



# АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Брой 1  
юли 2019 г.

Издателство на ТУ-София

ISSN: 2682-9584



# АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**Брой 1 юли 2019 г София**

## Редакционна колегия

### Председател

доц. д-р инж. Стилиян Николов – Р-л кат. АДП

### Редактор

доц. д-р инж. Ренета Димитрова – Зам. р-л кат. АДП

### Членове

проф. д-р инж. Иво Малаков

проф. д-р инж. Пламен Петров

проф. д-р инж. Димчо Чакърски

доц. д-р инж. Панчо Томов

проф. д-р инж. Тодор Нешков

доц. д-р инж. Ваня Георгиева

проф. д-р инж. Димитър Дамянов

## Издателство на ТУ-София

**ISSN: 2682-9584**

**Издател** Катедра „Автоматизация на дискретното производство“  
при Машиностроителен факултет на ТУ-София

### Адрес на редакционната колегия

България 1000 София, бул. “Кл. Охридски” №8, ТУ – София кат. АДП на МФ  
тел.: +3592 965-27-55, GSM+359 895 590 330, e-mail: adp-konf@tu-sofia.bg

# AUTOMATION OF DISCRETE PRODUCTION ENGINEERING

**Issue 1 July 2019 Sofia**

## Editorial Board

### Chairmen

Assoc. Prof. Eng. Stilyan Nikolov, PhD, Chairman Dep. ADP

### Editor

Assoc. Prof. Eng. Reneta Dimitrova, PhD. Deputy Chairman Dep. ADP

### Members

Prof. Eng. Ivo Malakov, PhD

Prof. Eng. Plamen Petrov, PhD

Prof. Eng. Dimtcho Tchakarsky, PhD

Assoc. Prof. Eng. Pancho Tomov, PhD

Prof. Eng. Todor Neshkov, PhD

Assoc. Prof. Eng. Vania Georgieva, PhD

Prof. Eng. Dimitar Damyanov, PhD

## Publishing house of TU-Sofia

**ISSN: 2682-9584**

**Publisher** Department “Automation of Discrete Production Engineering“  
Mechanical Engineering Faculty, Technical University - Sofia

### Address of Editorial Office

Bulgaria 1000 Sofia, “St. Kl. Ochriski” Blvd №8, TU – Sofia dep. ADPE, FME  
tel.: +3592 965-27-55, mobile +359 895 590 330, e-mail: adp-konf@tu-sofia.bg



**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**

---

## **ДНИ НА НАУКАТА – 2019**

СБОРНИК ДОКЛАДИ  
ОТ ДВАДЕСЕТ И ОСМАТА  
МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА КОНФЕРЕНЦИЯ

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО**



## **АДП 2019**

Созопол – юли 2019

# МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА КОНФЕРЕНЦИЯ „АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО”

## ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

### ПОЧЕТЕН ПРЕДСЕДАТЕЛ:

чл. кор. проф. д-р инж. Георги Михов – Ректор на ТУ – София

### ПРЕДСЕДАТЕЛ:

доц. д-р инж. Стилиян Николов – Р-л кат. АДП

### НАУЧЕН СЕКРЕТАР:

доц. д-р инж. Ренета Димитрова – Зам. р-л кат. АДП

### ЧЛЕНОВЕ:

проф. д-р инж. Уве Фюсел - ТУ-Дрезден  
проф. д-р инж. Каха Деметрашвили – ТУ-Тбилиси  
проф. д-р инж. Петр Лоуда – ТУ-Либерец  
проф. д-р инж. Симеон Симеонов – ТУ-Бърно  
проф. д-р инж. Властимир Никулич - НУ-Ниш  
проф. д-р инж. Ненад Павлович – НУ-Ниш  
проф. д-р инж. Виктор Гавриловски – СУ-Скопие  
проф. д-р инж. Александър Марковски – БУ-Битоля  
проф. д-р инж. Александър Михайлов – ТУ-Донецк  
д-р инж. Фолкмар Флеминг – ТУ-Дрезден  
проф. д-р инж. Любомир Димитров – зам. Ректор ТУ  
проф. д-р инж. Милка Вичева - декан на МФ  
проф. д-р инж. Иво Малаков - кат. АДП  
проф. д-р инж. Димчо Чакърски – кат. АДП  
проф. д-р инж. Годор Нешков – кат. АДП  
проф. д-р инж. Христо Шехтов – ЛТУ, София  
проф. д-р инж. Роман Захариев - БАН

проф. д-р инж. Михаил Кършаков – РУ, Русе  
проф. д-р инж. Стефан Къртунов – ТУ, Габрово  
проф. д-р инж. Стефан Стефанов – УХТ Пловдив  
проф. д-р инж. Пламен Петров - кат. АДП  
доц. д-р инж. Панчо Томов – зам. декан на МФ  
доц. д-р инж. Ваня Георгиева – кат. АДП  
доц. д-р инж. Михаела Топалова – ИПФ - Сливен  
доц. д-р инж. Иван Шопов - ТУ - София, Ф-л Пловдив

### ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

**ПРЕДСЕДАТЕЛ:** проф. д-р инж. Иво Малаков

### ЧЛЕНОВЕ:

проф. д-р инж. Димчо Чакърски  
проф. д-р инж. Годор Нешков  
проф. д-р инж. Димитър Дамянов  
проф. д-р инж. Христо Шехтов  
проф. д-р инж. Стефан Къртунов  
проф. д-р инж. Веселин Павлов  
проф. д-р инж. Роман Захариев  
проф. д-р инж. Пламен Петров

### СЕКРЕТАРИАТ

доц. д-р инж. Татяна Вакарелска  
гл. ас. д-р инж. Слав Димитров

Двадесет и осма международна научно-техническа конференция „Автоматизация на дискретното производство” АДП 2019 се проведе от 29 юни до 02 юли 2019 г. в УСОБ на ТУ-София, Созопол в рамките на Дните на науката на ТУ-София.

За конференцията са депозиран и приети от програмния комитет 65 доклада от 111 автора, както следва:

1. Теоретични проблеми на автоматизацията на дискретното производство – 5 бр.
2. Технологии и машини за автоматизираното дискретно производство – 10 бр.
3. Автоматизиране потока на детайлите – 6 бр.
4. Промислени работи и роботизирани комплекси – 19 бр.
5. Автоматизация на монтажа – 6 бр.
6. Мехатроника – 8 бр.
7. Системи за управление в дискретното производство – 6 бр.
8. Иновации и инженеринг на автоматизираното дискретно производство – 8 бр.
9. CAD/CAM/CAE системи и виртуално инженерство – 7 бр.

Организационният комитет благодари на НИС на ТУ-София и на фирмите: “FESTO” ЕООД – София, “ВАНИКО” ООД – Благоевград и “ЛОГИСОФТ” - София за финансовото подпомагане провеждането на конференцията.

Организационният комитет изказва благодарност на доц. д-р инж. Ренета Димитрова за подготовката на сборника с доклади от конференцията.

За забележки и препоръки се отнасяйте към катедра АДП на МФ при ТУ – София, бул. “Кл. Охридски” №8, тел.: (02) 965-27-55, 0895 590 330, e-mail: adp-konf@tu-sofia.bg



**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 1**

**“ТЕОРЕТИЧНИ ПРОБЛЕМИ НА  
АВТОМАТИЗАЦИЯТА НА  
ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО”**



# МИНАЛО, НАСТОЯЩЕ И БЪДЕЩЕ НА АВТОМАТИЗАЦИЯТА И РОБОТИЗАЦИЯТА НА ПРОИЗВОДСТВОТО

Д. Чакърски

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани състоянието и постиженията в развитието на автоматизацията и роботизацията на дискретното производство. Приложени са данни за степента на автоматизация общо за дискретните производствени процеси у нас и в чужбина през периода 1987 - 2018 год. Посочени са положителни примери за създадени и внедрени решения в различни отрасли на икономиката. Разграничени са основните проблеми за успешното развитие на науката и технологиите в индустрията. Очертани са перспективите за развитие на автоматизацията и роботизацията на дискретните производствени процеси и мехатрониката.

**Ключови думи:** настояще минало, бъдеще, постижения, перспективи, развитие, автоматизация, роботизация, мехатроника, мехатронни системи, дискретни производствени процеси, степен на автоматизация.

## 1. Въведение

**Основната цел** на автоматизацията на дискретното производство е да произвежда повече, по-качествено и с по-малко човешки ресурси, т.е. да повиши ефективността на производството.

В промишлеността съществуват два вида основни процеси:

- Непрекъснати производствени процеси – химия, металургия и др.
- Дискретни производствени процеси – това са процесите с прекъсваем характер.

Тези процеси в РБългария и в световен мащаб са над 80 %. Дискретни са всички процеси в: машиностроенето, електронната и електротехническата промишленост, фармацевтиката, хранително-вкусовата промишленост, дървообработващата промишленост, производството на строително-керамични изделия и др. [1, 8].

Съществуват два основни подхода при автоматизирането на дискретните производствени процеси:

- Автоматизация на съществуващи машини и съоръжения, въз основа на съществуващи технологии;
- Проектиране на нови автоматизирани съоръжения, на основата на въвеждането на нови технологии.

**При автоматизацията на съществуващи машини и съоръжения** се автоматизира предимно потокът на детайлите, като универсалните машини и машините полуавтомати се превръщат в машини автомати. В тези случаи ръстът на производителността  $\lambda$  обикновено е в границите от 1,1 до 2.

**При проектирането на нови машини и съоръжения** ръстът на производителността  $\lambda$  обикновено е в границите от 2 до 5, но може да има и значително по-големи стойности, напр. до 50. Това е възможно при въвеждането на нови иновационни автоматизирани технологии.

Ефектът от автоматизацията на дискретното производство е икономически и социален.

**Икономическият ефект** се получава в резултат на намалението на човешките ресурси при производството на определени изделия, на повишението на производителността и повишаване на качеството на изделията. Икономическият ефект може да се определи и в резултат на намалението на себестойността на произвежданата продукция.



**Социалният ефект** се изразява в намаляването на тежкия, монотонен и физически труд, често свързан с нездравословни условия на труд – замърсена среда, голям шум, ударни натоварвания, висока температура, радиоактивна среда и др.

### **2. Състояние на автоматизацията и роботизацията на производството.**

В България първият промишлен робот е създаден от катедра АДП през 1972 г. По същото време се създават и първите машини с ЦПУ и автоматични линии в ИММ-София. Първата гъвкава производствена система е създадена и внедрена в Завода за правотокови двигатели “Г. Костов” - София от български специалисти през 1982 г. През 1983 г. е внедрена първата същинска гъвкава автоматизирана производствена система в Завод “Берое” - Стара Загора, разработена от японски специалисти. До 1989 г. у нас ефективно работеха 6 ГАПС и бяха в процес на пускане в експлоатация 4 ГАПС, като повечето от тях бяха за механична обработка и монтаж. След промяната през 1989 г., в резултат на извършващото се реструктуриране на икономиката и конюктурата постепенно тези сложни автоматизирани комплекси престанаха да функционират. Първоначално се използваха техни отделни роботизирани технологични модули и гъвкави производствени клетки, а след това бяха продадени или ликвидирани. Сега в нашата индустрия функционират отделни автоматични производствени машини, РТМ, ГПКл и автоматични линии. Повечето АЛ функционират в хранително-вкусовата промишленост при опаковане на хранителни продукти и течности. Отделни автоматични линии функционират и в машиностроенето. Има множество положителни примери за фирми, които създават средства за автоматизация, и фирми, които въвеждат автоматизация в своите производства.

Много добре работещи фирми по създаването на технически средства за автоматизация са: FESTO - София, SMC - София, FMS Инженеринг – Пловдив, Beta Fest – София, АМЕКА – София, МАРВЕЛ – София и др. Положителни примери за въвеждане на средства за автоматизация са фирмите: СПАРКИ ЕЛТОС АД – Ловеч, СПАРКИ АД – Русе, FESTO Производство АД – София, Фирма ЛИБХЕР АД- Пловдив, ЧЕПИТА АД – София, КЕНТАВЪР АД – Дряново и др.

**Степента на автоматизация** показва каква част от процеса е автоматизирана, т.е. извършва се без участието на човека [1].

Степента на автоматизация **A** е един представителен показател, който може да служи за сравнение както при проектиране на автоматизираща техника, така и при оценяване развитието на икономиката у нас и в световен мащаб.

Когато се прави преглед на състоянието на автоматизацията обикновено се разглеждат видовете технологични операции и процеси у нас и в световен мащаб.

Дадени са степените на автоматизация в световен мащаб през 2016 година.

В световен мащаб в индустриално развитите страни се наблюдава повишаване на степента на автоматизация, която понастоящем е както следва: Германия – 40 %; САЩ – 44 %; Япония – 54 % и др. За последните 10 години степента на автоматизация непрекъснато се увеличава. Това личи и от продажбите на промишлени роботи в световен мащаб, които са се увеличили около два пъти – от около 115 000 броя средно за периода 2005 - 2008 година, достигат до 229 261 робота, продадени през 2014 година. Основният пазар за роботи за 2014 година е Азия със 139 300 броя (с 41% увеличение от 2013 г.), водещ пред Европа – 45 600 броя (5% нарастване спрямо 2013 г.) и Америка с продажби от около 32 600 броя (8% повече продажби от 2013 г.). Общо 5 държави държат 70% от продажбите в световен мащаб: Китай, Япония, САЩ, Южна Корея и Германия. В Европа, след Германия, класацията по продажби за 2014 е, както следва: Италия – 6200 бр. (32% растеж), Франция – 3000 бр. (36% растеж), Испания – 2300 бр. (спад с 16% - поради предишни инвестиции в автомобилната индустрия), Великобритания – 2100 бр. и съответно Чехия, Полша и Турция. За 2016 година общият брой на използвани роботи в света е около 1 668 000 броя.



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

Дадени са степените на автоматизация по процеси у нас и в световен мащаб през 2017 година [3, 9].

От направените изследвания може да се направи следният **анализ за степента на автоматизация** по процеси и години:

- Наблюдава се известно увеличение на степента автоматизация за процесите в машиностроенето у нас, например за механообработващите процеси от 18 % през 1988 г. на 23 % през 2017 г.;
- В ХВП и при производството на строително-керамични изделия у нас се забелязва ръст за посочения период с около 12 % ;
- Във фармацевтичната промишленост у нас ръстът на степента на автоматизация е около 13 % ;
- В световен мащаб в индустриално развитите страни се наблюдава повишаване на степента на автоматизация, която понастоящем е както следва: Германия – 41 %; САЩ – 44 %; Япония – 54 % и др. [4, 11].
- Степента на автоматизация на дискретните производствени процеси общо за индустрията у нас е около 27 %.

От направения анализ се вижда, че степента на автоматизация на дискретните процеси у нас все още изостава в сравнение с тази в индустриално-развитите страни, с изключение на процесите в ХВП, фармацевтичната промишленост и производството на строителни и керамични изделия.

През последните няколко десетилетия индустриалните работи се развиха от невероятно скъпи машини с ограничени функции до модерни устройства с многостранно приложение. Те могат да изпълняват най-разнообразни дейности и имат висока възвращаемост на инвестициите.

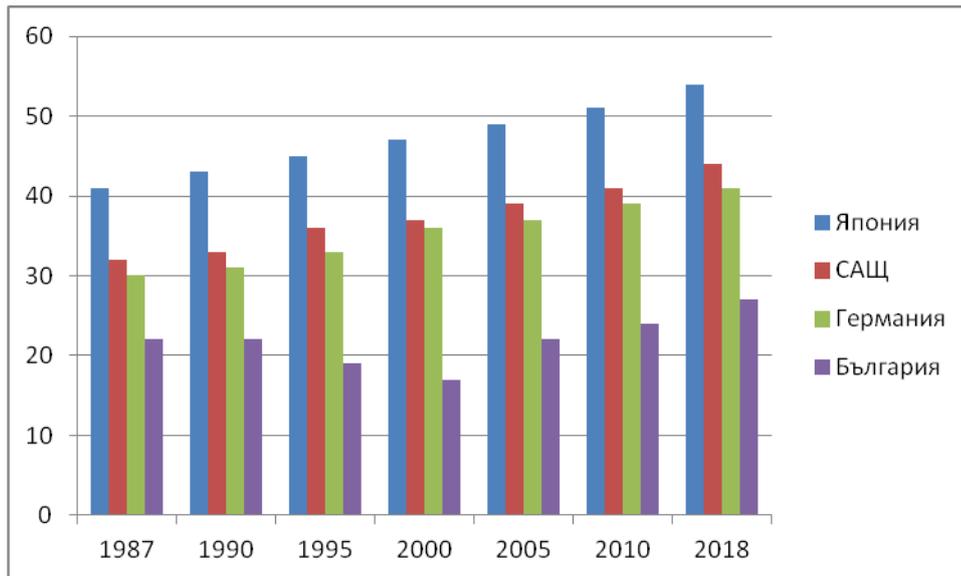
Интегрирането на технологичните устройства, свързани с роботиката, вече е много просто и се извършва почти на принципа „plug and play”. Периферните устройства, различните модели работи и контролери са конструирани така, че да комуникират по-лесно помежду си. Тази съвместимост улеснява изграждането на по-надеждни и гъвкави системи от работи.

