Методите на burnishing могат да бъдат разделени в два основни типа в зависимост от вида на контакт – с триене при търкаляне или с триене при плъзгане. При roller burnishing деформиращият елемент може да бъде една или повече ролки, докато при slide burnishing се използва най-често диамантен инструмент, като диамантно заглаждане (ДЗ). В този случай деформиращият елемент обикновено е синтетичен диамант, тъй като естественият диамант е твърде скъп за използване в индустриални приложения. Въпреки това, методът ДЗ, въпреки че е подобен на струговането, използва диамантен инструмент с сферична работна повърхност и се прилага с цел постигане на висока точност и минимална грапавост [4,5,6].



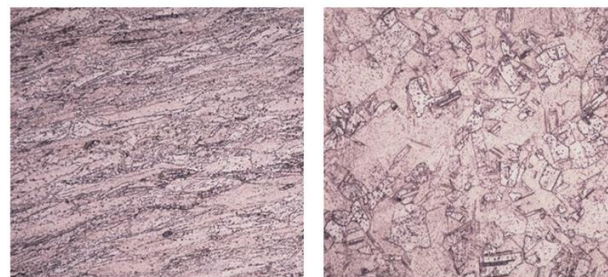
а.



б.

Фиг. 2. Устройство за ДЗ
а. общ вид; б. функционална схема [6]

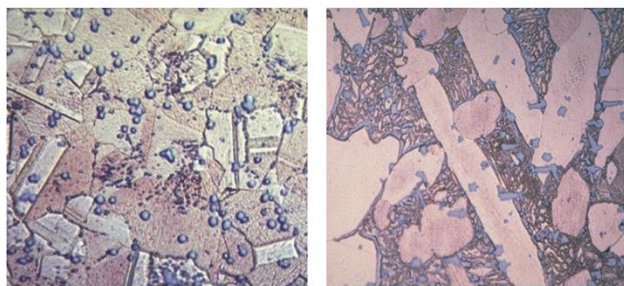
При съдържание на алуминий над 9,4% протича евтектоидно разпадане под $T=565^{\circ}\text{C}$ и се формира евтектоид ($\alpha+\gamma_1$ -електронно съединение (Cu_9Al_4)). Наличието на евтектоид в структурата значително повишава съпротивлението на деформация и намалява възможността за студена пластична деформация. Този тип сплави се уякчават чрез термична обработка. Алуминиевият бронз със съдържание под 8% алуминий, е известно, че не се подлага на термична обработка, а само на механичен наклеп. В справочната литература за бронзовете със съдържание 8-10% алуминий, те често се дефинират с термина дуплекс (двуфазна структура). В друга справочна литература, медните сплави със съдържание на алуминий 8,5- 9% и 3% Fe, са класифицирани като еднофазни.



а.

б.

Фиг. 3. Микроструктури на алуминиеви бронзи съдържащи от 6 до 7,5% Al, получени чрез:
а. студено изтегляне
б. горещо валцуване [7]



а.

б.

Фиг. 4. Микроструктури на алуминиеви бронзи съдържащи от 10 до 11,5% Al, получени чрез:
а. студено изтегляне по формата на прътов материал
б. след отливане и отгряване [7]

Предимства и недостатъци на технологиите за повърхностно за уякчаване на алуминиевите бронзи:

• **Еднофазните нисколегирани алуминиеви бронзи под 9,4 % Al**

притежават уникална комбинация от механични и химични свойства: добра якост, отлична електрохимична и обща устойчивост на корозия, висока пластичност и устойчивост на износване.

Въпреки това, поради ниското съдържание на алуминий (под 8,5 %), тези бронзи не могат да бъдат термично обработени.

• **Двуфазните алуминиеви бронзи с β -трансформация**

Влиянието на термичното обработване върху корозионното поведение на алуминиевите бронзи е изследвано от много автори и е определено, че основният ефект на термичното обработване върху корозията е количеството и разпределението на получената β -фаза, която е склонна към селективна корозия в солена и сладка вода [2,7].

Устойчивостта на износване при плъзгане е друга важна характеристика на тези алуминиеви бронзи.

Поведението на умора е друга важна характеристика, особено при циклично натоварване. Чрез термичното и химикотермично обработване също може да се въвеждат полезни натискови остатъчни напрежения, тъй като специфичният обем на повърхностния слой се увеличава, както при студена пластична деформация (ППД). Въвеждането на натискови напрежения в повърхностния слой води и до увеличаване на повърхностната микротвърдост.

Но, приложението на ППД при тези сплави е сравнително ограничено.

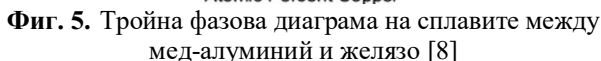
За постигане на желаните експлоатационни свойства се налага модифициране на повърхностните слоеве.

- модифициране без промяна на химичния състав,
- модифициране чрез дифузионно насищане на повърхностните слоеве с подходящи химични елементи
- модифициране чрез добавен материал.

За еднофазните бронзи втора и трета група от посочените методи не са ефективни и икономически целесъобразни.

При първият вариант има два основни подхода за модифициране на повърхностните слоеве без промяна в химичния състав: термично обработване на повърхността и повърхностно механично обработване. Тъй като тези бронзи не могат да бъдат термично обработени (съдържат под 8,5 % Al), като най-удачният вариант за подобрене в поведението при умора и същевременно запазване на високата корозионна устойчивост остава повърхностно пластичната деформация.

Желязото в състава на тези сплави играе важна роля в процеса на издребняване на зърната, което води до повишена якост на материала. Заради тези качества, алуминиевите бронзи намират широко приложение в различни индустрии: за изработка на зъбни колела (най-често червячни), гайки, водачи, корпуси и уплътнения в клапани и помпи, втулки, бутала, тръби за офшорни платформи и други компоненти, подложени на високи натоварвания и екстремни условия. В корабостроенето, тези бронзи се използват за производство на двигатели, витла и различни елементи за хардуер, докато в оръжейната промишленост се използват за изработка на специфични части на оръжия. Един от най-често използваните типове алуминиеви бронзи от тази група е CuAl8Fe3, по стандарт БДС EN 10092-75 [6].



След направените проучвания са изведени следните общи предимства и недостатъци на алуминивите бронзи в зависимост от предназначението им.

- Устойчивост на корозия – особено в морска среда.
- Добра износоустойчивост и висока твърдост.

- Цена: Алуминиевите бронзи обикновено са по-скъпи от други бронзи или стомани, което може да ограничи използването им в приложения с по-малко изисквания.
- Проблеми при заваряване: Алуминиевите бронзи могат да имат проблеми при заваряване, тъй като алуминият е склонен към образуване на пори.

а.

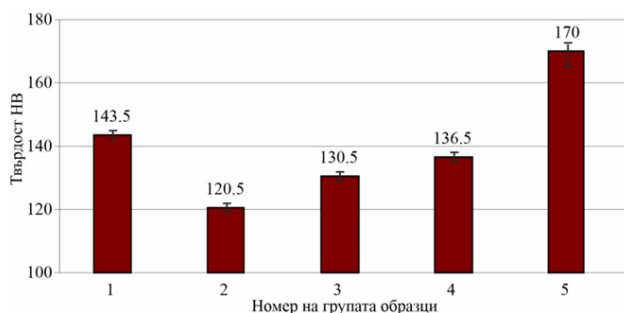
Номер на групата образци	Якост на опън (МПа)	Граница на провлачване (%)	Ущільнение (%)
1	638	473.5	12.8
2	605	297	33.25
3	762	514.5	15.3
4	657	344.5	23
5	705.5	231	28.65

б.

Фиг. 6. Влияние на термичното обработване върху механичните характеристики на Cu-10Al-5Fe бронз – якост на опън, граница на провлачване и удължение:

- а. диаграми напрежение – деформация;
- б. основни механични характеристики;

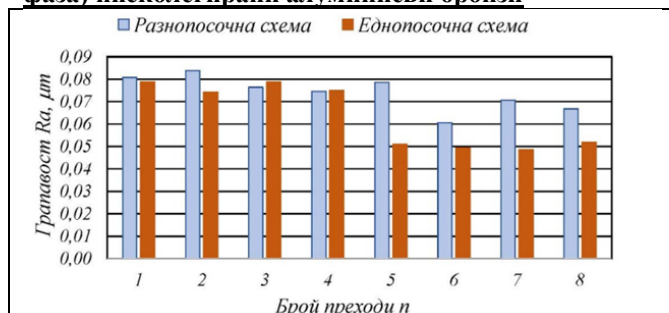
1 – в състояние на доставка, 2 – отгрят, 3 – закален, 4 – закален и отвърнат при 600°C, 5 – закален и отвърнат при 300°C [7]



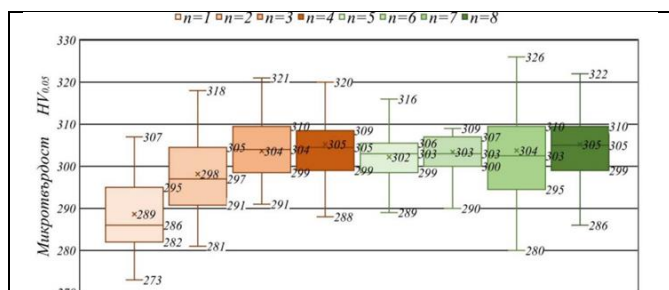
Фиг. 7. Влияние на термичното обработване върху твърдостта на Cu-10Al-5Fe бронз:

1 – в състояние на доставка, 2 – отгрят, 3 – закален, 4 – закален и отгрят при 600°C, 5 – закален и отгрят при 300°C [7]

Влияние на повърхностно пластичното деформиране (диамантено заглаждане) върху механичните характеристики при еднофазните (α-фаза) нисколегирани алуминиеви бронзи



Фиг. 8. Влияние на броя на преходите n и вида на работната схема върху получената грапавост [6]



Фиг. 9. Влияние на броя на преходите n и вида на работната схема върху повърхностната микротвърдост HV 0,05 [6]

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Алуминиевата бронз е много ценно и ефективно решение за редица индустриални приложения, благодарение на своята устойчивост на корозия, износоустойчивост и механични свойства. Въпреки това, високата цена и проблемите при заваряване може да бъдат фактори, които да ограничат нейното използване в определени области. Въпреки тези недостатъци, алуминиевата бронз остава предпочитан материал за специфични приложения в корабостроенето, авиацията, енергийния сектор и много други индустрии,

които изискват висока производителност и дълготрайност.

IV. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1] C. Dharmendra, K.P. Rice, B.S. Amirkhiz, M. Mohammadi (2021). Atom probe tomography study of κ-phases in additively manufactured nickel aluminum bronze in as-built and heat-treated conditions. *Materials and Design* 202 (2021).
- [2] J. Bořhm, P. Linhardt, S. Strobl, R. Haubner, and M. V. Biezma (2016). Microstructure of a Heat Treated Nickel-Aluminum Bronze and Its Corrosion Behavior in Simulated Fresh and Sea Water. *Materials Performance and Characterization*, Vol. 5, No. 5, 2016.
- [3] Xu Zhao, Yuhong Qi, Jintao Wang, Zhanping Zhang, Jing Zhu, Linlin Quan and Dachuan He. Effect of Cast Defects on the Corrosion Behavior and Mechanism of UNS C95810 Alloy in Artificial Seawater. *Materials* (2020).
- [4] G.V. Duncheva, J.T. Maximov, A.P. Anchev, V.P. Dunchev, and Ya. B. Argirov (2021). Improvement in Wear Resistance Performance of CuAl8Fe3 Single-Phase Aluminum Bronze via Slide Diamond Burnishing. *Journal of Materials Engineering and Performance* (2021).
- [5] M. Korzynski, Slide Diamond Burnishing, in Nonconventional Finishing Technologies, ed. by M. Korzynski (Polish Scientific Publishers PWN, Warsaw, 2013)).
- [6] Vladimir Dunchev*, Desislava Drumeva. Modeling and optimization of the roughness and microhardness in diamond burnishing of CuAl8Fe3 bronze. *Journal of the Technical University of Gabrovo* 61 (2020) 29-42.
- [7] Владимир Петров Тодоров. Подобряване на механичните характеристики и експлоатационно поведение на желязо-алуминиев бронз с β-трансформация. *Университетско издателство „Васил Априлов“ Габрово*, (2024).
- [8] S. D. Kaloshkin, V. V. Tcherdyntsev and V. D. Danilov. Preparation of Al–Cu–Fe Quasicrystalline Powdered Alloys and Related Materials by Mechanical Activation. *Published in Kristallografiya*, 2007, Vol. 52, No. 6,)

За контакти (Affiliation):

¹ инж. Николай Вълчев

катедра „МТМ”

Технически Университет – Варна

e-mail: nikolay.valchev@tu-varna.bg

МЕТОДИ ЗА УЯКЧАВАНЕ НА АУСТЕНИТЕН КЛАС НЕРЪЖДАЕМИ СТОМАНИ**Апостол Учерджиев****METHODS FOR HARDENING AUSTENITIC STAINLESS STEEL GRADES****Apostol Ucherdzhiev**

Резюме: Неръждаемата стомана е широко използван материал в различни индустрии поради своята устойчивост на корозия и якост. Търсенето на добро качество на повърхността и висока устойчивост на умора на инженерни компоненти става все по-голямо. Механичните повърхностни обработки се извършват с цел подобряване на повърхностните свойства и качеството на цилиндрични и равнинни детайли. Механичното уякчаване е процес на пластична деформация, който намалява грапавостта, като същевременно увеличава твърдостта и подобрява устойчивостта към корозия, чрез въвеждане на остатъчни натискови напрежения на повърхностния слой. Процесите на диамантено, сферично и комбинирано с ултразвукови вибрации деформационно уякчаване са бързи, прости и икономични студенопластични процеси, които осигуряват добро качество на повърхността и твърдост.