В табл.1 са дадени в табличен вид данните за степен на автоматизация в България, Германия, САЩ и Япония.

Таблица 1. Степен на автоматизация

Година	Япония	САЩ	Германия	България
1987	41	32	30	22
1990	43	33	31	22
1995	45	36	33	19
2000	47	37	36	17
2005	49	39	37	22
2010	51	41	39	24
2018	54	44	41	27

На фиг 1 са дадени в графичен вид данните за степента на автоматизация през периода 1987 - 2018 година.



Фиг. 1. Степен на автоматизация

### 3. Изисквания за ефективност на решенията за автоматизация и роботизация

За да бъде ефективно едно решение за автоматизация, трябва да са налице следните предпоставки [1, 2, 3, 5]:

- Да използва иновативни технологии;
- Да позволява увеличение на производителността и надеждността на машините и съоръженията;
- Да позволява подобряване на качеството на произвежданата продукция и намаляване на брака;
- Да бъде икономически изгодно, т.е. да се произвежда с по-малко човешки ресурси при минимум двусменен режим на работа;
- Да осигурява социален ефект, т.е. да се намалява вредният, тежкият и монотонен ръчен труд и значително да се намаляват трудовите злополуки и професионалните заболявания;
- Да има възможност за пренастройване на автоматизиращата техника за изпълнение на други производствени задания;
- Да работи автоматизиращата техника продължително време без намесата на работниците;
- Да позволява включването на решението в по-сложни автоматични системи.
- Да позволява завършено производство на определено изделие и да осигурява предпоставки за мултиплициране на новата технология за други изделия;
- Да повишава конкурентноспособността на произвежданите продукти.

### 4. Етапи на развитие на автоматизацията

Развитието на автоматизацията на дискретното производство минава през няколко характерни етапа:

- Автоматизиране на работния цикъл на технологичните единици.
- Автоматизиране на захранването на технологичните единици.
- Автоматизиране на захранването на технологичните единици с ПР.
- Автоматизиране на транспорта между технологичните единици.
- Автоматизиране на складовите и палетизиращите операции.
- Автоматизиране на всички основни и спомагателни операции.



Понятието “автоматизираща техника” е обобщено. Тук могат да се причислят разнообразните автоматизиращи устройства, автоматични производствени машини (машини полуавтомати), роботизирани технологични модули (РТМ) и автоматизираните комплекси.

### **5. Основни проблеми за успешното развитие на науката и технологиите за автоматизация и роботизация на производството**

Могат да се посочат следните **основни проблеми за успешното развитие на науката и технологиите** и внедряването им в индустрията:

- Липсва държавна политика за развитие на индустрията;
- Много грешки се допускат при провеждането на конкурси и няма обективност в оценяването на проектите;
- Малки са международните инвестиции;
- Подценена е науката - в последните пет години са нищожни средствата за наука;
- Бизнесът недостатъчно стимулира развитието на науката;
- Има известна апатия сред научната общност, която не е достатъчно настоятелна.

### **6. Тенденции в развитието на автоматизацията и автоматизираните мехатронни системи в дискретното производство**

Могат да се различат следните по-характерни особености в развитието на мехатрониката и автоматизиращата техника до 2020 година [1,4,7, 8, 9]:

- Създаване на нови видове агрегатно-модулни градивни единици и такива с подобрени технико-икономически характеристики за изграждане на системи за АДП;
- Развитие на принципите на агрегирането с цел построяване на оптимални параметрични (типоразмерни) редове от технически средства за АДП;
- Разработване на нови компоновки на системи за АДП с различна степен на автоматизация с възможност за лесно интегриране в комплексно автоматизирани производствени системи;
- Приложение на мехатрониката, т.е. интегриране на съвременните достижения на микроелектрониката, информационните технологии и конвенционалните средства за АДП;
- Усъвършенстване на методите и средствата за проектиране с използване на съвременни методи за структурна и параметрична оптимизация на техническите средства (ТС) за АДП чрез използване на интегрирани CAD/CAM/CAE системи за 3D проектиране;
- Подобряване на дизайна на автоматизираните мехатронни системи (АМС) и качеството на документирането чрез използване на съвременна компютърна техника;
- Повишаване на енергийната ефективност на системите за АДП чрез използване на градивни единици с намалена консумация на енергия, оптимално проектиране на системите за хранване с енергийни източници, изграждане на системи за непрекъснат мониторинг на енергийните системи и своевременно отстраняване на източниците на загуби в тях.
- Разширяване на приложението на нискостойността автоматизация при технологичното обновление и модернизацията на дискретното производство.
- Разработване на ТС за АДП със собствените сили на фирмите, водещо до: намаляване на необходимите разходи, съкращаване на сроковете за внедряване и възможност за бързо и адекватно реагиране на пазарните изисквания, повишаване



квалификацията на инженерно-техническия и изпълнителския персонал във фирмата и др.;

- Изграждане на виртуални предприятия за производство на градивни елементи за АДП с цел успешно отговаряне на пазарните изисквания;
- Усъвършенстване на методите за проектиране на произвежданите изделия и подобряване на технологичността им с отчитане на всички фази от жизнения цикъл на изделията от проектирането до излизането им от употреба;
- Усъвършенстване на задвижванията и управленията на АМС чрез използване на паралелна кинематика, линейни задвижвания и др.;
- Внедряване на иновативни технологични процеси, позволяващи повишаване на производителността и намаляване на сложността на техническите средства за автоматизация;
- Използване на съвременни методи за организация и управление на производствените процеси;
- Разширение на областите на приложение на автоматизиращата и мехатронна техника, в т. ч. медицина, услуги, бит и др.;
- Разработване и внедряване на комплексни ефективни решения за автоматизация и организиране на индустрия за производство на автоматизираща и мехатронна техника с разнообразно предназначение;
- Продължаване на интеграцията с фирмите, работещи по автоматизация и мехатроника;
- Усъвършенстване подготовката на кадри в областта на АДП и др.

### 7. Изводи:

- Определени са предпоставките за ефективни решения за автоматизация;
- Изяснени са проблемите за развитие на науката и технологиите при автоматизация и роботизация на производството;
- Определено е състоянието на развитието на автоматизацията у нас и в световен мащаб през периода 1987 - 2018 г.;
- Приведени са някои от постиженията при автоматизацията и роботизацията на дискретните производствени процеси;
- Формулирани са тенденции за развитието на автоматизацията и автоматизираните мехатронни системи.
- Автоматизацията и роботизацията на производството има минало, настояще и бъдеще, като чрез тях с настоящите човешки ресурси ще се произвежда повече, с по високо качество и ниска себестойност.

### Литература:

1. Чакърски Д., Г. Хаджикосев. Автоматизация на дискретното производство. Издателство на ТУ-София, 2008.
2. Чакърски Д. и к-в. Промислени работи, роботизирани технологични модули и системи. Издателство на ТУ-София, 2008.
3. Чакърски Д. Т. Вакарелска, Р. Димитрова. Технически и икономически параметри на иновационни проекти по автоматизация на дискретното производство. Сп. Устойчиво развитие, бр. 1, Варна, 2011.
4. Чакърски Д. Състояние и развитие на автоматизацията и роботизацията на производството. Известия на НТС по машиностроене, Год. XXV, бр.2/217, юни 2017.



5. Малаков И. Нискостойностна автоматизация на дискретното производство. Издателство на ТУ-София, 2010.
6. Димитрова Р., С. Димитров, С. Николов, Изследване процеса на автоматично поставяне на капачки върху затваряните с тях съдове.
7. Вълчкова Н. Колоборативните работи в помощ на хората в неравностойно положение. Известия на НТС по машиностроене, Год. XXV, бр.2/217, юни 2017.
8. Захариев Р., Н. Вълчкова, Перспективи за развитие на сервизен робот «робко 11», чрез повишаване на мобилността и манипулативността му, за помощ на хора в неравностойно положение. Известия на НТС по машиностроене, Год. XXIV, бр.14/200, юни 2016.
9. Valchkova N., R. Zahariev, Cognitive service robot for help of disabled people. Известия на НТС по машиностроене, Год. XXIII, бр.9/172, юни 2016.
10. Чакърски Д., П. Томов, И. Малаков. Постигания и перспективи за развитието на автоматизацията на дискретните производствени процеси. Известия на НТС по машиностроене, Год. XXI, 40, юни 2013.
11. Hesse. 99 Beispiele für Pneumatik Anwendungen. Festo, 2000.

### PAST, PRESENT AND FUTURE OF AUTOMATION AND ROBOTIZATION OF PRODUCTION

**D. Chakarski**

***Abstract:** This article examines the state and achievements in the development of automation and robotization of discrete production. Data on the degree of automation for the discrete production processes in Bulgaria and abroad during the period 1987 - 2018 are presented. Positive examples of solutions created and implemented in different sectors of the economy are given. Key issues for the successful development of science and technology in the industry are identified. The perspectives for the development of automation and robotization of discrete production processes and mechatronics are outlined.*

**Данни за автора:**

Димчо Стоилков Чакърски, професор доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 27-55, e-mail: dimost@tu-sofia.bg



# АЛГОРИТМИЧНО И ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ НА ИЗБОРА НА ОПТИМАЛЕН РАЗМЕРЕН РЕД

В. Захаринов, И. Малаков

**Резюме:** Настоящата работа представя алгоритмичното и програмно осигуряване на избора на оптимален размерен ред. Разработеният алгоритъм и програма решават еднопараметрични задачи за избор на оптимален размерен ред с отчитане диапазона на приложимост на елементите на реда. За целта е построен математически модел на задачата и е избран математически метод за решаване. С помощта на разработения алгоритъм и програмна реализация е решена примерна задача.

**Ключови думи:** размерен ред, оптимизация, алгоритъм, програмно осигуряване.

## 1. Въведение

Значителна част от масовите изделия в машиностроенето, електрониката, електротехниката, автомобилостроенето и др. отрасли се произвеждат в размерни (параметрични) редове, които са в основата на модулните продуктови фамилии [4-5, 7, 14-16]. За тяхното проектиране, производство и експлоатация са необходими значителни инвестиции, чиято ефективност зависи в голяма степен от елементите, които изграждат размерните редове [2, 9, 13]. Ето защо постигането на добри икономически резултати както за производителите, така и за потребителите, налага прецизно и научнообосновано определяне на включените в размерните редове елементи и стойностите на главните им параметри [12]. Тази задача придобива особена актуалност в съвременните условия на засилена конкуренция, породена от глобализацията на световната икономика, тъй като предопределя в значителна степен пазарния успех на произвежданите изделия [10, 15].

Анализът на специализираната литература показва, че изборът на оптимален размерен ред е ноу-хау за фирмите производителки и те не публикуват своите изследвания в тази област. Освен това в известни разработки за оптимизация на размерни редове [1, 6, 8-9, 13, 15] не е разгледан и решен въпроса за изделия, всяко от които се характеризира с определен диапазон на приложимост. Включването на диапазон на приложимост към модела на задачата, дава възможност за отчитане на ограниченията от гледна точка на възможността за употреба на изделията при различни условия и конструктивни особености.

Целта на статията е да покаже резултатите от прилагането на разработен алгоритъм и приложен софтуер за еднопараметрична оптимизация на размерни редове с отчитане на диапазони на приложимост.

## 2. Математически модел на задачата

Математическият модел на задачата за избор на оптимален размерен ред има вида:

При зададено множество от потребности  $\bar{N} = \{\bar{N}^1, \bar{N}^2, \dots, \bar{N}^l, \dots, \bar{N}^{\bar{L}}\}$ ,  $l = 1 \div \bar{L}$ , от изделия  $\bar{Z} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_l, \dots, \bar{x}_{\bar{L}}\}$ ,  $l = 1 \div \bar{L}$ , и допустимите им възможности за удовлетворяване на отделните видове потребности, т.е. елементите на матрицата на приложимост  $\Phi_{\bar{L} \times \bar{L}} = \|\phi_m^p\|_{\bar{L} \times \bar{L}}$ , да се намерят  $L^*$ ,  $Z^* = \{x_{l_1}^*, x_{l_2}^*, \Lambda, x_{l_j}^*, \Lambda, x_{l_{L^*}}^*\}$ ,  $Z^* \subseteq \bar{Z}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, \bar{L}\}$ ,  $N^* = \{N^{*l_1}, N^{*l_2}, \Lambda, N^{*l_j}, \Lambda, N^{*l_{L^*}}\}$ ,  $L^* \leq \bar{L}$ , за които избраният критерий за ефективност (оптималност) да има минимална стойност:



$$\begin{aligned} \min R(L, \bar{x}_1, \Lambda, \bar{x}_1, \Lambda, \bar{x}_L, \bar{N}^1, \Lambda, \bar{N}^1, \Lambda, \bar{N}^L, \Phi_{\bar{L} \times \bar{L}}) &= \sum_{j=1}^L G\{x_{l_j}, N^{l_j}(\varphi_m^p, N^p)\} = \\ &= \sum_{j=1}^L TS(x_{l_j}) \cdot N^{l_j}(\varphi_m^p, N^p) \cdot \left(\frac{N_{TS}}{N^{l_j}}\right)^{\nu_l} + \sum_{j=1}^L TP(x_{l_j}) N^{l_j}(\varphi_m^p, N^p), \quad L = 1 \div \bar{L}, \end{aligned} \quad (1)$$

при следните условия:

$$\sum_{j=1}^L N^{l_j} = \sum_{j=1}^{L^*} N^{*l_j} = \sum_{l=1}^{\bar{L}} \bar{N}^l = N_0, \quad (2)$$

$$x_{l_L} = x_{l_L}^* = \bar{x}_L, \quad (3)$$

$$x_{l_j} \in \bar{Z} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_l, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_L\}, \quad \forall j = 1 \div \bar{L}, \quad (4)$$

където  $\bar{L}$  е броят на елементите в изходния размерен ред  $\bar{Z} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_l, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_L\}$ , определен след проучване на потребностите,  $\dim \bar{Z} = \bar{L}$ ;  $L$  - броят на елементите в текущия анализиран ред  $Z = \{x_{l_1}, x_{l_2}, \dots, x_{l_j}, \dots, x_{l_L}\}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, \bar{L}\}$ . Между елементите в текущия и изходния ред съществува еднозначно изображение, при което на всеки елемент  $x_{l_j}$  съответства един елемент  $\bar{x}_m$ . Елементите на текущите редове представляват комбинация от  $L$ ,  $L = 1 \div \bar{L}$ , елемента от  $\bar{L}$  на брой възможни елементи на изходния размерен ред с отчитане на допустимите им области на приложение;  $L^*$  - броят на елементите в оптималния размерен ред  $Z^* = \{z^{*l_1}, z^{*l_2}, \Lambda, z^{*l_j}, \Lambda, z^{*l_L}\}$ ,  $j = 1 \div L^*$ ,  $L^* \leq \bar{L}$ ;  $\Phi_{\bar{L} \times \bar{L}} = \|\varphi_m^p\|_{\bar{L} \times \bar{L}}$  - матрица на приложимост, чиито елементи дават информация за възможните допустими области на употреба на изделията от изходния размерен ред  $\bar{Z} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_L\}$  за удовлетворяване на отделните видове потребности  $\bar{N} = \{\bar{N}^1, \bar{N}^2, \dots, \bar{N}^{\bar{L}}\}$ , където  $\varphi_m^p = 1$ , ако изделие от  $m$ -я тип,  $m = 1 \div \bar{L}$ , може да удовлетвори потребностите  $\bar{N}^p$  от изделие  $\bar{x}_p$ ,  $p = 1 \div \bar{L}$ , и  $\varphi_m^p = 0$  - в противен случай;  $N^{l_j}(\varphi_m^p, N^p)$  - потребностите от изделие  $x_{l_j}$ , елемент на текущия анализиран ред  $Z = \{x_{l_1}, x_{l_2}, \dots, x_{l_j}, \dots, x_{l_L}\}$ , чийто индекс  $l_j$  съответства на индекса  $m$  на изделието  $\bar{x}_m \in \bar{Z}$ , елемент на изходния размерен ред, като  $x_{l_j} = \bar{x}_m$ , където  $N^{l_j}(\varphi_m^p, N^p) = \sum_{p=l_j-1}^{l_j} \varphi_{l_j}^p \cdot N^p$ ;  $N_0$  - производствената програма на всички елементи на размерния ред.