Ключови думи: повърхностно механично уякчаване;

Abstract: Stainless steel is a widely used material in various industries due to its corrosion resistance and strength. The demand for high surface quality and fatigue resistance of engineering components is increasing. Mechanical surface treatments are performed to enhance the surface properties and quality of cylindrical and planar components. Mechanical hardening is a process of plastic deformation that reduces surface roughness while increasing hardness and improving corrosion resistance by introducing residual compressive stresses in the surface layer. Processes such as diamond burnishing, spherical burnishing, and combined ultrasonic vibration-assisted hardening are fast, simple, and economical cold plastic deformation methods that provide excellent surface quality and hardness.

Keywords: surface mechanical hardening;

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

В търсене на най-удачни методи за повърхностно уякчаване на машинни детайли работещи в условия на износване и корозионни среди се наложи подробно проучване на използваните в света конвекционални методи за повърхностна обработка, както и анализ на предимствата и недостатъците им. От тази гледна точка неръждаемите стомани са намерили широко приложение в различни индустрии поради отличната им корозионна устойчивост в агресивни среди и възможността им повърхностно да се уякчават чрез различни химикотермични и деформационни методи. За нуждите на проучването са разгледани над 20 литературни източника от световните бази данни, като са установени в детайли

предимствата и недостатъците на различните методи за повърхностно уякчаване на аустенитните стомани. Като технологично най-удачни за повърхностно уякчаване при запазване на корозионната устойчивост са се наложили: методите за повърхностна пластична деформация (ППД със плъзгане, търкаляне или вибрации) и методите за химикотермична обработка, като ниско температурно азотиране. Режимите на повърхностно уякчаване за всеки конкретен метод, пряко влияят на механичните свойства, трибологични параметри, корозионна устойчивост и структурни изменения на машинните детайли, ето защо е от съществено значение правилното им подбиране.

Деформационното уякчаване (Наклеп) е процес за повърхностна обработка, който

широко се използва в производството за подобряване на качеството на повърхността, твърдостта и устойчивостта на умора на машинно обработените детайли. За разлика от абразивните техники, наклепът включва пластична деформация на повърхностния слой, чрез приложение на гладък, твърд инструмент, което води до полирана и огледална повърхност. Този процес не само подобрява гладкостта на повърхността, но също така уякчава материала чрез създаване на остатъчни натискови напрежения.

II. МЕТОДИКИ:

Процесът на механично уякчаване е предназначен за минимизиране, на грапавостта на повърхността, трябва да използва сравнително висока сила на уякчаване. Скоростта на уякчаване и подаването трябва да бъдат сравнително малки. Самият процес на уякчаване е предназначен за укрепване на повърхностния слой на машинни компоненти, включително чрез увеличаване на твърдостта, трябва да се характеризира с използване на високи сили на въздействие при ниски стойности на подаването и скоростта. Силата на уякчаване трябва да бъде оптимална за всеки тип процес. Прилагането на сила, по-голяма от оптималната, може да доведе до образуване на ямки на повърхността, придружено от рязко увеличаване на грапавостта. От друга страна, сила, по-слаба от оптималната, не може да осигури задоволителна гладкост. Корозионната устойчивост на уякчените детайли зависи от степента на деформация и гладкостта на повърхността.[1,2]

За подвижни части в режим на работа, увеличената контактна площ намалява натоварването, което се поема от всяка точка на повърхността.

Освен това, ефектът на механично уякчаване, вследствие на пластичната деформация на повърхността, увеличава твърдостта на уякчената повърхност.[3,4]

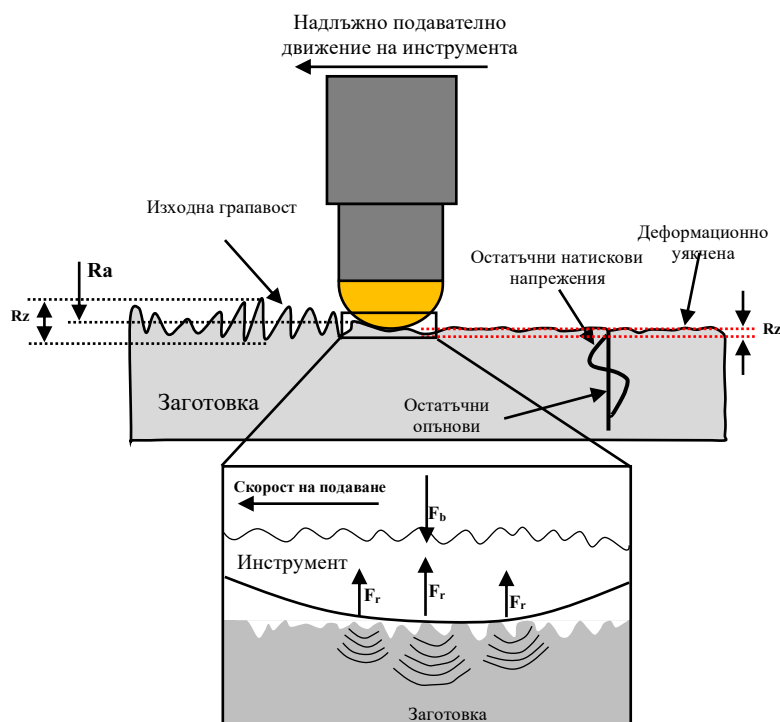
В резултат на тези два фактора, уякчената повърхност ще има по-висока устойчивост на износване в сравнение с абразивно обработена повърхност, особено при метален контакт, например при въртене на вал във втулка. Други предимства на този процес са намаленото време за цикъл и фактът, че процедурата е по-чиста от абразивните техники за довършителна обработка. Процесът е много универсален и може да се извършва на всяко устройство за цилиндрични и равнинни повърхнини. Повърхностния слой на натисковите напрежения предотвратява образуването и разрастването на пукнатини на повърхността, което подобрява здравината и устойчивостта на умора.[4,5] Методите се използват основно за ротационни компоненти, които имат високи изисквания за качество, колянкови валове, части за лагери или оси.[6] Съществуват три ясно различни процеса на уякчаване: уякчаване със сфера, диамантено уякчаване и ултразвуково уякчаване. Ултразвуковото уякчаване е нов и обещаващ процес на повърхностна обработка, при който инструментът настроен с постоянна сила срещу третираната повърхност и деформира повърхността чрез ултразвукова честота.

Таблица 1 Химичен състав неръждаеми стомани клас 304L и 316L [26]

Клас неръждаема стомана	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Mo
304L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.03	10.5÷11.5	18÷20	0.10	-
316L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.03	10÷13	16.5÷18.5	0.10	2÷2.5

Диамантеното уякчаване е друг сравнително нов метод за завършване.

Кинематиката на процеса на диамантено уякчаване е подобна на по-често срещаните процеси на уякчаване с ролкова преса, въпреки че контактът при диамантеното уякчаване е плъзгащ, а не търкалящ. Инструментът за динамично уякчаване обикновено се използва в линейни приложения, т.е. на цилиндрични детайли.[7] Механично уякчаване със сфера обикновено се използва върху цилиндрични компоненти, валове и части от неръждаема стомана, включително класове като AISI 304L и 316L. **Таблица 1** показва химичния състав на неръждаеми стомани клас AISI 304L и 316L [26], а на **фиг.1** е показана принципна схема на ППД със сферичен индентор.

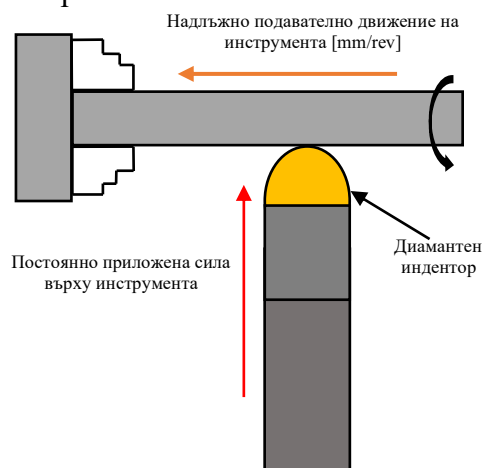


Фиг.1. Схема на повърхностна пластична деформация със сферичен индентор [25]

Диамантеното уякчаване използва инструмент с диамантен връх, който се плъзга по повърхността на детайла, компресирайки и деформирайки материала на повърхностно ниво. Техниката е особено ефективна за постигане на изключително ниски стойности на повърхностна грапавост, често под $0.04 \mu\text{m}(Ra)$, благодарение на твърдостта и устойчивостта на износване на диаманта [8]. Способността на диамантения инструмент да поддържа остър ръб позволява прецизен контрол върху процеса на уякчаване, в

резултат на което се получава по-гладка повърхност и подобрена повърхностна цялост.[9] В контекста на уякчаването със сфера, се използва закалена сфера, която се търкаля по повърхността, прилагайки натиск и предизвиква пластична деформация.[10]

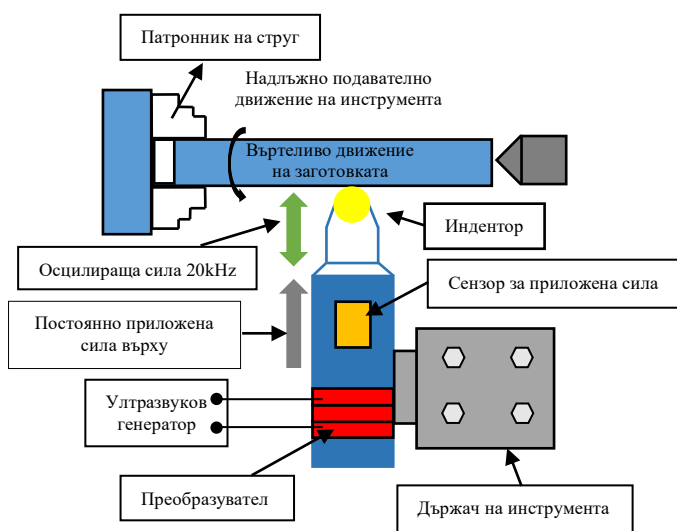
Движението на сферата може да доведе до значително намаляване на повърхностната грапавост, но постигнатите резултати от обработката може да не е толкова фина, колкото тази, получена с диамант.[11] И двата метода на уякчаване подобряват качеството на повърхността, но го правят по различен начин. Диамантеното уякчаване е известно със способността си значително да увеличава твърдостта на повърхността и да намалява грапавостта, което е от решаващо значение за приложения, изискващи висока устойчивост на износване. Процесът може също да подобри твърдостта по „Викерс“ на повърхността, което го прави подходящ за компоненти, подложени на високи натоварвания и износване.[12] От друга страна, уякчаването със сфера е ефективно за индуциране на остатъчни компресивни напрежения в повърхностния слой, които могат да увеличат експлоатацията на умора и устойчивостта на износване.[13,14] Изследвания показват, че уякчаването със сфера може значително да намали коефициента на износване на материалите, с подобрения в трибологичните свойства, като 52% намаление на коефициента на износване и 64% намаление на коефициента на триене за специфични сплави.[15] На **фиг.2** е показана принципна схема на ППД с диамантен индентор.



Фиг.2. Схема на повърхностна пластична деформация с диамантен индентор.[7]

Ултразвуковото уякчаване е съвременен метод, използван за обработка на метални повърхности чрез коване при много висока честота. Методът не е толкова известен, колкото методите с ролки, сфери или диаманти. При ултразвуковото уякчаване пластичната деформация се извършва от накрайник със сфера при много висока ултразвукова честота, докато детайлът се върти около фиксирана ос. Налага се постоянен пружинен натиск върху инструмента за уякчаване, за да се запази контактът му с повърхността на детайла. При процеса няма загуба на материал.

Ултразвуково уякчаване е усъвършенствана техника за обработка на повърхнини базиран на коване на обработваната повърхност при ултразвукови вибрации с висока честота, обикновено около или над 20KHz удара в секунда.[16] Размерните промени в детайла са незначителни при използване на този конкретен процес. Тествано е влиянието на ултразвуково уякчаване върху качеството на повърхността и промените в размерите на метални валове. Диаметърът намалява с 0.005–0.03 mm в зависимост от материала.[17]



Фиг.3. Схема на ултразвуково ППД [7]

Ултразвуковото уякчаване причинява по-високи механични и по-ниски термични напрежения на детайлите в сравнение с конвенционалните методи.[18] Освен това, локалните температури значително се увеличават на повърхността на детайлите по време на конвенционално шлифоване и полиране, което може да доведе до термично

активирани микроструктурни промени. Ултразвуковото уякчаване генерира само незначително допълнително топлина в детайла, и по този начин избягва проблеми, свързани с температурата, докато все пак подобрява устойчивостта на умора на детайла.[7] На **фиг.3** е показана принципна схема на ултразвуково ППД.