Условие (2) означава, че всички анализирани редове, включително оптималния, трябва да удовлетворяват всички потребности по отношение на количеството, условие (3) означава, че във всеки размерен ред, включително оптималния, трябва да е включен елементът от изходния ред с максимални стойности на основния си параметър  $\bar{x}_L$ , а условие (4), че елементите на всички редове се избират от множеството на елементите на изходния ред, определен след проучване на търсенето.

Множеството от потребности  $\bar{N} = \{\bar{N}^1, \bar{N}^2, \dots, \bar{N}^l, \dots, \bar{N}^{\bar{L}}\}$ ,  $l = 1 \div \bar{L}$ , се задава таблично. Стойностите на елементите на матрицата на приложимост са определени от експерти, включени в екипа разработващ новото изделие.



### 3. Избор на математически метод за решаване

Формулираната задача за избор на оптимален размерен ред принадлежи към класа задачи на дискретното програмиране. По своя характер тя се отнася към задачите за разпределение, но се различава от тях с наличието на променлив брой и нефиксирани стойности на аргументите, което усложнява нейното решение. Освен това задачата се характеризира с голям брой на възможните размерни редове, които трябва да се анализират [2,12].

Този брой без отчитане на допустимите области на приложимост на разглежданите изделия се определя от зависимостта  $\sum_{k=1}^{\bar{L}-1} C_{\bar{L}-1}^k = 2^{\bar{L}-1} - 1$ , където  $k$  е броят на елементите в реда, образуван от елементи на изходния размерен ред с  $\bar{L}$  елемента [1]. При  $\bar{L} = 40$  е необходимо да се разгледат  $2^{39} - 1 = 5,4975581 \cdot 10^{11}$  различни реда. Това води до значителни по обем изчислителни процедури и налага използването на метод за насочено търсене на оптималното решение.

Освен това използваният метод трябва да позволява да се вземат под внимание допустимите области (диапазони) на приложимост на всяко изделие от размерния ред. Това води до намаляване на броя на анализирания варианти, но усложнява решаването на задачата.

Един от ефективните методи за решаване на този клас задачи е методът на динамичното програмиране [2,3]. Методът се основава на принципа за оптималност на американския математик Р. Белман, който гласи: *“оптималната стратегия притежава свойството, че каквото и да е първоначалното състояние на разглежданата система и решението на първия етап, следващите решения (решенията на отделните етапи) трябва да съставят оптимална стратегия относно състоянието, получено в резултат на първото решение”*.

На базата на този принцип са получени следните рекурентни зависимости за определяне на сумарните разходи:

- при  $l = 1, m = l \div \bar{L}$ ,

$$R_m^l = \frac{1}{\prod_{p=1}^m \varphi_p^m} \{TS(\bar{x}_m) \sum_{p=1}^m N^p \left(\frac{N_{TS}}{\sum_{p=1}^m N^p}\right)^{v_l} + TP(\bar{x}_m) \sum_{p=1}^m N^p\}, \quad (5)$$

- при  $l = 2 \div \bar{L}, m = l \div \bar{L}, m' = (l-1) \div (m-1)$ ,

$$R_m^l = \min [R_{m'}^{l-1} + \frac{1}{\prod_{p=m'+1}^m \varphi_p^m} \{TS(\bar{x}_m) \sum_{p=m'+1}^m N^p \left(\frac{N_{TS}}{\sum_{p=m'+1}^m N^p}\right)^{v_l} + TP(\bar{x}_m) \sum_{p=m'+1}^m N^p\}], \quad (6)$$

където  $R_m^l$  са минималните сумарни разходи за удовлетворяване на потребностите от изделия със стойност на главния параметър  $\bar{x}_m$  с  $l$  на брой типоразмера.

Тъй като целевата функция е непрекъсната изпъкнала функция и има един глобален минимум пресмятането на  $R_m^l, l = 1 \div \bar{L}$ , продължава, докато бъде изпълнено условието:

$$R_{\bar{L}}^l \leq R_{\bar{L}}^{l+1} \quad (7)$$

### 4. Алгоритмично и програмно осигуряване

На основата на предложените рекурентни зависимости (5), (6) и условие (7) е разработен алгоритъм за решаване на задачата. Той се състои от следните стъпки:



Стъпка 1. Въвеждане на входна информация:  $\bar{Z} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_l, \dots, \bar{x}_{\bar{L}}\}$ ,  $\bar{N} = \{\bar{N}^1, \bar{N}^2, \dots, \bar{N}^l, \dots, \bar{N}^{\bar{L}}\}$  и  $\Phi_{\bar{L} \times \bar{L}} = \|\phi_m^p\|_{\bar{L} \times \bar{L}}$ . Определят се следните матрици: на минималните разходи  $C_{\bar{L} \times \bar{L}} = \|c_m^p\|$ ,  $c_m^p = \infty$ , и на индексите на размерите, които участват в размерните редове с минимални разходи  $I_{\bar{L} \times \bar{L}} = \|i_m^p\|$ ,  $i_m^p = 0$ .

Стъпка 2. Полага се  $m = 1$ .

Стъпка 3. Изчислява се  $\psi = \prod_{p=1}^m \phi_p^m$ . Ако  $\psi \neq 0$  следва Стъпка 4, в противен случай следва Стъпка 5.

Стъпка 4. Изчислява се  $R_m^l = G(\bar{x}_m, \sum_{p=1}^m N^p)$ , след което  $c_m^l = R_m^l$ ,  $i_m^l = m$ , следва Стъпка 6.

Стъпка 5.  $c_m^l = \infty$ .

Стъпка 6.  $m = m + 1$ . Ако  $m > \bar{L}$  следва Стъпка 7, в противен случай следва Стъпка 3.

Стъпка 7.  $l = 2$ . Ако  $l > \bar{L}$  следва Стъпка 16, в противен случай следва Стъпка 8.

Стъпка 8.  $m = l$ .

Стъпка 9.  $m' = l - 1$ .

Стъпка 10. Изчислява се  $\psi = \prod_{p=m'+1}^m \phi_p^m$ . Ако  $\psi \neq 0$  следва Стъпка 11, в противен случай следва Стъпка 12.

Стъпка 11. Изчислява се  $R_m^l = c_{m'}^{l-1} + G(\bar{x}_m, \sum_{p=m'+1}^m N^p)$ . Ако  $c_m^l > R_m^l$ , то  $c_m^l = R_m^l$  и  $i_m^l = m'$ , след което следва Стъпка 13.

Стъпка 12.  $c_m^l = \infty$ .

Стъпка 13.  $m' = m' + 1$ . Ако  $m' > m - 1$  следва Стъпка 14, в противен случай следва Стъпка 10.

Стъпка 14.  $m = m + 1$ . Ако  $m > \bar{L}$  следва Стъпка 15, в противен случай следва Стъпка 9.

Стъпка 15.  $l = l + 1$ . Ако  $l > \bar{L}$  следва Стъпка 16, в противен случай следва Стъпка 8.

Стъпка 16. Полага се  $opt R = \infty$ ,  $L^* = 0$ ,  $l = 1$ .

Стъпка 17. Ако  $opt R > c_L^l$ , то  $opt R = c_L^l$  и  $L^* = l$ .

Стъпка 18.  $l = l + 1$ . Ако  $l > \bar{L}$  следва Стъпка 19, в противен случай следва Стъпка 17.

Стъпка 19. Оптималният размерен ред, имащ общи разходи  $opt R$ , е  $Z^* = \{x_{l_1}^*, x_{l_2}^*, \Lambda, x_{l_j}^*, \Lambda, x_{l_{L^*}}^*\}$ ,  $N^* = \{N^{*l_1}, N^{*l_2}, \Lambda, N^{*l_j}, \Lambda, N^{*l_{L^*}}\}$ ,  $l_j = i_{l_{j+1}}^{j+1}$ ,  $j = 1 \div L^* - 1$ ,  $l_{L^*} = \bar{L}$ . Край.

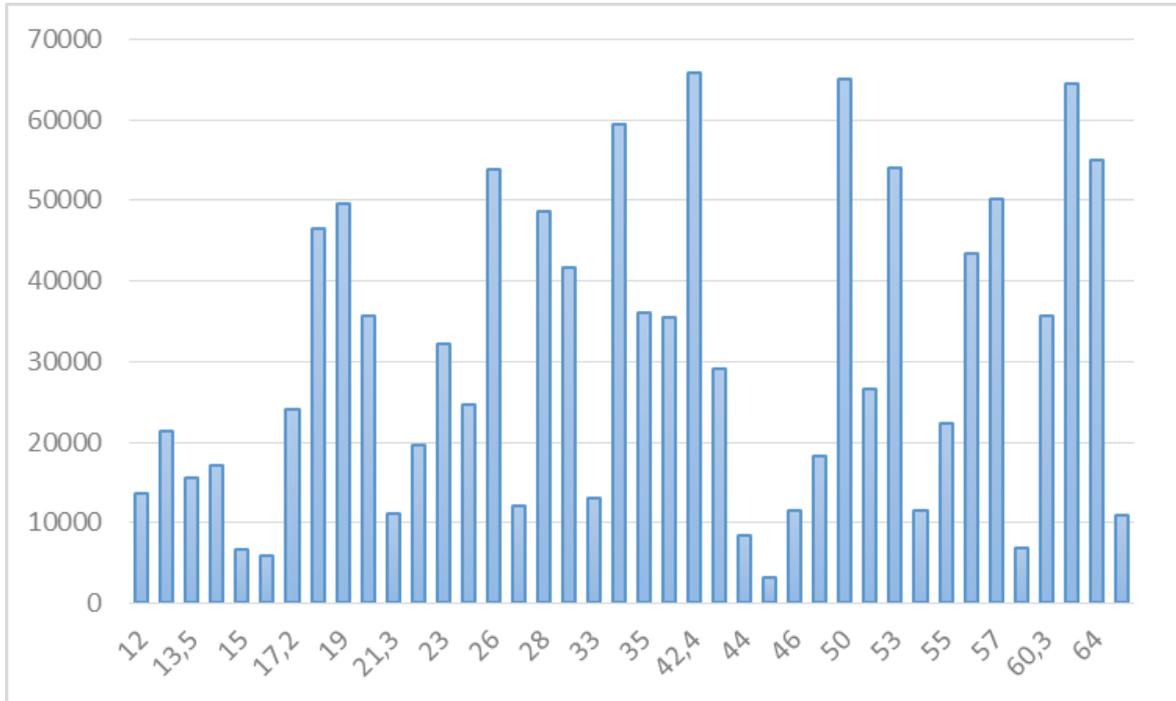
Разработена е програмна реализация на описания алгоритъм, която приема входната информация под формата на електронна таблица и представя полученото решение също в табличен вид. Програмната реализация е написана на Python 3.7.1 [11].

### 5. Приложение на разработения алгоритъм и програмна реализация

С помощта на разработения алгоритъм и приложен софтуер е решена задачата (1) – (4) за примерен размерен ред с потребности от изделия показани на Фиг. 1 и стойности на елементите на матрицата на приложимост показани на Фиг. 2.



Зависимостта между разходите за производство и основния параметър на изделието има вида  $TS(x_{ij}) = \sqrt{0,377 + 67,63 \cdot 10^{-6} x_{ij}}$ , зависимостта между разходите в сферата на потребление и основния параметър на изделието има вида  $TP(x_{ij}) = \frac{3,2}{2,457 - 0,015 x_{ij}}$ , а  $N_{TS} = 250\,000$  и  $v_I = 0,25$ .



Фиг. 1. Функция на потребностите

Резултатите са показани в Табл. 1, където:  $R^*$  са минималните (оптималните) сумарни разходи, лв.;  $L^*$  - броят елементи в оптималния размерен ред;  $R_L^{\bar{L}}$  - сумарните разходи за реда, включващ всички възможни типоразмери, т.е за изходния размерен ред, лв.

Таблица 1. Резултати от решаване на задачата.

Показатели	Оптимален размерен ред
$R^*$	3 090 556,91
$L^*$	8
$R_L^{\bar{L}}$	3 474 857,96
$(R_L^{\bar{L}} - R^*) / R^*$	12 %

В Табл. 3 са посочени данните за избрания оптимален размерен ред, който включва  $L^* = 8$  типоразмера.

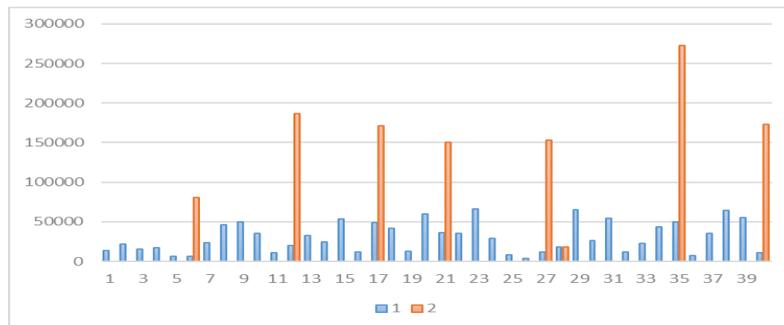
На Фиг. 3 са показани производствените програми на елементите от оптималния размерен ред и на елементите от изходния размерен ред, а на Фиг. 4 - кривата на сумарните разходи, определени в процеса на решаване на задачата.



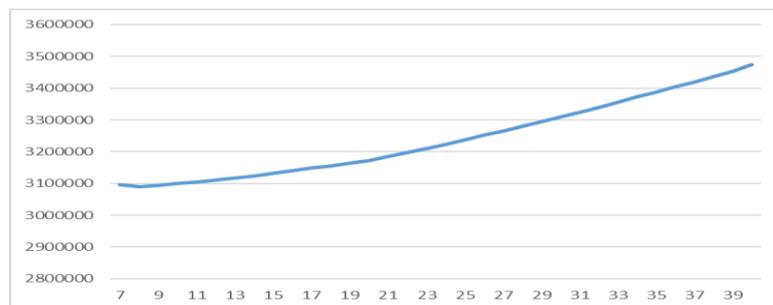


Таблица 3. Оптимален размерен ред

	Типоразмер $x_{l_j}^* \in X^*, j = 1 \div 9$	Типоразмер $\bar{x}_m \in \bar{X}, l \in \{1, \dots, \bar{L}\}$	Диапазон на приложимост
1	$x_{l_1}^*$	$\bar{x}_6 = 16$	12 - 16
2	$x_{l_2}^*$	$\bar{x}_{12} = 22$	17,2 - 22
3	$x_{l_3}^*$	$\bar{x}_{17} = 28$	23 - 28
4	$x_{l_4}^*$	$\bar{x}_{21} = 35$	28 - 35
5	$x_{l_5}^*$	$\bar{x}_{27} = 46$	40 - 46
6	$x_{l_6}^*$	$\bar{x}_{28} = 48,3$	42,4 - 48,3
7	$x_{l_7}^*$	$\bar{x}_{35} = 57$	50 - 57
8	$x_{l_8}^*$	$\bar{x}_{40} = 65$	58 - 65



Фиг. 3. Производствена програма на елементите от оптималния размерен ред, където  $1 - \bar{N} = \{\bar{N}^1, \bar{N}^2, \dots, \bar{N}^l, \dots, \bar{N}^{\bar{L}}\}$ ,  $2 - N^* = \{N^{*l_1}, N^{*l_2}, \Lambda, N^{*l_j}, \Lambda, N^{*l_8}\}$



Фиг. 4. Изменение на сумарните разходи

**Литература:**

1. Дашенко, А.И., А.П. Белоусов. Проектирование автоматических линий. Москва, Высшая школа, 1983
2. Малаков, И. Оптимизация на параметрични редове на технически изделия. В кн. Комплексна автоматизация на дискретното производство, Издателство на ТУ – София, София, 2015, с. 25÷48
3. Bellman, R. Dynamic Programming. Princeton Univ. Press, New York, 1957
4. Chakarski D., T. Vakarelska, R. Dimitrova, P. Tomov, St. Nikolov, Design of a specialized automated production machine for machining of openings based on innovative technology, Machine Building and Machine Science, Year 4, book 4 2009, pp 29-35, TU-Varna.



5. Dichev, D., F. Kogia, H. Nikolova, D. Diakov. A Mathematical Model of the Error of Measuring Instruments for Investigating the Dynamic Characteristics. Journal of Engineering Science and Technology Review. ISSN 1791 – 2377, Volume 11, Issue 6, 2018, pp. 14 -19
6. D'Souza, B., T.W. Simpson. A genetic algorithm based method for product family design optimization. Engineering Optimization, 2003, 35(1), pp.1–18
7. Du, X., J. Jiao, M.M. Tseng. Architecture of product family for mass customization. Proc. 2000 IEEE International Conf. Management of Innovation and Technology, Singapore, 2000, Vol. 1, pp. 437– 443
8. Kipp, T., D. Krause. Computer aided size range development – data mining vs. optimization, in: Proceedings of ICED 09, Vol. 4, Product and Systems Design, Palo Alto, 2009, pp. 179-190
9. Lotz, J. Beherrschung von Unsicherheit in der Baureihenentwicklung. Dissertation, Darmstadt, 2018
10. Lotz, J., T. Freund, J. Würtenberger, H. Kloberdanz. Principles to develop size ranges of products with ergonomic requirements, using a robust design approach. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 2015, pp.1250-1257
11. Lutz, M. Learning Python, 5th Edition, O'Reilly Media, 2013, ISBN: 978-1449355739
12. Malakov, I., V. Zaharinov, V. Tzenov. Size ranges optimization. Elsevier, Procedia Engineering, Volume 100, 2015, pp 791-800
13. Pahl, G., W. Beitz. Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 2007
14. Sand, J.C., P. Gu, G. Watson. Home: House of modular enhancement—A tool for modular product redesign. Concurrent Engineering: Research & Applications, 2002, 10(2), 153–164
15. Simpson, T. W. Product platform design and customization. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Cambridge University Press, 2004, 18, pp. 3–20
16. Todorov, G., L. Dimitrov, K. Kamberov. MEMS actuator designs characterization based on numerical analysis approach. International Conferences on Multi-Material Micro Manufacture, 4M/International Conferences on Micro Manufacturing, 2009, ICOMM, pp. 341-345

### ALGORITHM AND SOFTWARE FOR CHOOSING AN OPTIMAL SIZE RANGE

**V. Zaharinov, I. Malakov**

**Abstract:** *The paper presents an algorithm and a software for the choosing of an optimal size range. The developed algorithm and software solve single parameter problems for choosing an optimal size range taking into account the applicability range of the size range's elements. To that end, a mathematical model of the problem is built, and a mathematical method for solving the problem is chosen. With the aid of the developed algorithm and software a test problem is solved.*

#### **Данни за авторите:**

Иво Кръстев Малаков, проф. д-р инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 02 965 37 00, e-mail: ikm@tu-sofia.bg

Велизар Велизаров Захаринов, гл. ас. д-р инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 02 965 27 63, vzaharinov@tu-sofia.bg



# СРАВНИТЕЛЕН НАДЕЖДНОСТЕН АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОННА И ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЧАСТИ НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ

В. Бояджиев

**Резюме:** В настоящия доклад са анализирани възможностите за сравнение от гледна точка на експлоатационната надеждност на резултатите от модернизация на две различни части на сложен технически обект. По-конкретно, извършен е сравнителен надеждностен анализ на резултатите от модернизация на електронната и електрическата части на типичен сложен технически обект – стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление.

**Ключови думи:** надеждност, сравнение, електронна част, електрическа част, сложен технически обект.

## 1. Увод

Модернизацията на морално и/или физически остаряло технологично оборудване може да бъде реализирана както в различен обем по отношение на дадена структурна част на сложния технически обект, така и спрямо различни структурни части. При изграждането на стратегията за бъдещата модернизация е полезно да се има пред вид кой от възможните варианти за модернизация е по-целесъобразен и кой – по-малко целесъобразен спрямо предварително избрани критерии.

В настоящето изследване са разгледани резултатите от модернизация на електронната и електрическата част на сложен технически обект. Като критерий за оценка на целесъобразността на модернизацията е разгледано състоянието на експлоатационната надеждност и работната ефективност на изследваните обекти.

Целта на изследването е въз основа на сравнителен анализ състоянието на експлоатационната надеждност и работната ефективност преди и след провеждане на модернизацията на електронната част и електрическата част на обектите да бъде оценена целесъобразността на тези два конкретни варианта за проведена модернизация с оглед на избор на вариант за провеждане на бъдеща модернизация.

## 2. Основни методични акценти

Преобладаващата част на сравнителните надеждностни изследвания се отнасят за един обект, като се разглеждат различни аспекти на формиране на надеждността му. Например сравняват се методи за изпитване на надеждност (в случая – на нанокерамичен кондензатор) [1], сравнява се надеждността на един обект (транзистор), произведен по две различни технологии [2], сравнение на модели за оценка на надеждността на един обект (софтуер) [3]. Някои от сравнителните надеждностни изследвания се отнасят за конкретен фактор (в случая – корозия), влияещ на надеждността на обектите [4]. За нас представлява интерес по-различен вид сравнително надеждностно изследване – отнасящо се до различни съставни части на сложна техническа система с отчитане на значителното разнообразие на физиката на отказите в тези съставни части.

Обект на изследването са два типични сложни технически обекта – две стругови металорежещи машини с цифрово-програмно управление (ЦПУ) от един модел, родно производство, малък типоразмер.



На едната машина е извършена модернизация на електронната ѝ част, а на другата машина – на електрическата ѝ част. Въз основа на натрупана статистическа информация за възникващите в условията на реална експлоатация откази преди извършване на модернизацията и след нея за всяка от двете машини са получени числените стойности на набор показатели експлоатационна надеждност и работна ефективност. Въз основа на сравнителен анализ на така получените стойности на надеждностните показатели се формират изводи относно целесъобразността на разглежданите варианти за модернизация.

Набирането на статистическата информация за възникващите експлоатационни откази е извършено по метода на наблюдаваната експлоатация – в реални експлоатационни условия се регистрират отказите от упълномощен и инструктиран персонал в предварително подготвени форми. Събраната статистическа информация за възникващите откази обхваща периоди както преди, така и след проведената модернизация на двете машини. Всеки от периодите преди и след модернизацията е около 1200 – 1500 работни часа.

С оглед постигането на поставената цел е формиран за изследване набор от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност. Този набор е съставен от:

- средна отработка между отказите -  $\bar{T}$ , часа;
  - средно време за възстановяване на работоспособността -  $\bar{T}_B$ , часа;
  - средно време за престои поради откази -  $\bar{T}_{\text{пр.о}}$ , часа;
  - коефициент на използване по предназначение
- $$K_{\text{и.пр}} = \text{СВР}/\text{ФРВ}$$

където:

- СВР е сумарното време за работа, часа;
- ФРВ – плановият фонд работно време, часа;
- коефициент на организационно-техническа готовност

$$K_{\text{отг}} = \bar{T} / (\bar{T} + \bar{T}_{\text{пр.о}})$$

където:

$\bar{T}_{\text{пр.о}}$ , часа - средно време за престои поради откази.

За отчитане на ефекта от модернизацията се определя и подобрението на всеки от показателите по формулата

$$\frac{|X_{\text{преди}} - X_{\text{след}}|}{X_{\text{преди}}} \cdot 100\%$$

където:

$X_{\text{преди}}$  – стойността на съответния показател преди модернизацията,

$X_{\text{след}}$  – стойността на същия показател след модернизацията.

При наличие на влошаване на стойността на даден показател след модернизацията, резултатът от пресмятането на горната формула се взема със знак „-”.

Въз основа на натрупаната статистическа информация за експлоатационните откази са определени числените стойности на тези показатели. Тези числени стойности са определени за всяка машина преди и след модернизацията.

### 3. Получени резултати и техния анализ

Условно струговата металорежеща машина с ЦПУ с модернизирана електронна част е означена като „машина А”, а машината с модернизирана електрическа част – „машина Б”.

В таблица 1 са посочени числените стойности на показателите преди и след модернизацията за машина А.



Табл. 1. Числени стойности на набора надеждности показатели за машина А преди и след модернизацията

	$\bar{T}$ , часа	$\bar{T}_B$ , часа	$\bar{T}_{ПР.О}$ , часа	$K_{И.ПР}$	$K_{ОПГ}$
Преди модернизацията	87,3	4,7	17,4	0,84	0,83
След модернизацията	124,2	4,2	12,1	0,87	0,92
Подобрение, %	42	11	30	4	11

В таблица 2 са посочени числените стойности на показателите преди и след модернизацията за машина Б.

По отношение на експлоатационната надеждност и работната ефективност ефектът от проведената модернизация е различен за всяка от двете машини. Но при сравняването на тези резултати е целесъобразно да бъде отчетено какви ресурси са подадени на входа на процеса на модернизация за всяка от двете машини и на тази база да бъдат оценявани резултатите, получени на изхода на този процес.

Табл. 2. Числени стойности на набора надеждности показатели за машина Б преди и след модернизацията

	$\bar{T}$ , часа	$\bar{T}_B$ , часа	$\bar{T}_{ПР.О}$ , часа	$K_{И.ПР}$	$K_{ОПГ}$
Преди модернизацията	61,3	5,1	21,6	0,81	0,74
След модернизацията	102,8	3,2	11,7	0,85	0,90
Подобрение, %	68	37	46	5	22

Като мащабен коефициент се предлага съотношението между стойностите в дименсия [лева] на модернизацията на машина А спрямо същата на машина Б. С този коефициент, който в конкретния случай е 1/1,4; се умножава числената стойност на подобрението, получено за машина Б и след това тези коригирани стойности се сравняват със съответните стойности за машина А. Така получените числени стойности на подобрението на отделните показатели са показани в таблица 3.

Табл.3. Числени стойности на подобрението на двете машини

	$\bar{T}$ , часа	$\bar{T}_B$ , часа	$\bar{T}_{ПР.О}$ , часа	$K_{И.ПР}$	$K_{ОПГ}$
Подобрение на машина А, %	42	11	30	4	11
Подобрение на машина Б, %	68	37	46	5	22
Коригирано подобрение на машина Б, %	49	26	33	3,5	16

Така получените числени стойности дават възможност да бъдат отчетени следните резултати:



1) По отношение на показателя „средна отработка между отказите” подобрението при машина Б (с модернизирана електрическа част) е значително по-добро от подобрението при машина А (с модернизирана електронна част). Но това е от техническа гледна точка. Ако се вземе пред вид съотношението между вложените средства за модернизация на всяка от двете машини, разликата между двете числени стойности за всяка от машините вече не е толкова голяма. Все пак подобрението при машина Б е по-голямо, но само количествено, а не – качествено (таблица 3);

2) При двата показателя, характеризиращи възстановителните процеси – „средно време за възстановяване” и „средно време за престои поради откази” също имаме по-голямо подобрение при машина Б. Какво се получава, ако вземем пред вид съотношението на вложените средства за двете модернизации? Както и при предишния показател „средна отработка между отказите”, така и при показателя „средно време за престои поради откази” разликата е сравнително неголяма. Но при показателя „средно време за възстановяване” разликата между подобренията за двете машини остава значителна. Тук може да се направи категоричен извод, че модернизацията на електронната част е препоръчителна пред модернизацията на електрическата част по отношение на показателя „средно време за възстановяване”. Анализът на физиката на отказите показва причината за това: При електронната част има значителна част от отказите, които се отстраняват чрез рестартиране на системата. Следствието от това е, че числената стойност на показателя „средно време за възстановяване” се влияе по-силно от този вид откази спрямо числената стойност на показателя „средно време за престои поради откази”;

3) При комплексните показатели „коэффициент на използване по предназначение” и „коэффициент на организационно-техническа готовност” формално подобрението при машина Б е по-голямо. Но когато се вземе пред вид съотношението между себестойността на двете модернизации вече имаме различни картини при двата показателя. Докато при „коэффициента на организационно-техническа готовност” подобрението при машина Б остава по-голямо, при показателя „коэффициент на използване по предназначение” подобрението при машина Б вече е по-малко от подобрението при машина А. Тук крайна препоръка за избор на вариант за модернизация не може да се даде само въз основа на числените стойности на двата показателя. Необходимо е въз основа на тези числени стойности да се направят икономически оценки, въз основа на които да се даде препоръка за избор;

4) В обобщение можем да направим заключението, че общо взето от гледна точка на експлоатационната надеждност по-добрият вариант на модернизация е този на машина Б. Т.е. по отношение на експлоатационната надеждност препоръчителен е вариантът за модернизация на електрическата част пред варианта за модернизация на електронната част. Дори при отчитането на съотношението между себестойността на двата варианта за модернизация при машина Б се получават по-добри резултати. Но в заключение можем да направим два извода:

- при вземане под внимание на себестойността на двата варианта за модернизация разликата между тях в общ план не е качествена, а е в сравнително неголяма степен;

- крайният избор на вариант измежду двата разгледани следва да бъде направен след оценка на икономическия ефект на всеки от тях.

#### 4. Изводи:

- За всяка от двете изследвани машини са определени числените стойности на набор от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност за всеки от двата варианта за модернизация преди и след проведените модернизации. Определено е подобрението при всеки от показателите при двете машини, включително и при отчитане на съотношението на стойностите на двете модернизации;



- Предложена е методика за сравнителна оценка на модернизациите на електронната и електрическата части на сложен технически обект;
- Получените числени стойности на изследваните показатели дават възможност за извършване на икономическа оценка за окончателен избор на вариант за модернизация.

### Литература:

1. С. Kalaiselvan, L. Bhaskara Rao; Comparison of reliability techniques of parametric and non-parametric method; Engineering Science and Technology, an International Journal; Volume 19, Issue 2, June 2016, Pages 691-699, Elsevier Ltd.
2. Donald A.Gajewski, Satyaki Ganguly, Scott Sheppard, Simon Wood, Jeff B. Barner, Jim Milligan, John Palmour; Reliability comparison of 28 V–50 V GaN-on-SiC S-band and X-band technologies; Microelectronics Reliability, Volume 84, May 2018, Pages 1-6, Elsevier Ltd.
3. Marian Pompiliu Cristescu, Eduard Alexandru Stoica, Laurențiu Vasile Ciovică; The Comparison of Software Reliability Assessment Models; Procedia Economics and Finance, Volume 27, 2015, Pages 669-675, Elsevier Ltd.
4. Siavash Sajedi, Qindan Huang; Reliability-based life-cycle-cost comparison of different corrosion management strategies; Engineering Structures, Volume 186, 2019, Pages 52-63, Elsevier Ltd.

### COMPARATIVE RELIABLE ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE MODERNIZATION OF ELECTRONIC AND ELECTRICAL PARTS OF A COMPLEX TECHNICAL OBJECT

V. Boyadzhiev

***Abstract:** This report analyzes the opportunities from the point of view of operational reliability of the results of modernization of two different parts of a complex technical object. In particular, a comparative reliable analysis was performed of the results of modernization of the electronic and electrical parts of a typical complex technical object - lathe machine tools with CNC.*

### Данни за автора:

Владимир Илиев Бояджиев, главен асистент доктор инж., катедра „Механика” при факултет „Техника и строителни технологии в транспорта”, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, Р. България, 1574 София, ул. ”Гео Милев”, №158; тел.: 0889756075, e-mail: v.boyadjiev@abv.bg



# ОТНОСНО ИЗЧИСЛЯВАНЕТО И ВЪЗСТАНОВЯВАНЕТО НА НАДЕЖНОСТТА НА МАЛОГАБАРИТНИ БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ

К. Камбушев

*Резюме:* В настоящия доклад е разгледано приложението и особеностите в изчисляването на надеждността на малогабаритни безпилотни летателни апарати. Изчислена е надеждността на два безчеткови постояннотокови електродвигателя с мощност 200W и 250W. Направени са изводи относно възстановяване на надеждността на такъв електродвигател и на цял МБЛА.

**Ключови думи:** надеждност, безчетков двигател, постояннотоков двигател, МБЛА.

## 1. Въведение

Малогабаритните безпилотни летателни апарати (МБЛА) придобиват все по-голямо приложение. С усъвършенстването на технологиите те се използват успешно както за граждански така и за военни цели. Тяхното голямо предимство е ниската цена, съчетана с голяма мобилност и възможност за извършване на задачи в труднодостъпни места. С помощта на МБЛА се извършват спасителни операции по търсене на пострадали в бедстващи райони, правят се огледи на засегнати от бедствия и аварии терени, следи се пътния трафик и наличието на задръствания и катастрофи по натоварени пътища и магистрали, използват се за наблюдение и охрана на обекти с голяма площ, изпълняват различни военни операции – от разузнаване до нанасяне на удар по набелязана цел, а също така те са идеални летящи лаборатории за извършване на различни опити и експерименти[1].