Нискотемпературно газово карбонитриране (ГКН) е термохимичен процес, който подобрява повърхностните свойства на металите, особено на стоманите, чрез въвеждане на въглерод и азот в повърхностния слой на материала. Температурният диапазон за нискотемпературно карбонитриране обикновено е между 300°C и 600°C. Този диапазон позволява дифузия на въглерод и азот в метала, без да предизвиква значителен растеж на зърната или фазови трансформации, които биха могли да повлияят неблагоприятно на свойствата на материала.

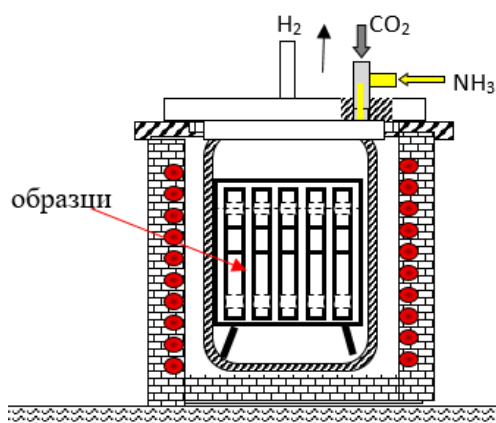
Специфичните процедури за нискотемпературно карбонитриране често включват използването на газови атмосфери, съдържащи въглерод и азот, като амоняк или смес от въглеводороди и азот. Процесът може да се извършва в различни среди, включително газови, плазмени или вакуумни системи, за контролиране на състава и реактивността на атмосферата. Например, плазменото карбонитриране показва по-добро разпределение и дълбочина на слоя в сравнение с традиционните газови методи.[19,20]

Кинетиката и дифузионните процеси по време на карбонитрирането са от ключово значение за ефективността на обработката. Дифузията на въглерод и азот в кристалната решетка се осъществява чрез интерстициална дифузия, при която малките атоми заемат пространствата между по-големите атоми на желязото. Скоростта на дифузия зависи от температурата, времето и концентрацията на дифузионните елементи. Карбонитрирането води до формиране на закален повърхностен слой, характеризирани с натискови остатъчни напрежения, които повишават устойчивостта на умора и износване.[21,22]

От микроструктурна гледна точка, нискотемпературното карбонитриране води до формиране на s -фаза и дифузионен слой под него. S -фазата обикновено се състои от железни карбонитриди, докато дифузионният слой е обогатен с въглерод и азот, което води до закалена микроструктура. [22] Присъствието на остатъчен аустенит, който може да се трансформира в мартензит при охлаждане, също е важна характеристика на микроструктурата след карбонитриране. [23]

Механичните свойства, като твърдост, якост на опън и предел на провлачване, се подобряват значително чрез карбонитриране. Повърхностната твърдост може значително да се повиши, често над 1000 HV (твърдост по Викерс) в зависимост от параметрите на обработката. [21,24] Въвеждането на въглерод и азот води до формиране на по-твърда микроструктура, която повишава устойчивостта на износване и якостта на умора. [22,24] Натисковите остатъчни напрежения също са благоприятни за устойчивост на умора, докато напреженията на опън могат да доведат до разрушаване при натоварване. [23]

В обобщение, нискотемпературното карбонитриране е ценен процес за подобряване на повърхностните свойства на стоманите чрез контролирана дифузия на въглерод и азот. Тази обработка води до повишена твърдост, устойчивост на износване и механична издръжливост, което я прави подходяща за различни индустриални приложения. На **фиг.4.** е схематично е показан процесът на ГКН.



Фиг.4. ГКН и схема на процеса

Предимства и недостатъци на методите за повърхностно уякчаване чрез ППД:

Според редица литературни източници процесът на механично уякчаване чрез ППД се прави за минимизиране на грапавостта на повърхността и увеличаване на уякчаването и изнosoустойчивостта.

Режимните фактори които им влияят са:

- **деформационна сила**, която трябва да бъде сравнително висока;
- **скорост на деформация** и подаването трябва да бъдат сравнително малки.

Прилагането на сила, по-голяма от оптималната, може да доведе до образуване на ямки на повърхността, придружено от рязко увеличаване на грапавостта.

От друга страна, сила, по-слаба от оптималната, не може да осигури задоволителна гладкост.

Корозионната устойчивост на уякчените детайли зависи от степента на деформация и гладкостта на повърхността.

За подвижни части в режим на работа, увеличената контактна площ (ниска грапавост) намалява натоварването, което се поема от всяка точка на повърхността.

Освен това, ефектът на механично уякчаване, вследствие на пластичната деформация на повърхността, увеличава твърдостта на уякчената повърхност. В резултат на тези два фактора, уякчената повърхност ще има по-висока устойчивост на износване в сравнение с абразивно обработена повърхност, особено при метален контакт, например при въртене на вал във втулка.

Други предимства на този процес са намаленото време за цикъл и фактът, че процедурата е по-чиста от абразивните техники за довършителна обработка.

Процесът е много универсален и може да се извършва на всяко устройство за цилиндрични и равнинни повърхнини.

Повърхностният слой е с натискови напрежения и предотвратява образуването, и разрастването на пукнатини на повърхността, което подобрява здравината и устойчивостта на умора.

Методите за ППД се използват основно за ротационни компоненти, които имат високи

изисквания за качество, колянови валове, части за лагери или оси.

Предимства и недостатъци на методите за повърхностно уякчаване чрез ХТО:

• При газовата цементация

СО може да се вкара в чист вид в пещта или в смес с други газове. Използването на чист СО е технологически неоправдано, тъй като той е силно токсичен и взривоопасен газ. Най-често при газова цементация се използват т.нар. ендотермически газови смеси, съдържащи до 20% СО. Газовата цементация за разлика от твърдата е значително по-производителна, подпада се на непрекъснат контрол, регулиране и автоматизация.

• Насищане с азот

Азотирането е вид ХТО, при която се извършва повърхностно насищане на железните сплави с азот. Поради високия коефициент на дифузия на N в Fe и по-голямата му разтворимост във ферита, отколкото въглерода, азотирането се провежда при значително по-ниска температура (под т.А1), при които в стоманите не протичат фазови превръщания. По тази причина азотирането е бездеформационна и окончателна повърхностно уекчаваща обработка, което е и основното му предимство пред цементацията. Освен високата твърдост, след азотиране се постига едно значително повишаване на уморната якост, износоустойчивостта и особено корозионната устойчивост.

Една от възможностите за съкращаване на продължителността е ниско температурно йонното азотиране. Освен ускоряването на процеса, при йонното азотиране нагряването на детайлите, които се явяват катод в електрическата верига, се извършва от самият тлеещ разряд, което прави излишно външното нагряване.

• Карбонитриране

Процесът се провежда преимуществено с насищане с азот при температури характерни за азотирането 500 – 580°C в различни газови смеси, съдържащи амоняк и въглеродни съединения. Процесът в сравнение с газовото азотиране е значително по-кратък – 3 до 8 часа, а износо устойчивостта, корозионната устойчивост и топло устойчивостта – по-високи. След насищане не се налага

закаляване и шлифование, така процесът е практически бездеформационен

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

След направеното проучване се установи актуалността на разглежданите методи за повърхностно уякчаване със запазване на корозионна устойчивост в зависимост от вида на неръждаемата стомана. Всяка стомана има определен афинитет към метода на уякчаване.

Например аустенитната стомана SS304 след наклепа получава много добри механични и физични характеристики, в сравнение с дуплексните стомани, които получават по добри характеристики след ниско температурна химикотермична обработка.

Анализа на обобщения материал ни насочва към установяване на оптимални механични и физични характеристики при различните типове аустенитни стомани.

IV. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1] Tomasz Dyl, D. R. (2024). The Influence of Slide Burnishing on the Technological Quality of X2CrNiMo17-12-2 Steel. *Materials* 2024, 17(14).
- [2] Jerez-Mesa, R., Fargas, G., Roa, J., Llumà, J., & Travieso-Rodriguez, J. (2021). Superficial Effects of Ball Burnishing on TRIP Steel AISI 301LN Sheets. *Metals*.
- [3] Hannu Korhonen, J. L. (2013). Improvements in the surface characteristics of stainless steel workpieces by burnishing with an amorphous diamond-coated tip. *Machining Science and Technology*.
- [4] Klocke, F., & Liermann, J. (1998). Roller burnishing of hard turned surfaces. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 419–423.
- [5] Morimoto, T. (1998). Work hardening and tool surface damage in burnishing. *Wear*, 149–159
- [6] Swirad, S. (2011). The surface texture analysis after sliding burnishing with cylindrical elements. *Wear, Vol. 271*, 576-581.
- [7] Huuki, J., & Laakso, S. V. (2017). Surface improvement of shafts by the diamond burnishing and ultrasonic burnishing techniques. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*.
- [8] Mieczyslaw Korzynski, J. L. (2011). Surface layer characteristics due to slide diamond burnishing with a cylindrical-ended tool.

- Materials Processing Technology.*
doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.08.029
- [9] Masato Okada, M. S. (2016). Measurement of tool temperature in burnishing using diamond tip. *Mechanical Engineering*.
doi:10.1299/mej.15-00569
- [10] Sławomir Świrad, P. P. (2020). The Effect of Ball Burnishing on Tribological Performance of 42CrMo4 Steel under Dry Sliding Conditions. *Materials*.
doi:10.3390/ma13092127
- [11] Andrzej Dzierwa, A. P. (2019). Influence of Ball-Burnishing Process on Surface Topography Parameters and Tribological Properties of Hardened Steel. *Machines*.
doi:10.3390/machines7010011
- [12] Nguyen Trung Thanh, P. L. (2020). Process parameter optimization of the diamond burnishing operation under hybrid cooling-lubrication system. *Science and Technology - Hanoi*.
- [13] Adrián Rodríguez, A. C. (2019). Burnishing of FSW Aluminum Al-Cu-Li Components. *Metals*. doi:10.3390/met9020260
- [14] A.A. Ibrahim, T. K. (2015). Study the influence of a new ball burnishing technique on the surface roughness of AISI 1018 low carbon steel. *Engineering & Technology*.
- [15] Frezgi Tesfom, I. P. (2022). Flat diamond sliding burnishing surface roughness investigation. *Multidisciplinarius Tudományok*.
doi:10.35925/j.multi.2022.3.17
- [16] Huuki, J. a. (2013). Integrity of surfaces finished with ultrasonic burnishing. *Journal of Engineering Manufacture, Vol. 227*, 45-53.
- [17] Huuki, J. H. (2014). Influence of ultrasonic burnishing technique on surface quality and change in the dimensions of metal shafts. *Journal of Engineering Hindawi, Vol. 2014*, 8. doi:doi: 10.1155/2014/124247
- [18] Hassan, A. a. (1996). Influence of burnishing process on surface roughness hardness and microstructure of some non-ferrous metals. *Wear, Vol. 199*, 1-8.
- [19] Joseph Buhagiar, H. D. (2010). Low temperature plasma carbonitriding of ASTM F138 and ASTM F1586 biomedical stainless steels. *Surface Engineering*.
doi:10.1179/174329409x455368
- [20] S. Hoja, H. K.-W. (2021). Carbonitriding of Forging Dies. *Metals*.
doi:10.3390/met11101651
- [21] Karthikeyan Rajan, V. K. (2013). Effect of Carbonitriding on Endurance Life of Ball Bearing Produced from SAE 52100 Bearing Steels. *Surface Engineered Materials and Advanced Technology*.
- [22] Abdelkarim Ghanem, M. A. (2021). The influence of carbonitriding conditions on microstructure and mechanical properties of 25CrMo4 low-alloy steel. *Metallurgical Research & Technology*.
doi:10.1051/metal/2020089
- [23] S. Van Wijk, M. F. (2011). Retained Austenite and Residual Stress Evolution in Carbonitrided Shot-Peened Steel. *Materials Science Forum*.
doi:10.4028/www.scientific.net/msf.681.374
- [24] Manne Vamshi, A. B. (2020). Wear Characteristics of AISI 310 Grade Stainless Steel Material by Carbonitriding Process. *E3s Web of Conferences*.
doi:10.1051/e3sconf/202018401024
- [25] Ovali, I., & A.Akkurt. (2011). Comparioson of burnishing process with other methods of hole surface finishing processes applied on brass materials. *Materials and Manufacturing Processes*.
doi:https://doi.org/10.1080/10426914.2010.536931
- [26] Извлечено от <https://www.citizenmetals.com/stainless-steel-chemical-composition-technical-info.html>

За контакти (Affiliation):

¹ инж. Апостол Учедджиев
катедра „МТМ”
Технически Университет – Варна
e-mail: Ucherdzhev@tu-varna.bg

КОМБИНИРАНИ МЕТОДИ ЗА ПОВЪРХНОСТНО УЯКЧАВАНЕ НА ЖЕЛЕЗНИ СПЛАВИ

Николай Николов¹

COMBINED WELDING METHODS FOR SURFACE HARDENING OF IRON ALLOYS

Nikolay Nikolov¹

Резюме: Търсенето на нови по ефективни технологии за уякчаване на работните повърхности на машинните елементи, е предпоставка за предизвикване на иновативни експериментални изследвания насочени в комбиниране на класическите методи за изграждане на изнosoустойчиви слоеве чрез наваряване. Статията прави обзор на нови изследвания по тази тематика публикувани в световните бази данни. Акцента е върху приложимост на комбинирани методи за уякчаване на машинни елементи чрез плазмено, лазерно, полуавтоматично или ръчно електродръгови методи за наваряване (на тел) или напластяване (на прахове).