Съвременните БЛА представляват сложен комплекс от сензори за получаване на информация [4], системи за автоматично управление [3] и силова установка, събрани в съответната аеродинамична схема. За да може да се изпълняват поставените задачи всички елементи на МБЛА трябва да притежават висока надеждност.

Съществуват международни стандарти [6, 7], с които надеждността на дадено изделие може да се изчисли още при неговото проектиране и изработване. В един БЛА може да се намери надеждността на всеки един елемент. Особеното е, че върху основните елементи на един малък безпилотен летателен апарат - конструкция, блок за управление, приемно-предавателния блок, контролери за управление на двигателите и самите двигатели – само по двигателите може да се изпълняват процедури с цел възстановяване и повишаване на надеждността в периода на експлоатация. На всички останали елементи надеждността е заложена още при тяхното проектиране.

За МБЛА най-често се използват безчеткови постояннотокови двигатели, поради многото им предимства като: високо КПД, липса на искрене (поради липсата на четки), широк диапазон за регулиране на оборотите и др.

В настоящия доклад ще бъде разгледано изчисляването на надеждността на малки безчеткови постояннотокови двигатели.

## 2. Теоретични основи при изчисляването на надеждността на малки безчеткови постояннотокови двигатели

Под надеждност на електродвигател се разбира свойството на обекта да изпълнява зададените функции, запазвайки за определен период от време стойностите на установените



експлоатационни показатели в зададени граници, съответстващи на зададени режими и условия на използване, техническо обслужване, ремонти, съхранение и обслужване.

Функцията на надеждността  $P(t)$ , изразяваща вероятността, че случайната наработка на електродвигателя до отказ  $\tau$  ще бъде не по-малка от зададената наработка  $(0,t)$ , при интензивност на отказите  $\lambda(t)=\text{const}$  се изчислява по [2]:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Плътността на разпределение на наработката до отказ при  $t > 0$  се определя по формулата:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Вероятността за безотказна работа на малък безчетков електродвигател се изчислява чрез следната зависимост:

$$P(t) = P_{\text{л}}(t)P_{\text{н}}(t) \quad (3)$$

Където  $P_{\text{л}}$  е вероятността за безотказна работа на лагерите, а  $P_{\text{н}}$  е вероятността за безотказна работа на намотките.

При нормални работни условия (температура, обороти, натоварване и вибрации) лагерът монтиран в малък безчетков електродвигател трябва да работи средно 77 000 h или МТФВ (времето на работа до достигане на първи отказ) =  $77\,000 / (365 \times 24) = 8,8$  години. Вероятността за отказ е  $\lambda = 1/77\,000 = 1,3 \times 10^{-5}$  1/h [4, 5, 6].

Вероятността за безотказна работа на намотките се определя по (1), като  $\lambda = \lambda_{\text{н}}$ . За се да намери интензивността на отказите  $\lambda_{\text{н}}$  на намотките на котвата, средното време на очакването е:

$$t' = T'_{\text{н}} \exp [-\alpha_t (\vartheta - \vartheta_{\text{max}})] \quad (4)$$

което по принцип зависи от времето на експлоатация на намотката. В уравнение (4)  $\alpha_t$  е температурният коефициент на зависещ от времето на експлоатация,  $\vartheta$  е температурата на намотката при работа и  $T'_{\text{н}}$  е математическото очакване за работа на намотката при допустимата температура  $\vartheta_{\text{max}}$  за даден клас изолация и относителна влажност от 40 до 60%. Колкото по-висока е работната температура за дадения клас изолация, толкова по-дълго е времето  $T'_{\text{н}}$  (таблица 1).

Табл.1. Класове на изолация

Клас на изолация	У	А	Е	В	Ф	Н	С
$\vartheta_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	90	105	120	130	155	180	> 180
$\alpha_t, 1/^\circ\text{C}$	0.057	0.032	-	0.073	0.078	0.085	0.055

Интензивността на откази на намотката е функция на  $T'_{\text{н}}$ :

$$\lambda'_{\text{н}} = \lambda_{\text{нТ}} \exp [\alpha_t (\vartheta - \vartheta_{\text{max}})] \quad (5)$$

където  $\lambda_{\text{нТ}} = 1/T'_{\text{н}}$  е интензивността на откази на намотката при допустима температура  $\vartheta_{\text{max}}$  и относителна влажност от 40 до 60%.



Също така са възможни откази и от повредени спойки – поради счупване или стареене [5, 6].

$$\lambda''_n = \lambda'_n + m_{сп} \lambda_{сп} \quad (6)$$

където  $\lambda_{сп}$  е интензивността на откази на спойката, а  $m_{сп}$  броя на спойките.

Надеждността на намотката зависи до голяма степен от работните условия. Влиянието на външни фактори като влага, претоварване, вибрации и удари се вземат предвид като коефициент на експлоатационни условия  $\gamma_n$ .

Интензивността на отказите на намотката, отчитайки и работните условия придобива вида:

$$\lambda_n = \gamma_n \lambda''_n \quad (7)$$

### 3. Изчисляване на надеждността на безчеткови постояннотокови двигатели с малка мощност

На фигура 1 в ляво е показан ротора на безчетков постояннотоков двигател с мощност 200W, а в дясно с мощност 250W. На фигура 2 са показани статорите на същите двигатели.



Фиг.1 Ротор на безчетков постояннотоков двигател



Фиг. 2 Статор на безчетков постояннотоков двигател

Максималния консумиран ток на безчеткови електродвигатели с такава мощност е в границите от 15 до 27А, в зависимост от захранващото напрежение.

Вероятността за безотказна работа на първия двигател (с мощност 200W) изчислена по (1) и (7) за период на експлоатация 5000ч е  $P(t)=0.9467$ , а за втория  $P(t)=0.9415$ .

### 3. Изводи:

От направените изчисления и анализи може да се направи извода, че надеждността на МБЛА е много висока и може да се повишава в процеса на експлоатация чрез извършване на своевременна профилактика на електродвигателите. Надеждността на самите електродвигатели зависи главно от вибрациите и механичните натоварвания върху лагерите, тъй като при правилно подбран двигател за съответния МБЛА при правилна експлоатация той няма да бъде претоварен електрически. Върху надеждността на останалите компоненти на МБЛА не може да се влияе в процеса на експлоатация.

### Литература:

1. Димитров, Д., Пенев, П. Система за въздушно наблюдение с използването на дистанционно пилотируем летателен апарат. Сборник от доклади на Юбилейна научна конференция „100 години авиационно образование в България” – Факултет „Авиационен”, ИК - НВУ „В. Левски”, 2014, ISBN 978-954-713-216-8
2. Йонков Х.Б., Валянов Д.Б. Техническа експлоатация на авиационното оборудване – надеждност, контрол и организация. ВВВУ “Георги Бенковски”, Долна Митрополия, 2000г, ISBN 954-713-041-2.
3. Kambushev M., Biliderov S. Defining the control law for yaw mechanism control of a tricopter. TRANS’15 MOTAUTO, Varna, p. 20-23, BULGARIA, 2015, ISSN: 1310-3946.
4. Маринов А., Йорданов Г. Сензори за отчитане на параметрите на полета. Годишна международна научна конференция на факултет „Авиационен“, НВУ „В. Левски”- Долна Митрополия, 2019, ISSN 978-954-713-123-1, стр 69-75.



5. Gieras, Jacek F. Permanent magnet motor technology : design and applications 3rd ed. Taylor and Francis Group, 2010, ISBN 978-1-4200-6440-7.
1. 6. MIL HDBK – 217F – Reliability Prediction of Electronic system, USA .
6. NSWC-10, Handbook of Reliability Procedures for Mechanical Equipment, Carderockdiv, January 2010.

**SIMULATION MODELING OF AUTOMATION COMPLEXES IN DISCRETE  
PRODUCTION ENGINEERING**

**K. Kambushev**

***Abstract:** This report examined the application and specialities in calculating the reliability of micro air vehicle (MAV). The reliability of two brushless 200W and 250W DC motors has been calculated. Conclusions have been made about restoring the reliability of such an electric motor and MAV.*

**Данни за автора:**

Кирил Миленов Камбушев, доктор инж., катедра „Електротехника, Автоматика и Информационни Технологии” при факултет „Авиационен” гр. Долна Митрополия, НВУ „Васил Левски”, e-mail: k\_kambushev@mail.bg



# НОРМАТИВНА БАЗА ЗА ТЕХНИЧЕСКИ КОНТРОЛ И НАДЗОР НА СЪДОВЕ ПОД НАЛЯГАНЕ

Б. Илиева, А. Дишкелов

***Резюме:** Съоръженията под налягане заемат важно място в приложното поле на съоръжения с повишена опасност. Поради спецификата на своите параметри и работна среда, всяка техническа неизправност или неправилна употреба може да причини промишлени и граждански инциденти с големи щети за хора и околна среда. Настоящият доклад разглежда тематиката за нормативното осигуряване, с оглед обезпечаване безопасността и улесняване работата на заинтересованите страни в промишления сектор на съоръженията под налягане.*

**Ключови думи:** съоръжения под налягане, норми за безопасност, контрол, технически надзор.

## 1. Въведение

Европейското техническо законодателство (ЕТЗ) за хармонизация се отнася до продукти, които са предназначени за пускане на пазара и/или въвеждане в експлоатация на Единния Европейски Пазар (ЕЕП). Продуктите обхванати от ЕТЗ за хармонизация са съоръжения, апарати устройства, приспособления, инструменти, прибори, принадлежности, системи. Едни от тях са съоръженията под налягане. Те са широко използвани в различни сектори на промишлеността. При употребата им могат да се проявят редица рисковете, за ползватели и за околна среда. Те трябва да бъдат предотвратени чрез определяне и прилагане на съществените изисквания за безопасност, които имат за цел постигането на високо ниво на защита на обществените интереси. Съществените изисквания произтичат от определени опасности свързани с продукта или се отнасят до негови експлоатационни характеристики и трябва да се определят за всеки случай поотделно. Рисковете свързани с повишеното налягане, при което работят съоръженията под налягане, се покриват от специализираните за сектора директиви. По отношение на други рискове свързани с употребата им по предназначение, могат да бъдат приложени и други директиви и регламенти. Това означава, че не само за съоръженията под налягане, но и за всеки един продукт могат да бъдат приложени едновременно няколко акта на Съюза за хармонизация, за да бъдат защитени всички обществени интереси. Обемът на използваната документация е много голям и налага участието на екип от специалисти. Решаването на проблемите за експертното осигуряване на европейските норми за безопасност е навременна и необходима задача, както за нашата страна, така и за целия Европейски съюз. За целта е необходимо да се направи анализ на законодателството, да се определят продуктите по групи, да се систематизират съществените изисквания и приложимите към тях стандарти. Всичко това ще помогне за създаване на методика, по която да бъде съставен модел за формализирано описание на нормите за безопасност за съоръженията под налягане и ще улесни осъществяването на контрола при тяхната експлоатация.

## 2. Анализ на законодателството

В Директива 2014/68/ЕС за хармонизиране на законодателството на държавите-членки за предоставяне на пазара на съоръжения под налягане са определени пет вида съоръжения под налягане – съдове, тръбопроводи, устройства за безопасност, устройства под налягане и функционални групи. Те са разделени на четири категории във възходяща степен на опасност, като за тази цел работните флуиди са разделени на две групи - такива, които



проявяват опасни свойства и такива, които не проявяват. Опасните свойства са определени съгласно Регламент 1272/2008 относно класифицирането, етикирането и опаковането на вещества и смеси (CLP). Категорията се определя от произведението на максималното допустимо налягане (PS) с обема (V) на съда или номиналният диаметър (DN), ако става въпрос за тръба, и групата на флуида, за която са предназначени. Когато едно съоръжение има две или повече камери, категорията се определя според камерата, която е от най-висока категория. Когато в една камера се съдържат различни флуиди, категорията ѝ се определя според флуида, изискващ най-висока категория. Съществените изисквания се отнасят най-общо до: общи изисквания, проектиране, производство и материали. Има и специфични изисквания, като – коефициент на якост, устройства за ограничаване на налягането, хидростатично изпитване, характеристики на материала. За всяка група флуиди са определени техническите изисквания, на които трябва да отговарят съответните съоръжения. Те трябва да се проектират, така че да се вземат под внимание всички натоварвания, в зависимост от тяхното предназначение и предвидимите условия на експлоатация. Обръща се внимание най-малко на следните фактори: външно и вътрешно налягане на флуида, максимална работна температура, маса на съоръжението и на флуида вътре в него, корозия, умора на материала и много други. При проектирането трябва да се вземат предвид всички натоварвания, като се отчита условието, че могат да се проявят едновременно. Необходимата якост се определя по изчислителни методи, които са дадени в съответните стандарти. Определени са коефициенти на якост, които при спазване, дават гаранция за безопасност и недопускане на аварии при експлоатация по предназначение и при спазване инструкциите на производителя. Определянето на съществените изисквания и прилагането на хармонизирани стандарти не е достатъчно, за да бъде съоръжението безопасно. Освен това прилагането на хармонизирани стандарти не е задължително. Законодателството на Съюза за хармонизация дава възможност да се използват международни, национални, фирмени стандарти или други технически документи. Работата на нотифицираните органи е да удостовери дали и доколко са спазени всички изисквания, като проведе съответните процедури по оценяване на съответствието. За съоръженията под налягане се допуска и оценяване на съответствието от „инспекторат на ползвателите“, когато съоръжението ще се използва на място ръководено от група, част, от която е споменатият „инспекторат“. В този случай маркировка „СЕ“, не се поставя. Модулите, по които се изпълняват процедурите са съответно от най-простия (модул А) за най-ниската категория на опасност (I категория) към най-сложните за IV категория. Използването на хармонизирани стандарти дава презумпция за съответствие със съществените изисквания за безопасност [1]. За тази директива има около двеста хармонизирани стандарта – за продукти, за материали и за процеси, и пет европейски одобрения на материалите, публикувани в Официалния журнал на Европейския Съюз.

Стандартите могат да бъдат:

1. С един номер и поредни „части“, като всяка част се отнася до различен вид продукт от дадената група продукти, напр. стандарти от „серията“ БДС EN 1092 са за „фланци и техните съединения“, като различните части се отнасят до фланци направени от различни материали – медни сплави, стомана, алуминиеви сплави. Стандартите от една „серия“ могат да се отнасят и до един продукт, като различните части са за различни елементи на този продукт, напр. стандарти от „серията“ БДС EN 12952 се отнасят до различни аспекти и елементи на водотръбните котли и спомагателните им инсталации, напр. проектиране и изчисление на частите, изисквания за горивните системи, проверка и документация, изисквания за предпазните устройства и др. Може различните части на стандарта да се отнасят до различните етапи от реализацията на продукта – проектиране, материали, производство, проверка, напр. „серията“ БДС EN 13445 за ненагривани съдове под налягане;
2. Единичен стандарт, който се отнася до конкретен продукт или процедура, напр. БДС EN 19 е за „промишлена арматура“, БДС EN 13134 е за „Спояване с твърд припой. Изпитване



за одобряване на процедура“, БДС EN 13923 – „Намотъчно формувани съдове под налягане. Материали, конструиране, производство и изпитване“, и др.

Според определенията в директивата за съоръжения под налягане, в списъка с хармонизираните стандарти, се разграничават следните групи съоръжения:

3. Съдове – означава затворена конструкция, проектирана и предназначена за съхраняване на флуиди под налягане, включително директно свързаните към нея приспособления, до точката на присъединяването ѝ с други съоръжения. Това са резервоари, съдове за готвене, разширителни съдове, съоръжения за съхраняване на топла вода, топлообменници (топлообменниците може да се причислят и към тръбопроводите, но само когато са съставени от тръби и са предназначени за охлаждане или нагриване на въздух);

4. Устройства под налягане – са елементите с технологична функция, затворената конструкция, на които е подложена на налягане. Това са фитинги, клапи, регулатори на налягането (регулаторите на налягане могат да бъдат и устройства за безопасност, ако изпълняват тази функция);

5. Устройства за безопасност – са устройства, предназначени да предпазват съоръжението от превишаване на налягането над допустимата стойност. Това са различни видове вентили, шибъри, превключвателни устройства;

6. Тръбопроводи – са свързани помежду си тръбни елементи, предназначени за пренос на флуиди, които са неразделна част от система под налягане. Това са тръби, тръбна арматура, маркучи, тръбопроводни системи;

7. Функционални групи – представляват съвкупност от съоръжения под налягане, свързани от производителя и функциониращи като едно цяло. Няма ограничение за броя на свързаните съоръжения под налягане, стига да са свързани от производителя и да функционират като едно цяло. Такива са хладилни системи, климатични системи, ненагривани съдове под налягане, криогенни съдове, отоплителни котли, пожарогасители, водотръбни котли, кожухотръбни котли, горелки, термпомпи.