Ключови думи: уякчаване, наваряване, напластяване

Abstract: investigation of new more effective technologies for strengthening the working surfaces of machine elements, is a prerequisite for inducing innovative experimental research aimed at combining the classical methods for depositing wear-resistant layers by hardfacing. The article reviews new research on this topic published in world databases. The emphasis is on the applicability of combined methods for strengthening machine elements by plasma, laser, semi-automatic or manual arc methods for hardfacing (wire) or layering (powder).

Key words: strengthening, hardfacing, layering

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

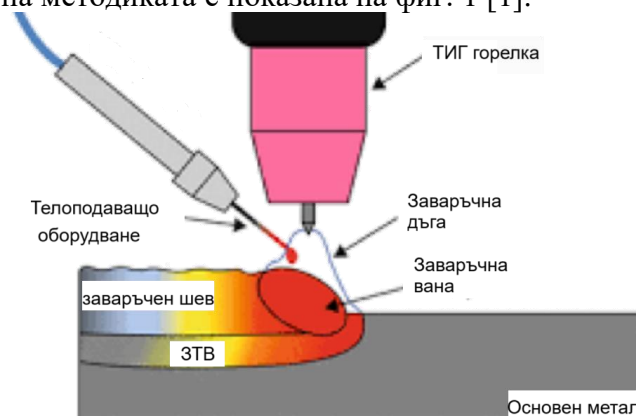
Изискванията по отношение качество и дълготрайност на съвременните изделия използвани в машиностроенето в последно време се изменят в посока създаване на по-надежни машинни детайли за определен от производствената програма времеви период изискуем от държавните регулатори. В същото време цената на готовото изделие остава основен фактор в предвид натиска на световните пазари от постоянно увеличаващите се като брой производители. Технологичния напредък от последните две-три години по отношение дигитализация и автономност на машините, дава възможност за технологични решения от съвсем нов вид, чрез комбиниране на повече от един технологичен метод и синхронизиране на работните параметри, което преди не бе възможно. Всичко това е разбира се в синхрон със запазване на качеството на обработените повърхности и дори тяхното подобряване при

едновременно задържане на ниска себестойност на готовия продукт.

II. МЕТОДИКИ:

• **Комбиниране на електродръгови методи за създаване на изнosoустойчиви слоеве, като МИГ-МАГ и ВИГ.**

Най-често обект на комбиниране са методите за електродръгово изграждане на защитни слоеве в защитна газова среда. Схема на методиката е показана на фиг. 1 [1].



Фиг. 1. Комбиниране на МАГ и ВИГ

Предимството на комбинирането на тези методи е автоматизация на ВИГ метода чрез тепоподаването на добавъчния метал.

- Комбиниране на електродъгови методи за създаване на износоустойчиви слоеве, като електрошлаков и под слой от флюс.

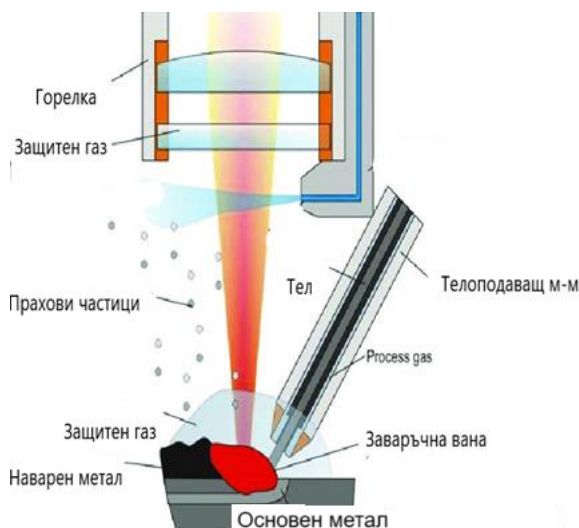
Схема е показана на фиг. 2 [2].



Фиг. 2. Комбиниране на електрошлаков и под слой от флюс

- Комбиниране на плазмен и лазерен метод.

Схема е показана на фиг. 3 [3].



Фиг. 3. Комбиниране на плазмен и лазерно уякчаване.

- Комбиниране на методи като газокислороден и напластяване на метален прах.

Особеното при този начин на изграждане на износоустойчиви слоеве е липсата на електрическа дъга.

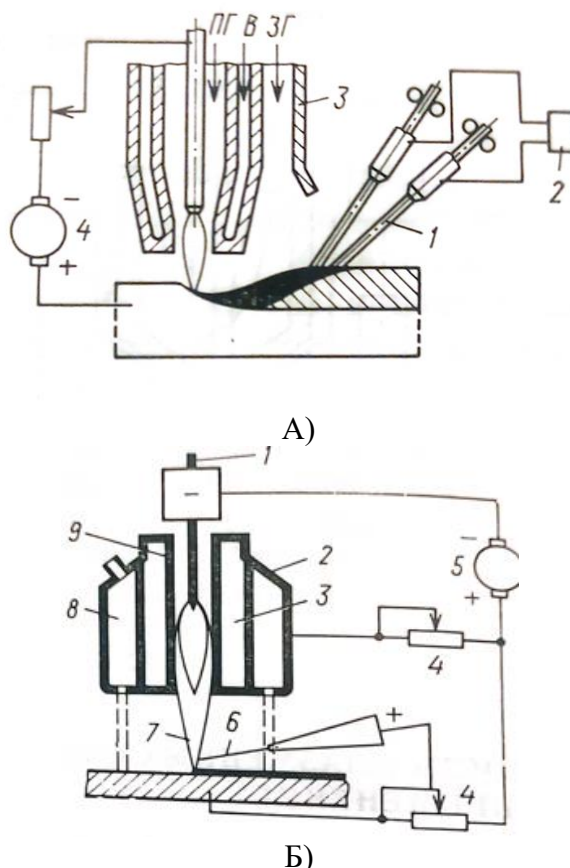
Схема е показана на фиг. 4 [4].



Фиг. 4. Комбиниране на плазмен и лазерно уякчаване.

- Комбиниране на плазмен с тепоподаване на добавъчния метал.

Схема е показана на фиг. 5 [5].

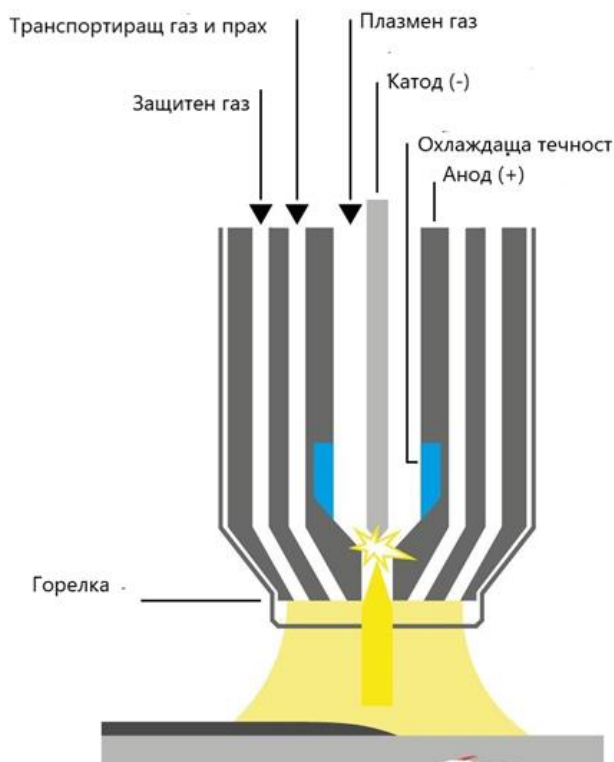


Фиг. 5. Комбиниране на плазмен с тепоподаване на добавъчния метал:

А: 1-добавъчен метал; 2-тепоподаваща апаратура (анод); 3- плазмотрон; 4- захранващ токов източник
Б: 1- катод; 2- плазмотрон; 3- охлаждаща камера; 4- регулатор на ток; 5- захранващ токов източник; 6- тепоподаваща апаратура; 7- плазмена струя; 8- защитен газ

• **Комбиниране на плазмен метод с напластяване на метален добавъчен метал.**

Схема е показана на фиг. 6 [6].



Фиг. 6. Комбиниране на плазмено с напластяване на метален добавъчен метал

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

След направеното проучване са установени голям брой възможности за комбиниране на традиционните методи за изграждане на изнosoустойчиви покрития, повечето от цитираните методи са намерили вече индустриални приложения, което е показателно за възможностите за усъвършенстване и надграждане на вече съществуващите технологии. Това прави изследването на тази проблематика особено интересно и актуално и би послужило при бъдещи експериментални изследвания с цитираните методи.

IV. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1] <https://huntingdonfusion.com/blogs/purge-protection-during-weld-cladding-a-study-in-preventing-oxidation-and-maintaining-integrity/>
- [2] https://learnweldingsymbols.com/strip-cladding/?utm_content=cmp-true
- [3] Klocke, F., Brecher, C., & Wegener, M. (2012). Scanner-based laser cladding. Physics

Procedia,39, 346–353.
<https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.10.047>.

- [4] <https://www.sulcromo.com.br/blog/aspersao-termica/>
- [5] <https://www.polysoude.com/pipe-cladding/>
- [6] <https://www.sietzematechnik.com/en/-/wear-control-solutions/laser-pta-cladding/pta-cladding/>
- [7] R.Vilar: Laser Alloying and Laser Cladding, Departamento de Engenharia de Materiais, Instituto Superior Tecnico.
- [8] J. Wilden: Beschichten mit dem Laserstrahl, Verschleiß- und Verschleißschutz von Schnecken und Zylindern für Extruder und Spritzgießmaschinen, 2005 pages M0-M26.
- [9] Haferkamp, H.; Bach, F.W.; Gerken, J.; Ebsen, H.: Laserstrahlaufragschweißen an Bauteilen für den industriellen Einsatz, Schweißen und Schneiden Band 45 (1993) Issue 9, pages 513-515.
- [10] Vaccari, J.A.: The laser as a cladding tool, American Machinist Band 134 (1990) Issue 2, pages 49-52.
- [11] K. Partes: Surf. Coat. Technol. (2009), doi:10.1016/j.surfcoat.2009.07.041.
- [12] Klocke, F.; Brecher, C.; Heinen, D.; Rosen C.-J.; Breitbach, T.: Flexible scanner-based laser surface treatment. In: Laser Assisted Net Shape Engineering 6. 2. Jg., 2010, Nr. 5 – Part 1, pages 467-475.
- [13] Brecher, C. (ed.): Integrative Production Technology for High-Wage Countries (2012) Chapter on “Hybrid Production Systems”, pages 435-696. Springer Berlin Heidelberg.

За контакти (Affiliation):

¹ инж. Николай Николов
катедра „МТМ”
Технически Университет – Варна
e-mail: nikolay.valchev@tu-varna.bg

КАЧЕСТВО НА ПОВЪРХНИНАТА НА ПРОБИ ОТ ЗАКАЛЕНА СТОМАНА ПРИ ШЛАЙФАНЕ С ДИСК ОТ КУБИЧЕН БОРЕН НИТРИД

Сергей Рябченко, Сергей Клименко, Андрий Менохин, Татьяна Мечкарова, Ярослав Аргиров

SURFACE QUALITY OF QUENCHED STEEL SAMPLES AFTER GRINDING WITH A CUBIC BORON NITRIDE DISC

Serhii Riabchenko, Sergii Klymenko, Andrii Manokhin, Tatyana Mechkarova, Yaroslav Argirov

Резюме: Качеството и свойствата на повърхностния слой на машинните детайли значително влияят на контактната издръжливост, което в крайна сметка се отразява на тяхната експлоатационна дълготрайност. Оценката на издръжливостта на закалените стоманени детайли в реални условия обаче отнема много време и изисква големи капиталови разходи, което води до извършване на лабораторни изследвания. Статията анализира влиянието на микроструктурата на шлифовъчния инструмент, изработен от кубичен борен нитрид („c-BN“) върху качеството на обработените повърхности при сухо или флуидно триене. Методът, който е избран за извършване на експерименталното изследване е „pin on disk“. Параметърът по който става оценката е количеството дефекти (отлупвания под формата на ямки) от шлифованата стоманена повърхност на пробните тела.

Ключови думи: закалена стомана, кубичен борен нитрид; pin on disk,

Abstract: The quality and properties of the surface layer of machined parts significantly affect the contact durability, which ultimately affects their operational durability. However, the assessment of the durability of hardened steel parts in real conditions is time-consuming and requires large capital costs, which leads to the performance of laboratory tests. The article analyzes the influence of the microstructure of the grinding tool made of cubic boron nitride ("c-BN") on the quality of quenched steel surfaces during dry or fluid friction. The method chosen for the experimental study is "pin on disk". The parameter by which the assessment is made is the amount of defects (flaking in the form of pits) from the ground steel surface of the test specimens.