Други хармонизирани към директивата стандарти се отнасят до:

- Изисквания към използваните материали – мед и медни сплави, чугун, стомани, алуминий и алуминиеви сплави, никел и никелови сплави. Има и пет европейски одобрения на материалите, които представляват технически документ, в който са определени характеристики на материали, предназначени за многократна употреба при производство на съоръжения под налягане, които не са обхванати от хармонизирани стандарти;

- Заварки – начини на заваряване, изпити за квалификация на заварчиците;

- Съвместимост на флуиди и материали;

- Технически условия на доставка.

Директива 2014/29/ЕС за предоставяне на пазара на обикновени съдове под налягане се отнася за обикновените съдове под налягане. Приложното поле е стеснено, като тя се отнася само за съдове, които са изработени от нелегирана стомана, алуминий или нестареещи закалени алуминиеви сплави, заварени са и са предназначени за съхранение на въздух или азот, без да бъдат подлагани на нагриване с открит пламък. Съществените изисквания се отнасят до материали, проектиране, производствени процеси и пускане в действие. Тука модулите за оценяване на съответствието са сведени до модул „В“ – ЕС изследване на типа и модули от серията „С“ – различни видове вътрешен производствен контрол. Хармонизираните стандарти са седем, от които четири дават изисквания за обикновените съдове под налягане – един за съдове с общо предназначение и три стандарта за специфични съдове. Другите три стандарта се отнасят за материали, заваръчни процедури и класификация на заварчици, те са хармонизирани и с първата директива.[2]

В горните две директиви има определени минимални работни параметри за съоръженията под налягане и обикновените съдове, които ако ги покриват, трябва да



отговарят на съществените изисквания за безопасност определени в директивите. Ако параметрите са по-ниски от определените, то тогава съответното съоръжение или обикновен съд, се проектира и произвежда в съответствие с добрата инженерна практика в страните членки. В тези случаи „СЕ“ маркировка не се поставя.

Директива 2010/35/ЕС относно транспортируемото оборудване под налягане – няма хармонизирани стандарти, като изискванията се отнасят до задълженията на икономическите оператори, поставянето на маркировка и оценяване на съответствието. Тази директива не може да се разглежда самостоятелно, изискванията в нея са пряко свързани и с изискванията на директива 2008/68/ЕО относно вътрешния превоз на опасни товари. Директива 2008/68/ЕО се прилага за автомобилен, железопътен и вътрешноводен превоз в рамките на държавите членки или между тях, както и за дейностите по товарене, разтоварване, смяната на транспорт и спиранията. Тя съдържа законодателни и административни изисквания, относно товарите, също няма хармонизирани стандарти. На транспортируемото оборудване под налягане се поставя маркировка „Рi”, която удостоверява, че са спазени изискванията на двете директиви. [3] Ако съоръжението трябва да изпълнява функции, не само като транспортируемо оборудване, то тогава трябва да отговаря и на изискванията на Директива 2014/68/ЕС за съоръженията под налягане и трябва да има и маркировка „СЕ“, която удостоверява спазването на изискванията на тази директива. Например такива може да бъдат бутилките за съхранение на кислород. Ако производителят реши те да се използват и за дихателни апарати и за транспортиране на опасни газове, те трябва да изпълняват изискванията и на двете директиви и съответно да имат и двете маркировки. Също така в някои случаи съдове, които се използват като транспортируемо оборудване под налягане и имат „Рi” маркировка, могат да се използват временно и като статично оборудване под налягане, без да имат „СЕ“ маркировка.

Директива на Съвета (75/324/ЕИО) относно сближаване законодателствата на държавите членки, свързани с аерозолни опаковки – Поставя изисквания относно големината на опаковките, материала, от който може да са направени и вида на газа, който се съдържа в тях. Също така съдържа изисквания за етиктиране и маркировка. Директивата не е променяна, но три пъти е преработвана, за да бъде адаптирана към техническия прогрес. [4] Аерозолните опаковки са съоръжения под налягане, но не представляват значителен риск по отношение на налягането и не са в категорията на „съоръженията с повишена опасност“.

Тези четири директиви покриват рискове, свързани с повишено налягане, които могат да се появят при употреба по предназначение. За различните съоръжения в зависимост от функционалните им характеристики, се прилагат и други законодателни актове:

Директиви с хармонизирани към тях стандарти:

- Директива 2006/42/ЕО относно машините – определя съществени изисквания от общ характер относно машините, които се конкретизират в специализираните директиви;

- Директива 2014/34/ЕС за хармонизиране на законодателствата на държавите членки относно съоръженията и системите за защита, предназначени за използване в потенциално експлозивна атмосфера – потенциално експлозивна атмосфера се получава при смеси на определени газове, пари, прах, които като се комбинират, могат да се възпламенят при определени условия;

- Директива 2014/32/ЕС за хармонизиране на законодателствата на държавите членки за предоставяне на пазара на средства за измерване - различни устройства за безопасност, като превключвателни устройства, регулатори на налягането са свързани с устройства за измерване;

- Директива 2014/30/ЕС за хармонизиране на законодателствата на държавите членки относно електромагнитната съвместимост – отнася се за всички съоръжения, които трябва да могат да функционират задоволително в своята електромагнитна обстановка, без да създават



недопустими смущаващи електромагнитни въздействия върху друго съоръжение в тази обстановка;

- Директива 2014/35/ЕС за хармонизиране на законодателствата на държавите членки за предоставяне на пазара на електрически съоръжения, предназначени за използване в определени граници на напрежението – отнася се за електрически съоръжения работещи при променливо напрежение 50 до 1000 V и постоянно напрежение 75 до 1500 V;

- Регламент (ЕС) 2016/426 относно уредите, захранвани с газово гориво, и за отмяна на Директива 2009/142/ЕО – прилага се за всички уреди захранвани с газово гориво и които се използват за готвене, охлаждане и замразяване, климатизация, отопление, производство на топла вода, осветление или пране, както и горелките с принудително подаване на въздух и нагревателните тела, предназначени да бъдат оборудвани с такива горелки. Газовото гориво е всяко гориво, което е в газообразно състояние при температура 15 °С и абсолютно налягане 1 bar.

Нормативни актове, с хоризонтално действие – няма хармонизирани към тях стандарти и налагат само законодателни изисквания:

- Директива 2000/14/ЕО за сближаване на законодателствата на държавите членки във връзка със шумовите емисии на съоръжения, предназначени за употреба извън сградите;

- Директива 2001/95/ЕО относно общата безопасност на продуктите – прилага се за тези рискове, за които няма приет нормативен акт.

### 3. Технически надзор

Конструирането на съдове, работещи под налягане, и разработването на проекти за монтиране на такива съдове се извършва от проектантски организации и институти, конструкторски звена и др., които разполагат с ръководни и изпълнителски кадри, запознати с изискванията на тази наредба, БДС и другите разпоредби по техника на безопасността за съдове, работещи под налягане. Организацията и лицата, които изготвят конструкторска документация и проекти за съдове, работещи под налягане, носят наказателна, гражданска и дисциплинарна отговорност за спазването на разпоредбите по техника на безопасността при конструирането и проектирането, в това число:

1. за правилния подбор на конструкцията на съда и на обезопасяващите го устройства;

2. за подбора на заложените в конструкцията материали съобразно предназначението и параметрите на съда;

3. за избора на методите и точността на якостните пресмятания на съда и пресмятането на обезопасяващите устройства.

При пресмятане на съдове, работещи под налягане, посредством електронноизчислителни машини (ЕИМ) програмата, по която ще се извършват пресмятанията, предварително се съгласува с органите за държавен технически надзор. При конструирането и проектирането на съдове, работещи под налягане, използването на чуждестранни стандарти, методики и други разпоредби по техника на безопасността се допуска само с разрешение на органите за държавен технически надзор. Органът за технически надзор, извършващ заверяването на конструкторската документация, определя срока за валидността ѝ, който не трябва да бъде по-голям от 5 години. Преди изтичане на срока за валидност производителят на съдове актуализира документацията и я представя за презаверяване. Внасянето на изменения в заверена конструкторска документация, които засягат изискванията на тази наредба, на БДС и други разпоредби по техника на безопасността, се съгласува с органа за технически надзор, който е заверил документацията.

Ремонти и преустройства на съдове, работещи под налягане, които засягат елементите им, работещи под налягане, обезопасяващите им устройства и др., се извършват по документации, съгласувани и заверени от органите за държавен технически надзор. За



съдове, над които се извършва ведомствен технически надзор, документациите за ремонт и преустройство се съгласуват от ведомствените органи за технически надзор.

За всяко преустройство се съставя акт за техническо освидетелствуване по образец, утвърден от органите за технически надзор, един екземпляр от който се предава на стопанина на съда. Съдове, работещи под налягане, с неизправни обезопасяващи устройства, както и съдове, изработени, ремонтирани и реконструирани от организации и лица, които нямат право за такава дейност, се спират незабавно от експлоатация.

Разрешението за въвеждане в експлоатация на съдовете, работещи под налягане, се обезсилва от органа за технически надзор, който го е издал, когато:

1. са нарушени изискванията за безопасна експлоатация на съда или съдът не се използва по предназначението, за което е технически освидетелствуван;
2. съдът се бракува или се предава за стопанисване на друга организация;
3. на съда се извършва преустройство (реконструкция), което засяга елементите му, работещи под налягане, или изменя параметрите и предназначението на съда;
4. експлоатирането на съда се спира за период, по-голям от 1 година.

За случаите, изброени по горе, ръководството на организацията-стопанин е длъжно писмено да уведомява органите за технически надзор, които са издали разрешение за въвеждане на съда в експлоатация.

Ръководството на предприятието, което стопанисва съдове, работещи под налягане, е длъжно да състави (оформи) досие на всеки съд под налягане, в което да съхранява:

1. паспорт или свидетелство (сертификат) на съда;
2. актове за техническо освидетелствуване на съда;
3. разрешения за въвеждане на съда в експлоатация;
4. ревизионна книга;
5. документи за извършени ремонти и преустройства на съда, включително чертежи, изчисления, сертификати на вложени материали, протоколи за извършени изпитвания и др.;
6. инструкция за експлоатиране, обслужване и ремонт на съда;
7. други документи, които имат отношение към гарантиране на сигурността и безопасното експлоатиране на съда.

Органите за технически надзор извършват периодични прегледи и изпитвания на съдовете, работещи под налягане, въведени в експлоатация, с оглед да се установи дали състоянието им при правилна експлоатация гарантира безопасни условия на труд и недопускане на аварии и злополуки. Периодичността на прегледите и изпитванията се определя в инструкцията за монтаж, експлоатиране, прегледи, обслужване и ремонт на съда, съставена от завода-производител (фирмата-доставчик) съобразно предназначението и условията на експлоатация на съда. Ако в инструкцията липсват данни за периодичността на прегледите, тя се определя със заповед на ръководителя на предприятието (организацията) след съгласуване с органите за държавен технически надзор. Периодичността не може да бъде по-голяма от дадената в тази наредба и в БДС.

Периодичните прегледи са:

1. пълен (външен и вътрешен);
2. пълен, с хидравлично или пневматично изпитване.

Пълен преглед се извършва най-малко веднъж на 4 години. При този преглед се извършва цялостна проверка на състоянието на елементите, работещи под налягане, изправността на контролноизмервателната, предпазната и осигурителната арматура и устройства, състоянието на заваръчните съединения и свързващите елементи и др. съобразно предназначението и устройството на съда и по обоснована преценка на проверяващия инспектор.

Пълен преглед с хидравлично или пневматично изпитване се прави най-малко веднъж на 8 години. Той включва обема от проверки, включени в пълния преглед, и извършване на



хидравлично или пневматично изпитване . Хидравличното (пневматичното) изпитване се извършва след извършване на пълния преглед и отстраняване на откритите при прегледа неизправности. При хидравличното и пневматичното изпитване на съдовете и оценяване на резултатите от тях се спазват изискванията на БДС 11974-74.

В обосновани случаи по преценка на органите за технически надзор или по искане на организацията-стопанин органите за технически надзор извършват извънредни прегледи на съдовете, работещи под налягане.

#### 4. Изводи

- Направен е анализ и систематизация на европейското законодателството в областта на съоръженията с повишена опасност, контрола и техническият надзор.
- Определени са съществените изисквания за безопасност и тяхната връзка със съответните им хармонизирани стандарти.
- Направено е общо описание на модела и систематизация на продуктите по групи. Благодарности: Докладът се финансира по Договор № 182ПД0020-06.

#### Литература:

1. Директива 2014/68/ЕС за хармонизиране на законодателството на държавите-членки за предоставяне на пазара на съоръжения под налягане
2. Директива 2014/29/ЕС за хармонизиране на законодателствата на държавите-членки във връзка с предоставянето на пазара на обикновените съдове под налягане
3. Директива 2010/35/ЕС относно транспортируемото оборудване под налягане
4. Директива 75/324/ЕЕС относно сближаване законодателствата на държавите-членки, свързани с аерозолните опаковки.

### REGULATORY BASIS FOR TECHNICAL CONTROL AND SUPERVISION OF PRESSURE VESSELS

**B. Ilieva, A. Dishkelov**

***Abstract:** Pressure equipment occupies an important place within the scope of high-risk facilities. Due to the specifics of its parameters and the working environment, any technical malfunction or misuse may cause industrial and civil accidents with major damage to people and the environment. This report addresses the regulatory issues in order to ensure safety and facilitate the work of stakeholders in the pressure equipment industry.*

#### Данни за авторите:

Боряна Петкова Илиева - Михайлова, доцент д-р инж., катедра „ОТСК” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: bilieva@tu-sofia.bg

Атанас Стоянов Дишкелов, маг. инж., докторант към катедра “ОТСК” при МФ на ТУ – София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: atanas.stojanov1@abv.bg



## XXVIII МНТК „АДП-2019”





**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 2**

**“ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНИ ЗА  
АВТОМАТИЗИРАНОТО ДИСКРЕТНО  
ПРОИЗВОДСТВО”**



# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЁН С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ

М. Кане

**Аннотация:** В докладе рассмотрены особенности зубофрезерования цилиндрических шестерён червячной фрезой с импульсной подачей, задачи, условия и методика изучения влияния метода и режимов зубофрезерования на стойкость червячных фрез. Показаны основные результаты этого исследования.

**Ключевые слова:** зубофрезерование цилиндрических шестерён червячной фрезой, импульсная подача, режимы резания, показатели стойкости червячных фрез и скорости их износа.

## 1. Состояние вопроса. Задачи исследования.

Метод зубофрезерования цилиндрических шестерён с импульсной подачей [1] был предложен нами как средство повышения производительности зубофрезерования цилиндрических шестерён червячной фрезой за счёт интенсификации режимов резания. Предполагается, что такая интенсификация при данном методе станет возможной за счёт улучшения условий резания червячной фрезы. В работе [1] показаны суть этого метода, причины улучшения условий резания при его реализации, аналитические зависимости для расчёта его основных характеристик. Нами было выполнено экспериментальное исследование влияния режимов зубофрезерования с импульсной подачей (подачи  $S$  мм/мин и скорости резания  $V$  м/мин) на различные характеристики стойкости червячных фрез при зубофрезеровании с импульсной подачей, а также сопоставление стойкости червячных фрез при зубофрезеровании с традиционной непрерывной и с импульсной подачами. В данном докладе показаны основные элементы методики, условия и результаты указанного исследования.

## 2. Методика исследования

Стойкость режущего инструмента является комплексным показателем эффективности метода обработки, работоспособности инструмента. Поэтому при изучении новых методов обработки, конструкций инструментов прежде всего оценивают их влияние на стойкость инструмента. В зависимости от задач и условий исследования используются различные характеристики стойкости червячных фрез при нарезании цилиндрических шестерён.

1. Средняя величина износа зубьев фрезы при обработке одного колеса  $\bar{u}_n$ , как отношение среднего износа зубьев фрезы к числу  $n$  нарезанных ею колёс.

2. Время работы фрезы до износа одного из её зубьев до некоторой предельной величины.

3. Максимальный износ одного из зубьев фрезы.