Key words: quenched steel, c-BN, pin on disk

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Качеството на машинно обработените повърхности, до голяма степен зависи от избора на метод за формообразуване и структурата и свойствата на инструмента с който се въздейства.

Избора на правилен инструмент и режим на работа в съвременните условия е особено затруднено поради огромното многообразие от производители на инструменти, които предлагат голяма номенклатура от изделия. Ориентирането в избора на подходящ такъв е и допълнително затруднено от огромното многообразие от машини с техните кинематични схеми на движение.

Оказва се, че и избора на правилен режим на работа е също не толкова лека задача поради спецификите в структурата и свойствата на обработваните материали, които не винаги позволяват лесно формообразуване.

Шлифоването като металорежеща обработка е точно такъв процес. Особеното при този метод е че машинните детайли които подлежат на шлифоване е необходимо да притежават определени трибологични характеристики, структура и механични свойства, които да позволяват равномерно отнемане на повърхностните им слоеве със шлифовъчните инструменти, без да промазват върху тях и да водят до тяхната дефектация.

Закалените стомани в този аспект са най-подходящи за шлифоване, понеже имат

уякчени чрез термична обработка повърхности слоеве и лесно поддават на шлифовъчни операции.

II. МЕТОДИКИ:

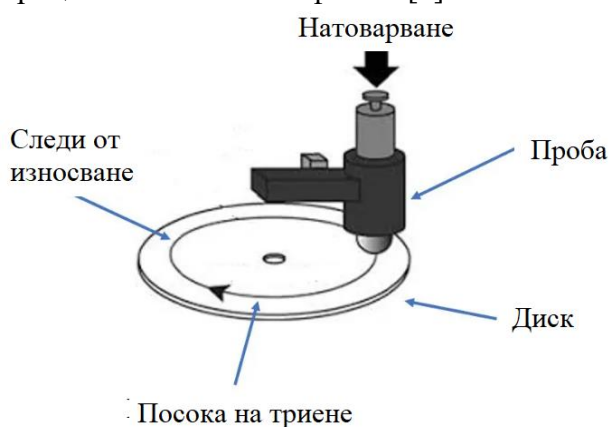
За целите на изследването са подготвени 2 пробни тела с цилиндрична форма, които са предварително термообработени за достигане на необходимата твърдост. Материала на пробните образци е избран от инструментална стомана марка У8 (ГОСТ 1435-99). Химичния състав на стоманата е показан в таблица 1.

Характерното за тази стомана е че се използва за производството на инструменти работещи в условия, които не предизвикват загряване при рязане. Стоманата се произвежда чрез процес - студено валцоване.

Таблица 1. Химичен състав на стомана У8

Състав	%
C	0,75-0,84
S	<0,028
P	<0,03
Mn	0,17-0,33
Cr	<0,2
Si	0,17-0,33
Ni	<0,25
Cu	<0,25

За експерименталните изследвания при определяне качеството на шлифованите стоманени повърхности, е избран метод за износване от тип „pin on disk“. Схема на процеса е показана на фиг. 1. [1]



Фиг. 1. Метод на износване „pin on disk“ [1]

Характерно за метода е използване на специален стенд на който стоманеното пробно тяло е закрепено неподвижно и се

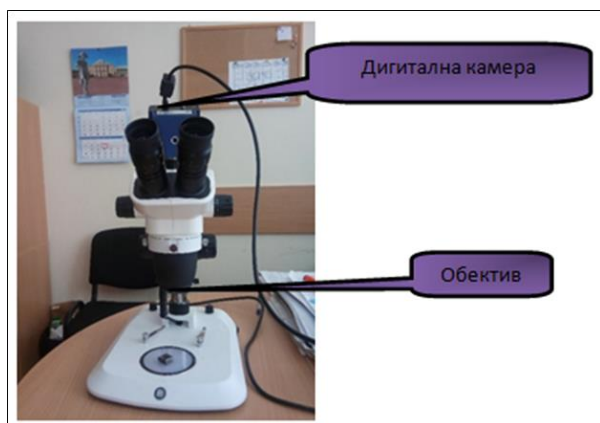
трие по въртящ се абразивен диск. След определен период от време на триене то се сваля от стенда и му се прави макроструктурен анализ, за да се определи степента на износване и качеството на шлифованата повърхност. Тъй като обект на изследване са качествени показатели на повърхностите след два режима на работа, при сухо или флуидно триене експеримента се извършва два пъти, като единия път се подава синтетична мазилно охлаждаща течност в зоната на триене, а втория път не. [1]

Диска върху който се трие пробното тяло от закалена стомана (или така нареченото контратяло) е специално изработен за експеримента от материал известен като кубичен борен нитрид с-BN.

Характерно за „с-BN“ е високата якост, която го прави подходящ за механични приложения. Модулът на Юнг и обемният модул на с-BN са много по-високи от традиционните абразивни материали, включително SiC или B₄C. Ето защо с-BN е подходящ за абразивни приложения. Кубичният борен нитрид може да се използва както при рязане, така и при фрезозане и шлифоване. [2,3,4]

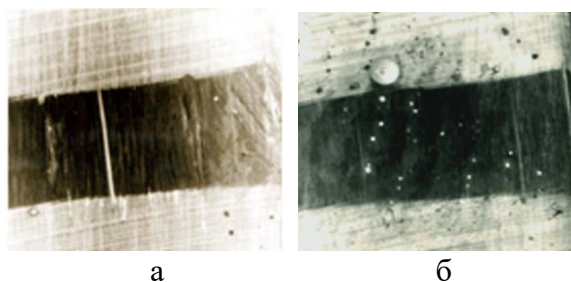
Плътният поликристален с-BN обикновено се предпочита за операции на рязане или шлифоване, докато порестият поликристален с-BN се предпочита за операции на шлифоване. Кубичният борен нитрид се използва за високоскоростно шлифоване. В сравнение с диаманта, с-BN има предимство в тези приложения поради своята химическа инертност. Докато диамантът реагира с черни метали, с-BN може да запази инертната си природа до 1500-1600 K. [3,4]

За определянето на качеството на шлифованите повърхности е използвана стандартизирана методика за макроструктурен металографски анализ. На фиг. 2 е показан използвания микроскоп оборудван с дигитална камера.



Фиг. 2. Стереомикроскоп за наблюдение на макроструктури

Резултатите от извършеното изследване са показани на макроструктурите на фигура 3 където в ляво е повърхината шлифувана без охлаждане, а в дясно тази получена при обилно охлаждане зоната на износване със синтетична мазилно охлаждаща течност.



Фиг. 3. Макроструктури на пробите от закалена стомана У8 след тест за шлифване
а – без охлаждане;
б – с охлаждане в контактната зона.

При извършване на анализа на макроструктурите от фиг. 3 е използвана количествена и качествена оценка чрез сравняване на равни повърхностни площи на двата закалени стоманени образца. От фигурата е видно че при сухото триене се наблюдават силно изразени ямки формирани от абразива на контратялото. Докато при образца подложен на течно триене не се наблюдават такива.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

След направеното проучване се установи значението на режима на работа (сухо или флуидно триене) при процес на шлифване на стоманени закалени повърхности, както и структурата и свойствата материала на износващия инструмент.

Анализа на получените резултати ни насочва към установяване на оптимални

механични и физични характеристики при шлифване на инструментални стомани.

След определяне на количеството и размера на дефектите (отлюспвания и ямки) по шлифованите повърхности при равни анализирани площи се изчисли процента на дефектите. Определена е до 15%, по-малка дефектност на макроструктурата на стоманения закален образец, в сравнение с тази на образца с добавено флуидно охлаждане по време на шлифване.

IV. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1] Byron Analuiza, Vanessa C. Erazo-Chamorro, Diana B.Peralta-Zurita¹, Edilberto Antonio LlanesCede, Gustavo Adolfo Moreno Jimenez, Ricardo P. Arciniega-Rocha, Paul D. Rosero-Montalvo. Design of Pin on disk tribometer under international standards. *Applications of Computational Methods in Manufacturing and Product Design.* (2022)
- [2] Pedro A. ParraEliezer F. Oliveira. Interfacial Properties of Composites Based on h-BN and c-BN in Function of Temperature: a Molecular Dynamics Study. DOI: 10.48550/arXiv.2411.14888.
- [3] Laurence Vel, Gérard Demazeau, Jean Etourneau. Cubic boron nitride: synthesis, physicochemical properties and applications. *Materials Science and Engineering: B Volume 10, Issue 2, 15 October 1991*
- [4] Sergio Neves Monteiro, Ana Lúcia Diegues Skury, Márcia Giardinieri de Azevedo, Guerold Sergueevitch Bobrovnitchii. Cubic boron nitride competing with diamond as a superhard engineering material – an overview. *Journal of Materials Research and Technology Volume 2, Issue 1, January–March 2013).*

За контакти (Affiliation):

¹ Кандидат на техническите науки Сергей Рябченко
В.Бакул Институт за свръхтвърди материали
към Националната академия на науките на Украйна
e-mail: s.riabchenko@ukr.net

² доц. Татяна Мечкарова
катедра „МТМ”
Технически Университет – Варна
e-mail: t.mechkarova@tu-varna.bg

КОНТРОЛ НА ЧЕЛНИ ЗАВАРЪЧНИ СЪЕДИНЕНИЯ ОТ СТОМАНА A333 Gr6

Десислава Минчева

CONTROL OF BUTT WELDED JOINTS MADE OF A333 Gr6 STEEL

Desislava Mincheva

Резюме: В статията са представени резултати от проведен безразрушителен контрол на заваръчни съединения, изработени от стомана A333 Gr6 – нисколегирана стомана, специално предназначена за работа при ниски температури, като такива съединения често намират приложение в криогенни и нискотемпературни среди. За целта са подготвени три тръбни съединения, заварени челно чрез три различни метода: ръчно електродъгово заваряване, ВИГ заваряване, и МИГ заваряване. След заваръчния процес е извършен безразрушителен контрол, включващ радиографичен контрол и контрол с пенетранти за откриване на вътрешни дефекти като пори и други несъвършенства. Извършен е металографски анализ на микроструктурата в зоната на заваряване и зоната на термично влияние, което дава информация за структурните изменения, настъпили по време на заваряването. Проведен е също и контрол на микротвърдостта, който помага за оценка на механичните свойства в различните зони на заваръчните съединенията.

Ключови думи: A333 Gr.6; заваръчни съединения; РЕДЗ; ВИГ, МИГ; безразрушителен контрол, микроструктура

Abstract: The article presents the results of non-destructive testing conducted on welded joints made of A333 Gr.6 steel – a low-alloy steel specifically designed for use in low-temperature conditions, with such joints often applied in cryogenic and low-temperature environments. Three pipe joints were prepared and butt-welded using three different methods: Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Tungsten Inert Gas (TIG) welding, and Metal Inert Gas (MAG) welding. After the welding process, non-destructive testing was performed, including radiographic testing and penetrant testing to detect internal defects such as pores and other imperfections. A metallographic analysis of the microstructure in the weld zone and the heat-affected zone (HAZ) was also conducted, providing insight into the structural changes that occurred during welding. Additionally, hardness testing was performed to assess the mechanical properties of the different zones of the joints.

Keywords: A333 Gr.6; welded joints; TIG welding; MAG welding; non-destructive testing; microstructure

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Методите за безразрушителен контрол на заваръчни съединения са широко приложими в индустрията за проверка на качеството на заваръчните съединения, като осигуряват надеждност без увреждане или разрушаване на материалите. Тези техники са ключови за откриване на повърхностни и вътрешни дефекти в заваръчните съединения. Сред основните методи е визуалният контрол, който предоставя бърз преглед на повърхностни дефекти. Радиографичният контрол, базиран на рентгенови или гама лъчи, е един от най-често използваните методи за откриване на вътрешни несъвършенства като пори, кухини и включвания. Контролът с проникващи течности (пенетранти) също е широко разпространен, тъй като е ефективен за откриване на повърхностни дефекти. Други важни методи включват ултразвуковия

контрол, който използва звукови вълни за откриване на вътрешни дефекти, и магнитно-праховия контрол, подходящ за откриване на повърхностни пукнатини в феритни материали. Акустичната емисия е по-специфичен метод, който проследява звуковите вълни, генерирани от дефекти в материала. Тези методи допринасят за високата надеждност и безопасност на заварените конструкции, като осигуряват ефективен контрол без повреди на материала [1-3].

Стомана A333 Gr6 е нисколегирана стомана, предназначена за работа в условия на ниски температури. Има ниско съдържание на въглерод, което намалява риска от закаляване и студени пукнатини, като я прави подходяща за заваряване без специална предварителна обработка. Тя е част от стандарта ASTM A333, който обхваща безшевни и заварени тръби, подходящи за

експлоатация при по-ниски температури. Характеризира се с добра пластичност $A=30\%$, висока якост опън $R_m=415\text{MPa}$, граница на провлачане $R_e=250\text{MPa}$ и устойчивост на удар при ниски температури [7]. Основното ѝ приложение е в системи за транспортиране на течности и газове при ниски температури, като криогенни инсталации, нефтени и газови платформи, химическа промишленост и топлообменници. Основните предимства на тази стомана са нейната устойчивост при температури до -45°C и по-ниски, както и добрата ѝ заваряемост и обработваемост. Тръби изработени от A333Gr6 могат да бъдат заварявани с различни методи, като ръчно електродъгово заваряване (РЕДЗ), заваряване в защитна газова среда с топим електрод (МИГ/МАГ) и заваряване с нетопим електрод в защитна газова среда (ВИГ) [4,5,6,8].