4. Суммарная длина обработанных зубьев  $L=zb$  (где  $z$  – число зубьев нарезаемого колеса,  $b$  – высота зуба колеса) до износа зубьев фрезы на заданную величину.

5. Средний износ зубьев фрезы на единицу длины одного зуба нарезанных колёс  $\bar{u}_{nzb}$ , определяемый как отношение среднего износа зубьев фрезы к произведению  $nzb$  (обозначения  $n, z, b$  приведены выше).

6. Средний износ зубьев фрезы  $\bar{u}$  в зависимости от времени обработки или числа обработанных деталей.



В выполненных нами исследованиях в качестве характеристик стойкости инструмента были приняты в основном 1,5 и 6 из приведенных показателей, так как они наиболее универсальны и пригодны для сравнительных стойкостных испытаний. При использовании показателя  $\bar{u}_{nzb}$  в качестве характеристики стойкости инструмента исследования можно проводить при обработке зубчатых колёс с различным числом зубьев и различной высотой зубьев. Исследование было выполнено с использованием методов планирования эксперимента. Как показано в работах [2,3 и др.] при зубофрезеровании цилиндрических шестерён червячной фрезой имеет место линейный характер взаимосвязей режимов резания  $S$  и  $V$  со стойкостью фрез. Предположив, что этот характер указанных взаимосвязей сохранится и при зубофрезеровании с импульсной подачей, мы проводили исследования с помощью плана первого порядка, построенного по схеме полного факторного эксперимента (ПФЭ). Число опытов в плане эксперимента было увеличено до 9, чтобы графики парных взаимосвязей  $y=f(S)$  и  $y=f(V)$  (здесь  $y$  – показатель стойкости фрез) можно было построить не по двум, а по трём результатам опытов. Это повышает точность определения вида указанных взаимосвязей.

Зависимость  $y=f(S,V)$  описывалась выражением:

$$Y=b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (1)$$

Парные зависимости  $y=f(S)$  и  $y=f(V)$  рассчитывались в виде:

$$y= b_0 +b_1x \quad (2)$$

Зависимость вида (2), где в качестве  $x$  принималось время работы фрезы или путь резания, использовалась также для оценки интенсивности износа. Характеристикой интенсивности износа в этом случае является значение коэффициента  $b_1$ .

Для реализации способа зубофрезерования с импульсной подачей была выполнена модернизация зубофрезерного полуавтомата мод. 5В913

С целью исключения влияния качества червячных фрез на результаты опытов обработка всех зубчатых колёс производилась двумя фрезами. Каждой фрезой при одной установке было нарезано от 10 до 25 зубчатых колёс до достижения достоверно определяемого износа в 0,5-0,7 мм.

Использовалась цельная червячная фреза из стали Р6М5 диаметром 100 мм,  $m=4,25$ мм, имеющая 10 реек и 7 рабочих витков. Испытания проводились при обработке зубчатых колёс из стали 25ХГМ,  $m=4,25$ мм,  $z=45$ ,  $b=31$ мм (ширина венца) со шлицевым отверстием.

При исследовании по схеме ПФЭ влияния  $S$  и  $V$  на показатели стойкости червячных фрез при зубофрезеровании с импульсной подачей значения  $S$  изменялись в пределах 5-8мм/мин, значения  $V$  – в пределах 31,4-50,24 м/мин. Импульс осевой подачи заготовки производили после каждого поворота фрезы на 7 зубьев.

Адекватность полученных зависимостей опытным данным оценивалась с помощью критерия Фишера.

Фрезерование зубьев с непрерывной подачей заготовки производили на станке той же модели, что и обработку с импульсной подачей заготовки, как правило, одной и той же фрезой, но при другом её положении, т.е. другим витком фрезы. В обоих случаях обрабатывали одинаковое число колёс. Было выполнено 8 серий опытов с импульсной подачей и 5 серий опытов с непрерывной подачей. В качестве характеристик стойкости червячных фрез при сравнении указанных методов зубонарезания использовали средние значения  $\bar{u}$  износа зубьев червячной фрезы при обработке каждым из сравниваемых методов одинакового числа  $N$  зубчатых колёс, коэффициент  $b_1$  в зависимости типа (2)  $\bar{u} = f(L)$ , где  $L$  – длина пути резания при обработке  $N$  зубчатых колёс, значение максимально возможного износа зубьев фрезы в данных условиях  $u_{max}=6\sigma$ , где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение значений износа фрез, определённое при обработке  $N$  зубчатых колёс данным методом. Соотношение  $u_{max}=6\sigma$  принималось исходя из предположения о нормальном законе распределения значений износа зубьев фрезы за период её стойкости [4].



### 3. Результаты исследований

Вначале было выполнено исследование влияния режимов резания  $S$  и  $V$  на показатели стойкости червячных фрез при зубофрезеровании с импульсной подачей. Были получены следующие зависимости:

$$\bar{u}_n = 0,0237 + 0,0075 V + 0,005 S$$
$$\bar{u}_{nzb} = 0,0170 + 0,0054 V + 0,0031 S$$

Основные результаты этого исследования приведены на рис.1. Здесь приняты следующие обозначения:  $\bar{u}_1 = \bar{u}_n$ ,  $\bar{u}_2 = \bar{u}_{nzb}$ . Значения  $\bar{u}_1$  показаны сплошными линиями, значения  $\bar{u}_2$  – штриховыми линиями.

Сопоставление стойкости червячных фрез при зубофрезеровании с импульсной и непрерывной подачами желательно производить при оптимальных режимах резания. Нами выполнена оптимизация режимов зубофрезерования с импульсной подачей. Установлено, что для рассмотренных условий обработки оптимальными можно считать значения  $V=30-35$  м/мин,  $S=5,5-6,5$  мм/мин. Было решено сравнительные стойкостные испытания для рассматриваемых методов обработки проводить при режимах резания:  $V=31,4$  м/мин,  $S=6,5$  мм/мин. На указанных режимах в настоящее время производится обработка рассмотренной шестерни в производственных условиях.

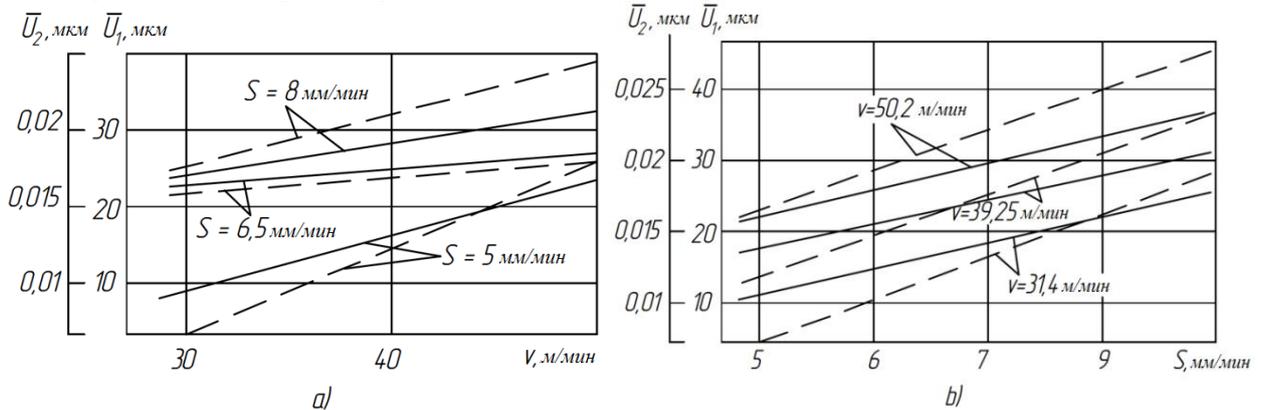


Рис.1. Зависимости характеристик износа зубьев червячной фрезы от скорости  $V$  (а) и подачи  $S$  (б) при зубонарезании с импульсной подачей заготовки.

Основные результаты сравнительных исследований стойкости червячных фрез при зубофрезеровании цилиндрических шестерён с непрерывной и импульсной подачами приведены на рис.2.

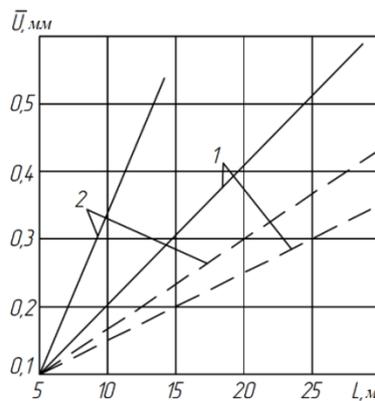


Рис.2. Зависимости среднего износа  $\bar{u}$  зубьев червячной фрезы от пути резания  $L$  при обработке с непрерывной (сплошные линии) и импульсной (штриховые линии) подачей заготовки; 1 и 2 – результаты двух опытов

Средние значения характеристик износа зубьев червячных фрез при работе с непрерывной и импульсной подачей составили соответственно  $\bar{u}=0,489$  и  $0,343$  мм,  $b_1=0,0226$  и  $0,0126$ ,  $\sigma=0,185$  и  $0,113$  мм.



Дальнейшими исследованиями установлено, что зубофрезерование с импульсной подачей позволяет существенно повысить точность колёс: при зубофрезеровании в среднем на 20%, при последующем шевинговании – в среднем на 35%.

#### 4. Выводы

- Зависимости показателей стойкости червячных фрез от режимов зубофрезерования цилиндрических шестерён являются линейными и с достаточной точностью описываются полиномом первой степени.
- Зубофрезерование с импульсной подачей позволяет уменьшить средний износ зубьев червячной фрезы в 1,43 раза, максимально возможный износ зубьев – в 1,64 раза и интенсивность изнашивания зубьев фрезы – в 1,79 раза по сравнению с зубофрезерованием с непрерывной подачей заготовки.
- Способ может быть реализован на существующих зубофрезерных станках с ЧПУ после их небольшой модернизации.
- При сохранении требований к качеству зубчатых колёс и стойкости червячных фрез предложенный способ позволяет интенсифицировать режимы зубофрезерования цилиндрических шестерён примерно в 1,6 раза и повысить производительность этого процесса в 1,5 раза. Это свидетельствует об эффективности данного способа и перспективности его применения.

#### Литературы:

1. Кане, М.М. Совершенствование зубофрезерования цилиндрических шестерён червячными фрезами./М.М.Кане - Труды XXVII Международной научно-технической конференции «Автоматизация дискретного производства»-София, Технический университет, 2018-с.44-48
2. Медведицков, С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами./С.Н.Медведицков- М.:Машиностроение, 1981
3. Сабиров, М.А. Исследование вопросов оптимального резания при зубофрезеровании цилиндрических зубчатых колёс червячными фрезами/М.А.Сабиров-Диссертация на соиск. учён. степени кандидата технич. наук. Уфа, 1975.
4. Кацев, П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента/П.Г.Кацев. Изд 2-е, переработ. и дополнен. М.:Машиностроение, 1974.

### STUDYING THE PROCESS OF DENTIFRUPTING CYLINDRICAL GEARS WITH PULSE SUPPLY

M. Kane

***Abstract:** The report discusses the features of the gear milling of cylindrical gears with a worm milling cutter with pulse feed, the tasks, conditions and methods of studying the influence of the method and modes of milling on the worm milling durability. The main results of this study are shown.*

#### Данные об авторе:

Марк Моисеевич Кане, профессор кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета», доктор технических наук, Республика Беларусь, 220013, гр. Минск, Проспект Независимости, 65 ,тел. +375 17 293 92 97,e-mail: kane\_08@mail.ru



# ТЕХНОЛОГИЧНИ ГРЕШКИ ПРИ ОБРАБОТВАНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА ПО МЕТОДА НА ОБХОЖДАНЕ

П. Рачев, С. Къртунов

**Резюме:** В настоящата статия е направен анализ на причините за получаване на грешки при обработване на цилиндрични зъбни колела с прави зъби. Те са дадени в таблица. Причините за получаване на грешки са разделени в три групи.

**Ключови думи:** зъбно колело, технологични грешки, метод на обхождане.

## 1. Въведение

Симулационното моделиране е ефективен творчески метод за изследване и симулиране работата на сложни производствени системи.

Предаването на непрекъснато въртене от един вал към друг със зададено предавателно отношение най-често се осъществява с помощта на зъбни механизми. Те са намерили много голямо приложение както в машиностроенето така и в уредостроенето. В общото машиностроене предавателните механизми със зъбни колела по-често са предназначени за предаване на определени сили и моменти, по-рядко – за получаване на необходимата точност на предавателното отношение. В уредостроенето основното предназначение на зъбните механизми е получаване на необходимата точност на предавателното отношение. Поради това в машиностроенето въпросът за качеството на зъбните колела се свежда основно до разглеждане на точността на разположение на едноименните профили. В уредостроенето и кинематичната точност и качеството на допиране на работните профили на зъбите се разглежда по двата профила на зъба [2,3].

Ефективното изучаване на неточността на зъбни колела, причините за появяване на грешки в процеса на обработване, влиянието на тези грешки върху експлоатационните показатели за работоспособност на предавката (шум, КПД, кинематична точност, вибрации, динамично натоварване, странична хлабина и др.) може да доведе до тяхното намаляване, увеличаване на получаваната точност и изпълнение на изискванията зададени от конструктора.

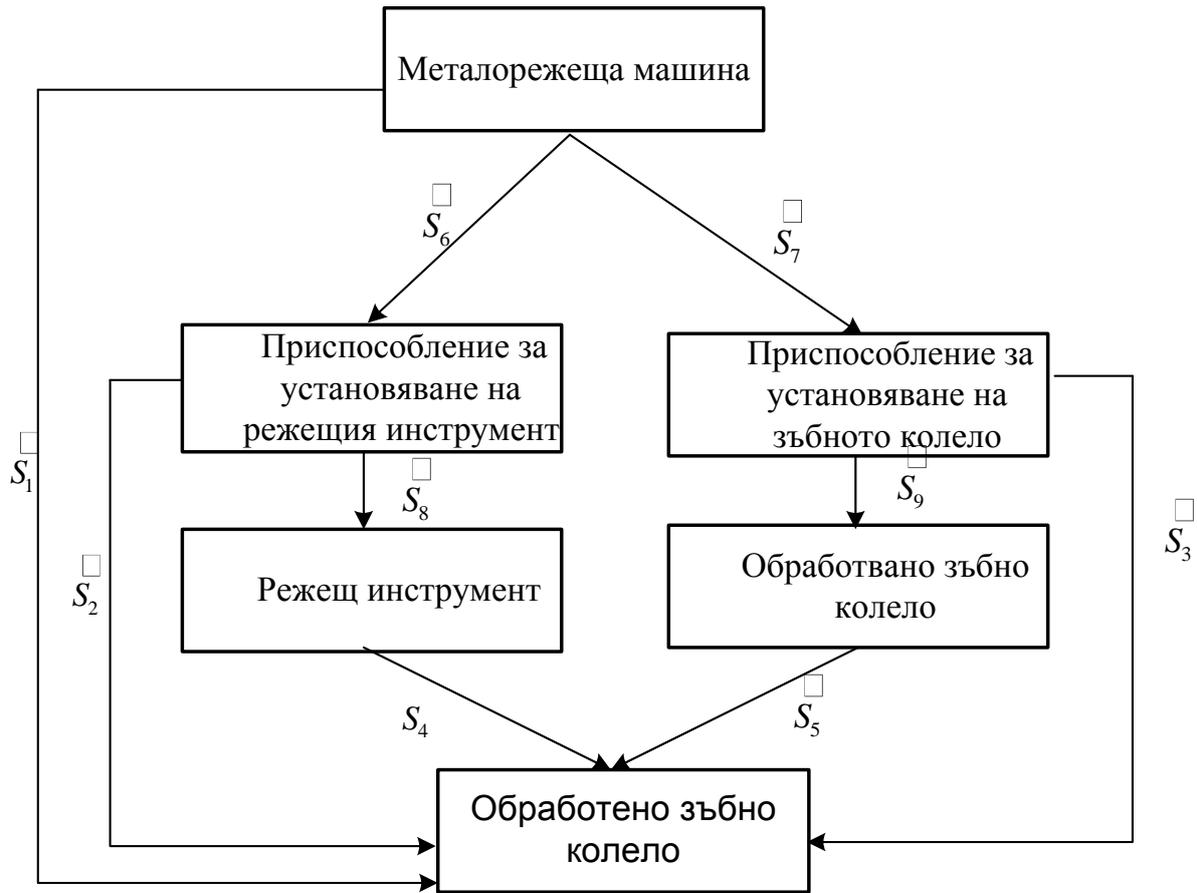
## 2. Изложение

Технологичният процес за нарязване на цилиндрични зъбни колела с прави зъби по метода на обхождане се осъществява върху технологична система, включваща следните подсистеми:

- Металорежеща машина.
- Приспособление за установяване на режещия инструмент.
- Режещ инструмент.
- Приспособление за установяване на обработвания детайл.
- Обработван детайл.