Целта на настоящето изследване е да се проследи годността на челни заваръчни съединения от стомана A333 клас 6 (A333Gr6), изпълнени чрез три метода на заваряване. За целта са приложени безрарушителни методи на контрол – радиографичен контрол и контрол с пенетранти. В допълнение е изследвана и структурата в зоната на заваряване и е измерена микротвърдостта на заваръчните съединения.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ:

За експерименталните изследвания са подготвени три тръбни челни заваръчни съединения, от стомана A333Gr6 с химичен състав посочен в табл. 1. Образците са заварени челно чрез три метода на заваряване: ВИГ, РЕДЗ и МИГ. Номерирани са като проба 1, 2 и 3. За изработване на проба 1 е използвана тръба с диаметър 60,3mm и дебелина 5,54mm. За проби 2 и 3 са използвани тръби с диаметър 48,5mm и дебелина на тръбата 5,08 mm (табл. 2).

Таблица 1. Химичен състав на стомана A333 Gr6

C	Mn	P и S	Si
0.30%	0.29–1.06%	Макс. 0.025%	0.10–0.50%

Таблица 2. Параметри на образците

Образци/размери	Метод на заваряване
Проба 1: Ф 60,3x5,54 mm	ВИГ
Проба 2: Ф 48,3x5,08 mm	РЕДЗ
Проба 3: Ф 48,3x5,08 mm	ВИГ/МИГ

Заваряването на проба 1 е реализирано чрез заваряване в защитна газова среда с нетопим електрод (ВИГ метод). В качеството на добавъчен материал за проба №1 е подбрана добавъчна тел на марка ESAB – OK Tigrod 13.26, с диаметър на пръчката 2.0 mm и дължина 1000 mm, с химичен състав посочен в таблица 3. Използвания защитен газ при заваряване е аргон.

Таблица 3. Химичен състав ESAB – OK Tigrod 13.26

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Cu [%]
0.09	0.75	1.36	0.011	0.018	0.09	0.82	0.008	0.44

Заваряването е осъществено на два етапа. Първи етап се състои в полагане на корен на заваръчния шев. Втория етап включва полагането на заваръчния шев, върху който е положен и декоративен по режими описани в Табл. 4.

Таблица 4. Режими на заваряване на проба 1

№ на шева	Процес	$d_{\text{ел}}$, mm	I, A	U, V
1	141	2	105	15.5
2	141	2	110	15.8
3	141	2	110	15.8

Проба №2 е заварена чрез ръчно електродъгово заваряване. Използван е електрод, марка ESAB – OK 48.60 с диаметър на електрода 2.5mmx350mm. Избраните режими на заваряване са посочени в табл. 5.

Таблица 5. Режими на заваряване на проба 2

№ на шева	Процес	$d_{\text{ел}}$, mm	I, A	U, V
1	111	2,5	125	16
2	111	2,5	125	16
3	111	2,5	122	15

При проба номер 3 коренът е заварен чрез ВИГ заваряване (табл. 6), а следващите два слоя са изпълнени чрез МИГ- заваряване със заваръчен материал ESAB – OK Tubrod 15.14 с диаметър на електродната тел 1.2mm.

Таблица 6. Режими на заваряване на проба 3

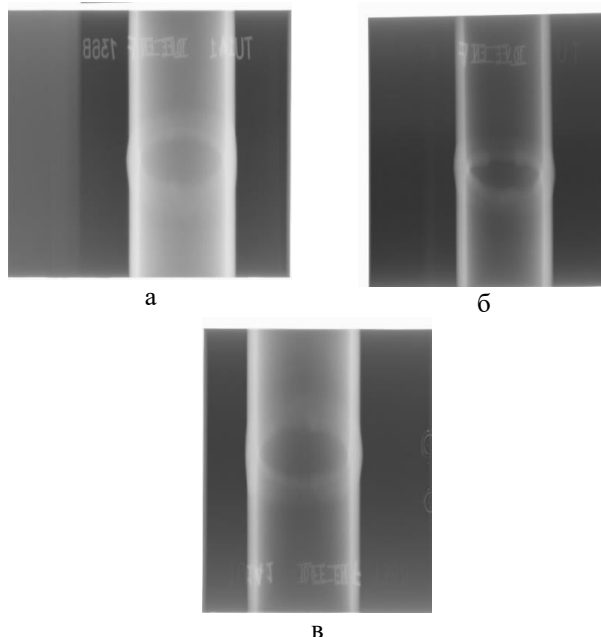
№ на шева	Процес	d _{ел} , mm	I, A	U, V
1	141	2	100	15
2	136	1,2	180	26
3	136	1,2	170	25

След изпълнението на трите тръбни заваръчни съединения, пробите бяха подложени на радиографичен контрол и контрол с проникващи течности (пенетранти). Основната цел на тези тестове беше да се установи наличието на технологични дефекти, възникнали в резултат на заваръчните процеси, като пори, пукнатини или непровари. Провеждането на безразрушителния контрол бе извършено съгласно стандартни методики и процедури, които осигуряват висока точност и надеждност на резултатите. Тези методи позволяват откриването на както повърхностни, така и вътрешни несъвършенства, което е от съществено значение за осигуряване на качеството и дълготрайността на заварените съединения.

На фиг.1 са представени изработените образци преди и по време на контрола с пенетранти.

**Фиг. 1.** Общ вид на образците преди и по време на контрола с пенетранти

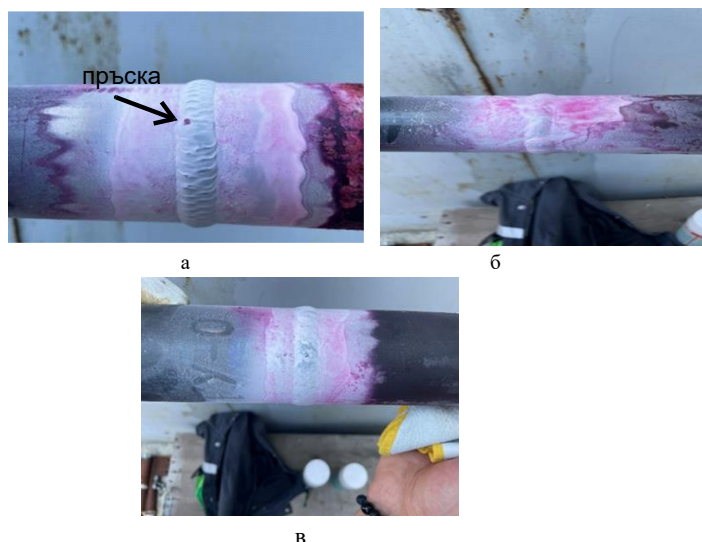
При радио графичния контрол образците се подготвят за пролъчват като се поставят на фокусно разстояние 700 милиметра. На мястото където ще се пролъчва заваръчния шев се поставя радиографичен филм. Образците се пролъчват с иридий като времето за експозиция е 15 мин.

**Фиг. 2.** Радиографичен контрол на заваръчно съединение**Фиг. 3.** Резултати от проведения радиографичен контрол №1-а); проба №2 – б); проба №3 – в)

На фиг. 3 са представени снимки от проведения радиографичен контрол на тръбните заваръчните съединения. Не бяха открити никакви несъвършенства нито в зоната на заваряване, нито в самия заваръчен шев. Въз основа на проведеното изследване може да се заключи, че всички проби, подложени на контрол, съответстват на изискванията на нормативните стандарти. Тези резултати потвърждават, че заваръчните съединения са с необходимото качество и са годни за експлоатация в съответствие с установените технически регламенти.

На фиг. 4а е представена снимка на проба 1 след проведен контрол с проникващи течности (пенетранти). Наблюдава се малко несъвършенство (пръска) в зоната на заваръчния шев, което е в границите на допустимото според стандартите и пробата се

счита за годна за приемане. При анализ на останалите две проби не се забелязват видими несъвършенства в заваръчните шевове или заобикалящите ги зони, което показва, че и тези проби отговарят на изискванията. Следователно, всички проби могат да бъдат приети като годни за употреба и съответстват на зададените критерии за качество и безопасност.



Фиг. 4. Резултати от контрол с пенетранти №1-(а); проба №2 – (б); проба №3 – (в)

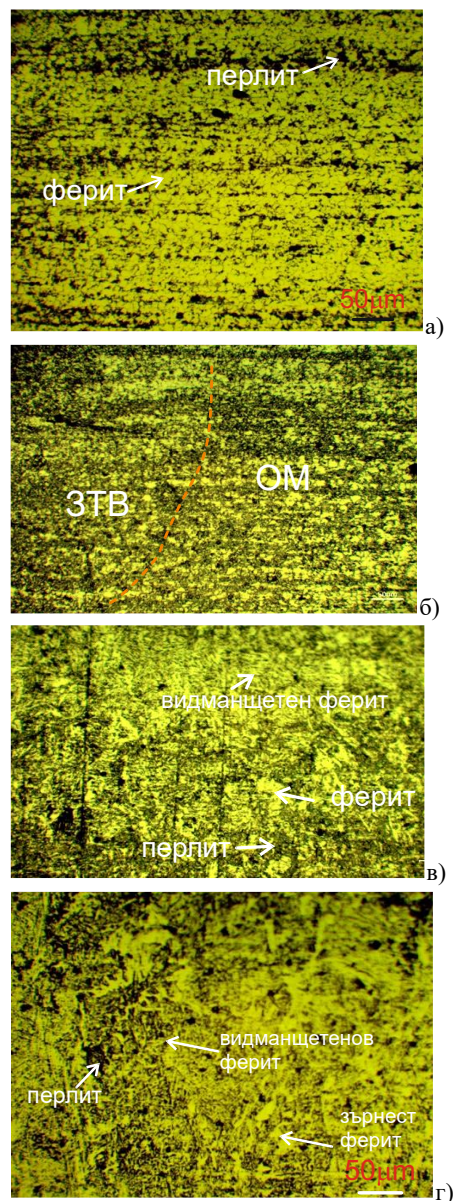
Проведения металографски анализ, целеше да проследи изменението на структурата на заваръчните съединения в зависимост от приложениет режими на заваряване. Металографското изследване на образците е извършено на металографски микроскоп XJL-201 при различни увеличения. Микротвърдостта е измерена на твърдомер HVS-1000, при използвано натоварване от 50g.

На фиг. 5 са посочени няколко микроструктури на изследваните заваръчни съединения. При наблюдение на подготвените шлифове под микроскоп, не се установи наличие на несъвършенства като пукнатини, пори, шлакови включвания, несплавяване и др.

Наблюдението на микроструктурата на основния метал и след процеса на заваряване на стомана A333 клас 6 показва промени във фазовата структура и размера на зърната вследствие на термичния процес при заваряване [8].

Структурата на основния материал A333Gr6 представлява деформационна

текстура, която се състои от феритна и перлитна фаза (фиг.5а). Доминираща е феритната фаза с размер на зърната около 20-30µm, а перлитните зърна (на снимките в черен цвят) – са с размер около 10-20µm.



Фиг. 5 Микроструктури на заваръчни съединения а) – основен метал стомана A333Gr6; б) – преходна зона (проба 1); в– заваръчен шев (проба 1); г – заваръчен шев (проба 2)

Микроструктурата на метала в заваръчния шев след охлаждане се състои от ферит със зърнестта и иглеста структура, видманщетен ферит и перлит [8].

Промяната в микроструктурата в зоната на заваряване се дължи на термичното разширение по време на нагриване и свиване по време на охлаждане, което може да доведе до появата на сложно напегнато състояние в

и около заваръчния шев. Това допълнително може да повлияе на микроструктурата и свойствата на заваръчния шев. Формираната след заваряване микроструктура на заваръчния шев оказва значително влияние върху механичните свойства на заваръчните съединения [8, 9, 10].

Таблица 7. Микротвърдост HV0.05

HV0.05			
Проба	ЗШ	ЗТВ	ОМ
1	250-290	200-240	180-210
2	240-280	210-250	180-210
3	220-280	200-230	180-210

От механичните свойства, в настоящето изследване е измерена единствено микротвърдостта по Викерс с натоварване 50g. Стойностите са поместени в табл. 7. Независимо от приложения метод на заваряване се забелязва повишаване на твърдостта на заваръчните съединения, както в зоната на термично влияние (200-250HV0.05), така и в заваръчния шев (220-290HV0.05), което се дължи на регистрираната промяна във формираните в тези зони микроструктури. При увеличената скорост на охлаждане е вероятно и получаването на неравновестни, перлитоподобни структури като троостит и сорбит, които имат по-висока твърдост.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

След проведените безразрушителни експериментални изследвания върху заваръчни съединения от стомана A333Gr6, реализирани чрез три технологични режима на заваряване, могат да се обобщят следните изводи:

- При капиларния метод на контрол с пенетранти се установи, че заваръчните съединения отговарят на нормативните изисквания и могат да се считат за годни.

- При проведения радиографичния контрол бе потвърдено, че заваръчните съединения също отговарят на нормативните изисквания и се приемат за годни.

- В зоната на заваряване се установи промяна в структурата, като в ЗТВ се наблюдава финна зърнестта структура с микротвърдост (200-250HV0.05), а в заваръчните шевове измерената микротвърдост е (220-290HV0.05).

- Микроструктурата в заваръчните шевове след охлаждане е нехомогенна стояща се от ферит с иглестта и зърнеста форма, видманщетенски феритни структури и перлитоподобни структури с повишена микротвърдост 220-290HV0.05.

- Подбраните режими на заваряване са приложими за заваряване на изследваната стомана A333 клас 6

- проведените изследвания са полезни за реализиране на следващи изследователски задачи, свързани с оценка на механичните свойства на заварените съединения от изследваната стомана.

IV. ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Deepak, J. R., Raja, V. B., Srikanth, D., Surendran, H., & Nickolas, M. M. (2021). Non-destructive testing (NDT) techniques for low carbon steel welded joints: A review and experimental study. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3732-3737.
- [2] Kah, P., Mvola, B., Martikainen, J., & Suoranta, R. (2014). Real time non-destructive testing methods of welding. *Advanced Materials Research*, 933, 109-116.
- [3] <https://www.ndt.com.au/non-destructive-testing-of-welds>
- [4] https://materialwelding.com/welding-a333-gr-6-and-other-grades/?utm_content=cmp-true
- [5] <https://azure-b.com/blog/a333-gr-6-exploring-the-mechanical-properties-of-the-steel-grade.html>
- [6] <https://materialwelding.com/welding-a333-gr-6-and-other-grades/>
- [7] <https://www.lgpipeindia.com/astm-a333-grade-6-pipe.html#mechanical>
- [8] Suherman H, Abdullah I, Mizhar S, Analysis Weld Metal of SA 333 Grade 6 For Nuclear Power Plants, *Article in Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 2020 DOI: 10.17146/jpen.2020.22.1.5945
- [9] S.V. Kamata, M. Srinivasa, P. Rama Raob, Effect of temperature on the mode I and mixed mode I/III fracture toughness of SA333 steel, *Materials Science and Engineering A* 528 (2011) 4141–4146
- [10] Lippold, J.C, 2015, *Welding metallurgy and weldability*, Publisher John Wiley and Sons

За контакти (Affiliation):

¹Гл. ас. д-р инж. Десислава Минчева
катедра „МТМ”

Технически Университет – Варна
e-mail: dmincheva@tu-varna.bg

¹Assist. prof. Eng. Desislava Mincheva, PhD
Department „MST”

Technical University of Varna

**БИОМИМЕТИЧЕН МОДЕЛ НА FPGA ИНТЕЛИГЕНТЕН РОБОТ ЗА
СЕЛСКОСТОПАНСКИ ДЕЙНОСТИ****Росен Спиров¹**

BIOMIMETIC MODEL OF FPGA INTELLIGENT AGRICULTURAL ROBOT)

Rosen Spirov¹

Резюме: Статията разглежда проектиране и изследване на експериментален модел на биомиметичен интелигентен робот тип хексапод за извършване на селскостопанска работа в полеви условия и неравни терени с разпознаване на обекти като разстения, препятствия и др с изкуствен интелект с поведенческо описание на VHDL с имплементиране в FPGA Cyclone II Altera.

Ключови думи: биомиметични роботи, дрон, хексапод, FPGA, програмируемо управление

Abstract: The article deals with the design and research of an experimental model of a biomimetic intelligent hexapod type robot for performing agricultural work in field conditions and uneven terrains with recognition of objects such as vegetation, obstacles, etc. with artificial intelligence with behavioral description of VHDL with implementation in FPGA Cyclone II Altera.

Keywords: biomimetic robots, drone, hexapod, FPGA, programmable control

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Разработката е продължение на предишен проект Digital Image Processing Explorer представен на фиг.1 [1].



Фиг.1 Digital Image Processing Explorer

Целта на проекта е да се направи преглед на съществуващите разработки и решения на биомиметични роботи и да се създаде биомиметичен робот с интелигентна система с акутатор за навигация и контрол при извършване на земеделски дейности, както е показано на фиг.2.

Обект на изследването са методите и възможностите на механичните системи за задвижване, предимствата на

стереоскопичните видео системи за реализиране на интелигентен разширен обзор за навигация.



Фиг.2 Биомиметичен хексапод с акутатор

Основни задачи на изследването са:

- Обзор на съществуващите решения на биомиметични роботи, тенденции и методите за получаване на обемни изображения и кинематични механизми за синтез на движения, оценка на най-перспективните насоки за приложение.

- Изследване на физичните характеристики и моделите на поведение на еталонния модел и биомиметичния аналог, и разработване на математически модели с описание на

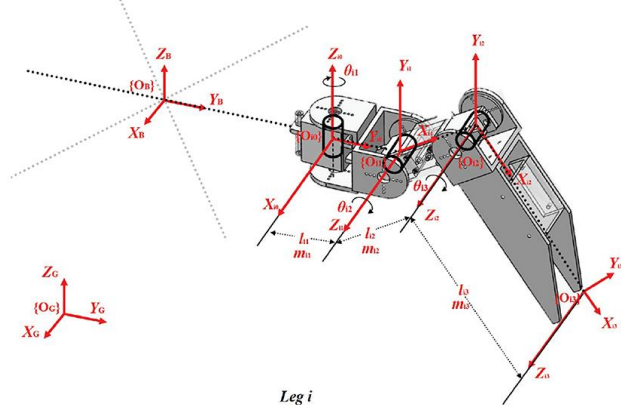
поведението с VHDL и реализиране с FPGA технология.

- Анализ и оценка на получените данни при изследване режимите на работа на разработените механизми и електронни модули под управление с поведенчески алгоритми и да се определи степента на съвпадение с отчитане на ефективност, плавност, скорост, точност, маневреност, и надеждност.

II. МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

1. Моделиране

Кинематичният модел на хексапода се дефинира от положението на координатите на ставите на всеки крак, които са дефинирани в тримерното пространство, $\{O_G\}$ обозначава глобалната координата, а $\{O_{ik}\}$ ($k = 0, 1, 2, 3$) представлява плаваща рамка, чието положение се фиксира от ставите на крака. l_{i1}, l_{i2}, l_{i3} и m_{i1}, m_{i2}, m_{i3} са съответно дължината и масата на връзките на крака, $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3}$ са ъглите на ротационните стави около оста Z_{i0}, Z_{i1}, Z_{i2} на крака, показано на фиг. 3.



Фиг.3 Координати на ставите на крак i .

Кинематичният модел е представен от параметри на Denavit-Hartenberg (DH) за разрешаване на обратната кинематика на крака [2]. Съгласно тези фиксирани рамки, параметрите на трансформация и параметрите на DH са демонстрирани в таблици 2 и 3.

Таблица 1. Преобразуване параметрите от $\{O_{i0}\}$ в $\{O_B\}$

Крак i	1	2	3	4	5	6
d_{xi} (mm)	33	66	33	-33	-66	-33
d_{yi} (mm)	56	0	-56	-56	0	10
ϕ (°)	-60	0	60	120	180	

Позицията на крака h_i е функция на (d_{xi}, d_{yi}) и ъгъла ϕ определя посоката на свиване спрямо тялото.

Таблица 2. Параметри на Денавит-Хартенберг

Става j	α_{ij}	θ_{ij}	d_{ij}
1	$\pi/2$	t_{i1}	0
2	0	t_{i2}	0
3	0	t_{i3}	0

Относителното преместване и въртене между $(j-1)$ -та и j -та координати на ставите се изчислява от трансформационната матрица:

$$U_{j-1}^{ij} R = \begin{bmatrix} \cos Q_{ij} & -\cos \alpha_{ij} \sin Q_{ij} & \sin \alpha_{ij} \sin Q_{ij} & \alpha_{ij} \cos Q_{ij} \\ \sin Q_{ij} & \cos \alpha_{ij} \cos Q_{ij} & -\sin \alpha_{ij} \cos Q_{ij} & \alpha_{ij} \sin Q_{ij} \\ 0 & \sin \alpha_{ij} & \cos \alpha_{ij} & d_{ij} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

където по-специално матрицата на прехода между телесната координата $\{O_B\}$ и координатата на тазобедрената става $\{O_{i0}\}$ се представя във вида :

$$U_{i-1}^{ij} R = \begin{bmatrix} \cos \phi_i & -\sin \phi_i & 0 & d_{xi} \\ \sin \phi_i & \cos \phi_i & 0 & d_{yi} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Следователно координатата на върха на крака $\{Q_{i3}\}$ може да се трансформира в координата на тялото $\{O_B\}$ чрез последователно умножаване на предишните матрици.

$$\begin{bmatrix} pxj \\ pyj \\ prj \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{xi} + \cos(\phi_i + Q_{i1})(l_{i1} + l_{i2} \cos Q_{i2}) + l_{i3} \cos(Q_{i2} + Q_{i3}) \\ d_{yi} + \sin(\phi_i + Q_{i1})(l_{i1} + l_{i2} \cos Q_{i2}) + l_{i3} \cos(Q_{i2} + Q_{i3}) \\ l_{i2} \sin(Q_{i2}) + l_{i3} \sin(Q_{i2} + Q_{i3}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Където $(pxj, pyj, prj)^T$ е координатата на позицията на бедрото на крака i , а Q_{ij} е ъгълът на ставата. Кракът на хексапода е сложна система от ставни връзки, свързваща тялото със земята, представено на фиг.4.



Фиг.4. Крак i на хексапода.

Динамичният модел на хексапода се извлича чрез метода на Лагранж-Ойлер :

$$r_i = M_i(Q)\ddot{\theta}_i + H_j(Q, \dot{\theta})\dot{\theta}_i + G_i(Q) - U_j^T R F_i \ddot{\theta} \quad (4)$$

тук $r_i = (\tau_{j1} \tau_{j2} \tau_{j3})^T \in R^3$ е векторът на въртящия момент на ставата на i -ия крак, състоящ се от въртящия момент на тазобедрената става τ_{i1} , въртящия момент на колянната става τ_{i2} и въртящия момент на глезенната става τ_{i3} .

$[Q_{j1} Q_{j2} Q_{j3}]^T \in R^3, \ddot{\theta}_i = [Q_{j1} Q_{j2} Q_{j3}]^T \in R^3$ (5) са съответно ъгъл на ставата, ускорение на ъгъла на ставата и вектор на рязък ъгъл на ставата на i -тия крак. $M_i(Q) \in R^{3 \times 3}$ е инерционната матрица на i -тия крак. $H_i(Q, \dot{\theta}_i) \in R^{3 \times 1}$ е матрицата на силите на Кориолис на i -тия крак. $G_i(Q) \in R^3$ е вектора на гравитационните сили. Той задава силите на реакция спрямо земята с координата $\{O_i3\}$. $F_i = (f_{ix} \ f_{iy} \ \tau_{iz})^T \in R^3$ е якобиевата матрица на i -тия крак.

$$\hat{R}(Q_{mn}^{ij}) = \begin{bmatrix} \cos(Q_{mn}^{ij}) & -\sin(Q_{mn}^{ij}) \\ \sin(Q_{mn}^{ij}) & \cos(Q_{mn}^{ij}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Позицията и скоростта на хексапода се трансформират в глобалната координата $\{OG\}$.

$$T_i = \begin{bmatrix} -(li1 + li2 \cos(Q_{i2}) + li3 \cos(Q_{i2} + Q_{i3})) \sin(Q_{i1}) \\ (li1 + (li2 \cos(Q_{i2}) + li3 \cos(Q_{i2} + Q_{i3}))) \cos(Q_{i1}) \\ 0 \\ -(li2 \sin(Q_{i2}) + li3 \sin(Q_{i2} + Q_{i3})) \cos(Q_{i1}) \\ -(li2 \sin(Q_{i2}) + li3 \sin(Q_{i2} + Q_{i3})) \sin(Q_{i1}) \\ li2 \cos(Q_{i2}) + li3 \cos(Q_{i2} + Q_{i3}) \\ -li1 \sin(Q_{i2} + Q_{i3}) \cos(Q_{i1}) \\ li3 \sin(Q_{i2} + Q_{i3}) \sin(Q_{i1}) \\ li3 \cos(Q_{i2} + Q_{i3}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

2. Контрол на движението чрез CPG

Въз основа на анализа на гореспоменатия математически модел е предложена схема за управление с каскадна структура и обратна връзка. Състои се от три части:

А. Динамичен модул.



Фиг.5. Биомиметичен контролер

Той сигурява параметрите на динамиката с позициониране тялото на робота и задава вектора на скоростта; τ, θ , показват съответно въртящия момент, ъгъла и ъгловата скорост на конструкцията

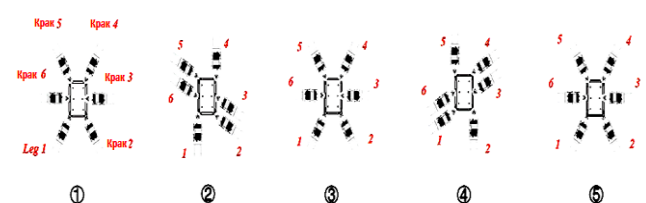
Б. Двуслоен CPG контролер за движение. Той извежда координирани сигнали за генериране на основното движение. Параметрите на CPG μ и θ са входовете, представляващи амплитудата и фазовата разлика между тазобедрената става $i1$ и колянната става $i2$ на крака i , съответно; x_{ij} е изходният сигнал.

В. DDPG-базиран RL контролер. Той обучава и оптимизира движението.

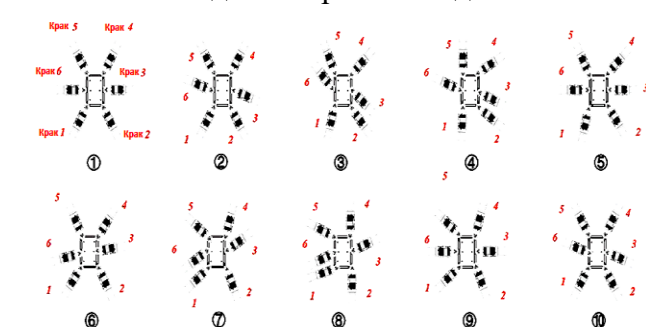


Фиг.6. Хексапод с 18 задвижващи стави

По време на всеки цикъл с шест крака, имаме триножно движение в две групи {крак 1, крак 3, крак 5} и {крак 2, крак 4, крак 6}.



Фиг.7. Модел на триножно движение.



Фиг.8. Модел на четириножно движение.

При четириножно движение имаме 4 групи {крак 3}, {крак 1, крак 4}, {крак 6} и {крак 2, крак 5}, и цикъла се повтаря.

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

А. Реализация на двуслоен CPG модел

CPG моделът може да бъде описан като набор от свързани осцилатори на Хопф, дефиниран така:

$$\begin{cases} \dot{x} = \alpha(\mu^2 - x^2 - y^2)x - \omega y \\ \dot{y} = \beta(\mu^2 - x^2 - y^2)y - \omega x \end{cases} \quad (7)$$

където x и y са две променливи на състоянието, ω е честотата, α и β са положителните константи, които определят степента на конвергенция на граничния цикъл. Параметърът x се определя като изходен сигнал на осцилатора. Всеки от 6-те крака на хексапода има 3 DoF, затова имаме 18 Hopf осцилатора. Изследването на CPG модела използва дифузионни връзки [3]:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{ij} \\ \dot{y}_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(\mu^2 - x_{ij}^2 - y_{ij}^2) & -\omega_{ij} \\ \omega_{ij} & \beta(\mu^2 - x_{ij}^2 - y_{ij}^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \end{bmatrix} + k \sum_{mn \neq ij} \hat{R}(Q_{mn}^{ij}) \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{x_{mn} + y_{mn}}{\sqrt{x_{mn}^2 + y_{mn}^2}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

където x_{ij} , y_{ij} с $i = 1, 2, \dots, 6$ и $j = 1, 2, 3$ означават две променливи на състоянието.

Постоянната сила на свързване $k = 0.1$ и коефициентите на конвергенция $\alpha = \beta = 100$ са зададени за всички осцилатори, които се определят чрез симулация на проба и грешка върху стабилността на граничния цикъл в тази работа. Честотите на осцилатора са унифицирани като $\omega_{ij} = \omega$ за опростяване на оптимизацията на високо ниво. Освен това, с $m = 1, 2, \dots, 6$ и $n = 1, 2, 3$ представлява фазовата разлика между съединението ij и съединението mn , след това свързана 2D ротационна матрица се определя като:

$$\hat{R}(Q_{mn}^{ij}) = \begin{bmatrix} \cos(Q_{mn}^{ij}) & -\sin(Q_{mn}^{ij}) \\ \sin(Q_{mn}^{ij}) & \cos(Q_{mn}^{ij}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Този 3D двуслоен CPG модел регулира основните модели на придвижване на хексапода и прецизира производителността на движението с адаптиране към промяната в околната среда.

Б. Симулирано генериране на движение

За проверка на ефективността на контролера за движение с CPG са направени симулации. В първия слой на мрежата, дефазиране на положението на тялото спрямо тазобедрените стави при генериране на триножно и при четириножно движение, представени в таб.4.

Таблица 4. Фазово разделяне с кореспонденция

		ЕЛЕМЕНТИ НА ДВИЖЕНИЕТС			
ДЕФАЗИРАНЕ		РЕЖИМ ТРИПОД (градуси)		РЕЖИМ ЧЕТИРИПОД (градуси)	
θ_{11}	0	$\theta_{mn}^{ij} = 360$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	0	$\begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 & 0 & 2 & 3 \\ -2 & 0 & -1 & -2 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 3 \\ -2 & 0 & -1 & -2 & 0 & 1 \\ -3 & -1 & -2 & -3 & -1 & 0 \end{bmatrix}$
θ_{21}	180			180	
θ_{31}	0			90	$\theta_{mn}^{ij} = 360$
θ_{41}	180			0	
θ_{51}	0			180	
θ_{61}	180			270	

Изходните данни на мрежата на телесния слой са стабилни и периодични, докато фазовите разлики между съседните осцилатори поддържат строго 180 градуса за режим на триножно движение и съответно 90 градуса за четириножно движение.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите показват, че предложеният базиран на CPG контролер за придвижване има отлична управляемост и устойчивост в непознати терени. CPG позволява директна модулация на тези параметри, за да се подобри адаптивността на придвижването на хексаподния робот.

V. ЛИТЕРАТУРА:

- [1] R.Spirov and N. Grancharova, "Digital Image Processing Explorer," in IEEE Xplore, DOI: 10.1109/SIELA.2016.7543044, ISBN:978-1-4673-9522-9.
- [2] Denavit, Jacques; Hartenberg, Richard Scheunemann (1955). "A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices". Journal of Applied Mechanics. 22 (2): 215–221. doi:10.1115/1.4011045
- [3] Campos, V. Matos, C.P. Santos. Hexapod Locomotion: a Nonlinear Dynamical Systems Approach. IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society , (2010) 1546–1551.

За контакти (Affiliation):

¹ доц. д-р инж. Росен Спиров
Институт по Роботика
Българска Академия на Науките
София, 1113
ул. "Академик Г.Бончев", бл.2,
e-mail: rosenspirov966@abv.bg

¹ Assoc. prof. Eng. Rosen Spirov.PhD
Institute of Robotics
Bulgarian Academy of Sciences
"Academic G. Bonchev" Str. bl. 2

КОНСТРУИРАНЕ И ИЗРАБОТКА НА СТАРОВРЕМСКА ПЕЩ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ОТЛИВКИ ОТ ДРЕВНИ ВРЕМЕНА

Диана Петрова¹

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN OLD-FASHIONED FURNACE FOR OBTAINING EXPERIMENTAL CASTINGS FROM ANCIENT TIMES

Diana Petrova¹

Резюме: Експерименталната археология е млада научна дисциплина. Основният и метод е експериментите с копия или оригинали на праисторически или средновековни продукти и опити за изграждане на праисторически и средновековни технологии свързани с обработка на метала.

Ключови думи: експериментална археология, старовремска печь

Abstract: Experimental archaeology is a young scientific discipline. Its main method is experiments with copies or originals of prehistoric or medieval products and attempts to build prehistoric and medieval technologies related to metalworking and casting.

Key words: experimental archaeology, old-fashioned furnace

I. ВЪВЕДЕНИЕ:

Всичко, което археолозите откриват под земята, може да се види чрез работата на експерименталните археолози. Резултатите от "обичайната" археология обаче трябва да се отчитат и да се основават на експерименти и технологии използвани в древни времена.

Резултатите от експериментите ни дават важни факти за живота на нашите древни предци. Експерименталната археология е и област на науката, която поне отчасти преподава способностите и възможностите на човека в праистория и средновековието. Дори ако не всички опити правят същото, резултатът винаги е интервал от време или изпълнение, който често много насочва въображението ни към стария живот.

Опитите могат да се правят навсякъде, но изграждането на центрове за експериментална археология е често срещано, където можем да видим и реконструкцията на жилища и сгради.

В експерименталната археология, с цел доближаване до древните технологии в металообработката използваните материали са:

- бронз - сплав от мед и калай, температурата на топене е около 960°C, твърд метал, подходящ за производство на орнаменти, инструменти и оръжия, неговият цвят и механичните му свойства са силно повлияни от количеството калай.
- мед - точка на топене 1083°C, поради своята относителна мекота, не е подходяща за инструменти.
- калай, олово - точка на топене 231°C, 327°C поради ниската точка на топене, са особено подходящи за моделиране процеса на леење и коване.
- месинг - мед и цинкова сплав, температурата на топене около 800°C, подходяща за първите опити за изливане на метали.

II. МЕТОДИКА:

При експерименталната възстановка на старовремската печь се премина през следните етапи, които са определени на база исторически сведения с цел точно възпроизвеждане на оригиналните древни техники:

- **Подготовка на материалите.** За целта се смесват огнеупорна глина, слама, кварцов

пясък и речни камъни (фиг.1). Необходимо е сместа да престои около 24 часа за по-добро омокряне на сламата и протичането на химични реакции.



Фиг. 1. Смесване на материалите

• Оформяне на основата.

Оформянето на основата на старовремската печ е важен и отговорен етап (фиг.2). Необходимо е прецизно съотношение на материалите (глина, слама, камъни), за достигане на нужната здравина на конструкцията. След смесване и оформяне на основата следва съхнене до 168 ч.



Фиг. 2. Оформяне на основата

• Запълване на основата с пясък.

За по-бързо съхнене и по-голяма здравина, основата се запълва с пясък (фиг. 3). Съхненето е до 60 часа.



Фиг. 3. Запълване на основа с пясък

• Изливане на плоча.

За достигане на нужната здравина върху основата се залива плоча (фиг.4). Материалите са глина и камъни. Съхненето продължава около 240 ч.



Фиг. 4. Изливане на плоча

• Обмазване с огнеупорна глина и морска сол.

За по-голяма здравина, след съхнене на готовата печ е необходимо обмазване със смес от глина и морска сол. Съхненето е при циркулация на въздух за около 72 ч.

• Оформяне на маса за потата.

На дъното на пещта се оформя маса (скара), върху която се поставя потата (фиг.5). Материалите са глина, слама и пясък. Съхне около 120 ч.



Фиг. 5. Маса на дъното на пещта



Фиг. 6. Общ вид на пещта

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

След направената възстановка на старовремска пещ за топене на цветни бронзови сплави е проведен експеримент за определяне режимите на работа с нея и са изведени управляващите параметри.

Скоростта и дебита (количеството) на подавания въздух с духалото са двата основни параметъра за достигане на необходимата температура, те са контролирани чрез брой и диаметър на отворите в керамичния дифузор зазидан в средата на пещното пространство.

Друг параметър е **загуба на топлина** (топлоизолация) на стените на пещта, където геометрията (формата) на гърловината и дебелината на стената са решаващи.

Целта на изследването е определяне на оптималните параметри за постигане на необходимата температура около 1000 °C в зоната където се разполага тигела с бронзовата стопилка. Тя е постигната чрез поредица експерименти свързани със замерване с аниометър на скоростта на вдувания въздушен поток и термокамера отчитаща температурата в отделните зони вътре и отвън на пещта.

дело в Югоизточна Европа. Варна, 1975 г.

- [8] Arrhenius, B. 1989. Kan metallanalyser ge en anvisning om nar metallurgi blir inhemsk? In: Ickejernmetaller - malmfyndigheter och metallurgi. Jernkontorets bergshistoriska utskott , H 45. Stockholm.
- [9] Craddock, P. T. (Ed). 1990. 2000 Years of Zinc and Brass. Occasional paper No 50. British Museum.London.
- [10] Torbov, N. Antonov, D. 2002. Bronze tools north-western Bulgaria(6-1 cenuries BC). – Archeologia Bulgarica 4, 1, 37-53.
- [11] Hodges, H. Artifakts. An introduction to Early materials and technology. London, 2000.

За контакти (Affiliation):

¹ инж. Диана Петрова

катедра „МТМ”

Технически Университет – Варна

e-mail: dpetrova@tu-varna.bg

IV. ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1] Белоустов, Н., Топене и леене на сплави на цветни метали. С., 1985.
- [2] Бончев, Г. Старото рударство в България и Македония, Списание БАХ.
- [3] Белоусов, Н. 1989. Топене и леене на сплави на цветни метали. София.
- [4] Дончева-Петкова, Л. За металодобива и металообработването в Плиска. - Археология, 4, 1980, с. 33, обр. 11а.
- [5] Михайлова, Т. Калъпи за отливане на накити от Преслав, - Преслав, 3, 1983, 170-176.
- [6] Стоилковски, Д. Развитие на технологичните процеси в областта на металургията през епохата на античността. Млад форум Механика Транспорт Комуникации, София, 2017.
- [7] Чолаков, А. Старото рударство във Врачанска Стара планина. Първи симпозиум по история на минното