Всяка от подсистемите може да бъде източник на грешки (сигнали  $S_1^P \dots S_5^P$ ), оказващи влияние върху точността на нарязаното зъбно колело. Освен това при свързването на подсистемите една с друга възникват сигналите ( $S_6^P \dots S_9^P$ ), които също са източници на подобни грешки.

На фиг.1 са показани връзките в системата машина, приспособление, инструмент, детайл (МПИД), влияещи върху точността на крайния детайл (зъбно колело) [4].



Фиг.1. Връзки в технологичната система

Табл.1 Грешки, получавани при зъбофрезозане на цилиндрични зъбни колела

ГРЕШКИ		
Машина	Инструмент	Настройка
<b>Грешка в профила на зъба <math>f_{fr}</math>, натрупана грешка в стъпката, <math>F_{pr}</math></b>		
<b>Отклонение на стъпката</b>		
Радиално и осово биене на вретеното на фрезата. Неуспоредност на вертикалното преместване на супорта на фрезата и оста на въртене на масата. Неточност на кинематичната верига за взаимосвързаното завъртане на масата относно вретеното на фрезата (веригата на обхождане)	Грешка в профила на зъба Отклонение от радиалност на предната повърхнина Грешка в разположението на стружковите канали Грешка на винтовата линия на фрезата от зъб към зъб Грешка в направлението на стружковите канали Конусност на фрезата Неперпендикулярност на опорното базово чело относно отвора за установаване Грешка на базиращия отвор	Радиално и челно биене на заготовката Радиално и челно биене на фрезата Деформация на супорта Деформация на фрезовия дорник



<b>Грешка в направлението на зъба <math>F\beta r</math></b>		
Неуспоредност на вертикалното преместване на супорта на фрезата и оста на въртене на масата Челно биене на работните повърхнини на масата Неточност в стъпката на ходовия винт и веригата на подаването	Износване на фрезата по време на работа	Радиално и челно биене на заготовката Деформация на зъбофрезовото приспособление Температурни деформации на заготовката Променлива деформация и преместване на масата, супорта, фрезовото вретено
<b>Колебание на дължината на общата нормала <math>Fv w</math></b>		
Неточност на кинематичната верига на въртене на масата относно въртенето на шпиндела на фрезата	Грешка в профила Грешка в осовата стъпка Грешка в ъгъла на предната повърхнина Конусност на фрезата Радиално и челно биене	Радиално и челно биене на фрезата
<b>Радиално биене на зъбния венец <math>Fr</math></b>		
Радиално биене на масата Челно биене на масата Преместване на масата	-	Челно биене на заготовката Радиално биене на приспособлението Деформация на приспособлението
<b>Грапавост на повърхността на зъба</b>		
Малка стабилност и виброустойчивост на супорта, масата и тялото	Малко число на винтовите канали на фрезата Малък диаметър на фрезата при голямо подаване	Износване на инструмента Малка стабилност на инструмента и детайла
<b>Конусност на зъба</b>		
Несъосност на центрите Неуспоредност на преместване на фрезовия супорт относно оста на въртене на масата	Износване на фрезата от преместване по оста на заготовката	Челно биене на заготовката Променлива деформация на масата и супорта

Съвкупността от тези грешки води до неточност във формата и размерите на обработваното зъбно колело. При работата на даденото зъбно колело тази неточност води до неравномерност в движението, възникват динамични натоварвания, шум при работа и др.

В технологичната литература грешките се класифицират по различни признаци. В [1,5,6], например се приема, че грешките от технологичен характер възникват от: геометрична и кинематична неточност на машината; неточност на изработване на заготовките; заточване и установяване на зъбонарезния инструмент на машината; грешки от установяване на заготовката; неточност в настройване на технологичната система.

Грешките при зъбофрезозане на цилиндрични зъбни колела по метода на обхождане ще бъдат разгледани по-подробно. Основните причини за получаване на грешки при нарязване на цилиндрични зъбни колела са дадени в таблица 1.

По степен на влияние на точност на нарязаното колело, грешките в изработване и установяване на фрезата може да се разделят на три групи. Първата група са грешките, които



се възпроизвеждат на нарязваното зъбно колело. Това са: челното биене на фрезата, грешка в ъгъла на установяване на фрезовия супорт, дебелина на зъба и профила на зъба на фрезата.

Към втората група се отнасят грешките, получавани върху детайла, чрез ъгъла на зацепване. Поради това грешката на зъбното колело ще е 1/3 от грешката на фрезата (например грешка се явява радиалното биене на профила на фрезата).

Към трета група се отнасят грешките, получавани на нарязваното зъбно колело примерно на 1/10 от грешката на фрезата. Това са грешка в стъпката и разположението и направлението на стружковите канали.

#### 4. Изводи

- След направен анализ на причините за появяване на грешки при обработване на цилиндрични зъбни колела с прави зъби, е разработена таблица 1.
- Основно предимство тук е, че са дадени видовете грешки, които се получават при обработване и причините, оказващи влияние при тяхното получаване.
- Класификацията е направена, като са разделени влиянията на машината, инструмента и настройката.
- Разработката може да се използва при определяне на причините за поява на грешки при обработване на цилиндрични зъбни колела с прави зъби по метода на обхождане.

#### Литература:

1. Старжински В., М. Кане, Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач Б.М., Профессия, Санкт-Петербург, 2007, ISBN 978 – 5-93913-144-5.
2. Rachev P. T., Mathematical modeling of errors obtaining process during mechanical treatment, 11<sup>th</sup> International Conference "Research and Development in Mechanical Industry", RaDMI 2011, Vol. 2, Sokobanja, Serbia., 2011, p. 1217-1222.
3. Къртунов С, П. Рачев., Учебник по технология на машиностроенето и уредостроенето – , УИ „ В. Априлов „ ТУ- Габрово, 2009 ISBN 978-954-683-455-3.
4. Рачев П., Анализ на технологични грешки при обработване на цилиндрични зъбни колела с прави зъби- дисертация, ТУ Габрово, 2009.
5. Базров Б. М., Основы технологии машиностроения, Москва, Машиностроение, 2007,
6. Диков А., Технология на машиностроенето, София, Софттрейд, 2006.

### ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL ERRORS IN MACHINING CYLINDRICAL GEARS

**P. Rachev, S. Kartunov**

**Abstract:** *In the present work is an analysis of the reasons for getting errors when processing cylindrical gears with straight teeth. They are given in the table. The reasons for obtaining errors are divided into three groups.*

#### Данни за авторите:

Петър Тотев Рачев, доцент, доктор инж., катедра „МУ” , Технически Университет – Габрово, ул. “Х. Димитър” № 4, тел. 066/827 365, e-mail: ra4ev\_petar@abv.bg

Стефан Кирилов Къртунов, професор д-р инж., катедра „МУ”, Технически Университет – Габрово, ул. “Хаджи Димитър” № 4, тел.:066/827 365, e-mail: skartunov@abv.bg



# ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ПРИ ЕВОЛВЕНТНИ ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С АСИМЕТРИЧЕН ПРОФИЛ НА ЗЪБИТЕ

Г. Цветанов, М. Ненчева, С. Хаджиев

**Резюме:** В статията се дават зависимостите за определяне на релативният път на върха на асиметричния зъбен профил в правоъгълни координати. Отчетени са различията при приемане на зъбен профил с и без първична ос на симетрия. Дава се геометричното условие за липса на интерференция между спрегнатите профили, чрез сравняване правоъгълните координати на преходната крива и релативния път на върха на зъба.

**Ключови думи:** асиметричен зъбен профил, интерференция.

## 1. Въведение

Интерференцията е явление, което води до бързо износване или заклиняване на предавката и по тази причина тя се явява един от най – важните качествени показатели. В литературата[5] се дава следното определение за това явление: Интерференцията е внедряване на релативния път, на върха на зъба на спрегнатото зъбно колело или дълбъка в преходната повърхност или определен участък във върха на зъба.

Съществуват две основни направления, при разглеждане на предпоставките, които я предизвикват:

- интерференция в зъбното зацепване от грешки и деформации на зъбния профил. Важен показател при този модел на разглеждане се явява степента на точност на зъбното колело;
- интерференция на зъбното зацепване, зависеща от геометричните параметри на предавката.

В настоящата статия се разглежда геометричното условие за липса на интерференция в зъбно зацепване с асиметричен профил на зъба, в правоъгълна координатна система. Зависимостите са дадени за зъбни колела с и без първична ос на симетрия на зъба, чрез директно използване метода на центроидно обхождане.

## 2. Зависимости определящи геометричните параметри на асиметричния профил

Правилното определяне на интерференцията при асиметричен профил на зъба е основна предпоставка за проектиране на реверсивни предавки.

Необходимо и достатъчно условие за съществуването на асиметричния профил се явява наличието на две основни образуващи окръжности, чиито диаметри варират в зависимост от метода на получаване на профила. На фиг.1 е изобразена класификацията на асиметричния профил в зависимост от вариационните параметри при неговото получаване.

Изчисляването на релативния път на върха на асиметричния зъб се извършва на база метода на центроидното обхождане, като изчислителната схема е изобразена на фиг.1:

където:

$A_w$  е междуосовото разстояние на предавката;

$r_{w1}, r_{w2}$  – радиуси на центроидите;

$O_b$  – базова точка, при разглеждане на търкаляне без преплъзване;

$t$  – ъгъл на обхождане;

$t_1$  – ъгъл на ротация на спрегнатото колело в абсолютната координатна система;



$\varphi_{\alpha_1}, \varphi_{\alpha_2}$  – централни ъгли, съответстващи на дебелината на асиметричния зъб във върха, спрямо симетралата на зъба;

$S_{a1}, S_{a2}$  – дебелини на асиметричния зъб във върха за различните профилни ъгли на зацепване.

Централните ъгли  $\varphi_{\alpha_1}$  и  $\varphi_{\alpha_2}$  могат да се определят от зависимостите за пълната дебелина на асиметричния зъб във върха, като се изходи от начина на образуване на профила:

### 3. Асиметричен зъбен профил, който има първична ос на симетрия.

Такъв профил може да се разглежда, като съставен от два изходни симетрични и общата дебелина на зъба във върха се определя от израза:

$$S_a = d_a \left[ \frac{\pi}{2z} + \frac{x(\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2)}{z} + \frac{(\operatorname{inv}\alpha_1 + \operatorname{inv}\alpha_2)}{2} - \frac{(\operatorname{inv}\alpha_{a_1} + \operatorname{inv}\alpha_{a_2})}{2} \right], \quad (1)$$

където  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  са профилните ъгли на изходния произвеждащ реечен контур;

$\alpha_{a_1}$  и  $\alpha_{a_2}$  – профилните ъгли на асиметричния зъб във върха.

От условието за неговото образуване следва:

$$S_a = S_{a_1} + S_{a_2} \quad (2)$$

Първичната ос на симетрия разделя непропорционално зъба на произволно място от неговата височина, следователно са изпълнени следните равенства:

$$S_{a_1} = \frac{S_a}{(1+K)} \quad ; \quad S_{a_2} = \frac{KS_a}{(1+K)} \quad \text{при } \alpha_1 > \alpha_2 \quad (3)$$

където  $K$  е коефициента на асиметрия.

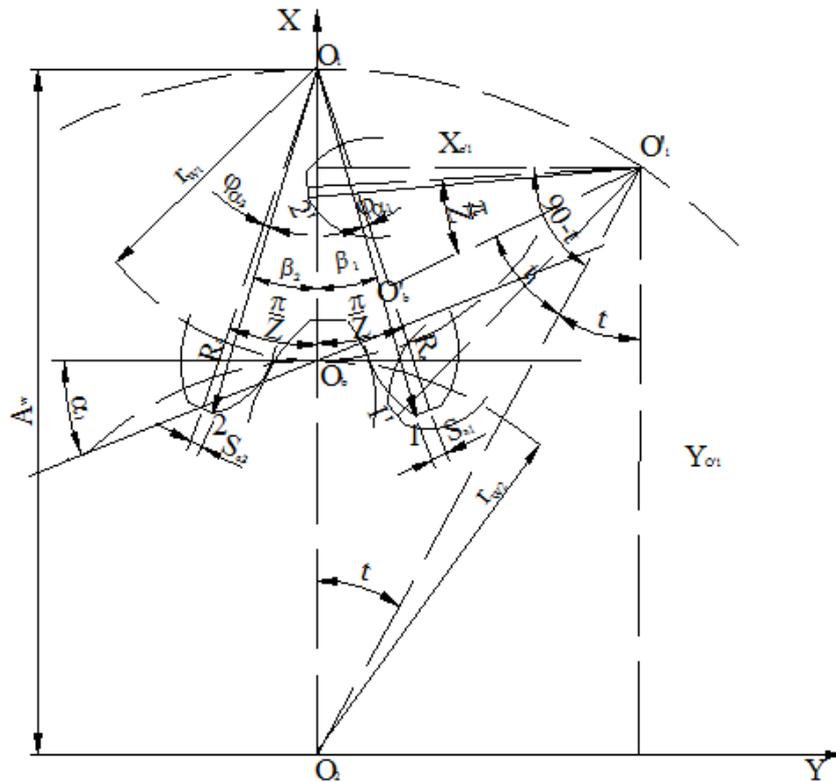
Централните ъгли  $\varphi_{\alpha_1}$  и  $\varphi_{\alpha_2}$  се определят от:

$$\varphi_{\alpha_1} = \frac{S_{a_1}}{R_a} \quad ; \quad \varphi_{\alpha_2} = \frac{(S_a - S_{a_1})}{R_a} = \frac{S_{a_2}}{R_a} \quad (4)$$

Особеност при този модел асиметричен зъбен профил е, че могат да се дефинират следните случаи на съществуване на зъба в зависимост от образуващите го симетрични профили:

**Таблица 1. Съществуване на асиметричния зъбен профил в зависимост от образуващите го симетрични**

Образуващ симетричен зъб-1	Образуващ симетричен зъб-2	Асиметричен зъб
$S_{a1} > 0$ - съществува	$S_{a2} > 0$ - съществува	$S_a > 0$ - съществува
$S_{a1} = 0$ – граничен случай	$S_{a2} > 0$ - съществува	$S_a > 0$ – съществува
$S_{a1} < 0$ – не съществува	$S_{a2} > 0$ - съществува	$S_a > 0$ – съществува $S_a = 0$ – граничен случай $S_a < 0$ – не съществува при $\alpha_1 > \alpha_2$



Фиг.1 Изчислителна схема при определяне релативния път на върха на спрегнатото зъбно колело

Теорията на обобщените параметри се ограничава само до първите два случая на образуване на асиметричния профил [1, 2, 3, 4], но както се вижда от табл.1 асиметричният зъб продължава да съществува, дори когато единият от неговите образуващи симетрични профили несъществува. Това се дължи на факта, че за анализ при този модел зъби се използва първичната ос на симетрия, а знаците на дебелините на образуващите симетрични профили показват относителното разположение на върховете на зъба спрямо тази ос.

При метода на центроидно обхождане се замразява едната центроида, като другата обикаля около нея [6]. Разглежда се положението на базовата точка  $O_b$ , която описва епициклоида и на върховете на асиметричния зъб на спрегнатото зъбно колело, който описват удължени епициклоиди. Центъра на Декартовата координатна система съвпада с центъра на полярната и геометричния център на колело 1 (фиг.1). Изчисляването на интерференцията в правоъгълни координати се извършва в следната последователност:

– ъгъл на ротация на колело 1 в абсолютни Декартови координати.

Определя се от условието за търкаляне без преплъзване, което се изразява с равенство на дъгите по центроидните окръжности:

$$S_w = r_{w2} \cdot t \quad ; \quad t = \frac{S_w}{r_{w1}}, \quad (5)$$

където  $t_1$  е ъгъл на ротация на колело 1, *rad*;

– обобщени ъгли спрямо абсолютната ос на симетрия за върховете на асиметричния зъб:

$$\beta_1 = \frac{\pi}{z} - \frac{S_{a1}}{R_a} \quad ; \quad \beta_2 = \frac{\pi}{z} - \frac{S_{a2}}{R_a}, \quad (6)$$



където  $S_{a1}$  и  $S_{a2}$  са дебелините на асиметричния зъб спрямо изграждащата го ос, които се определят от изрази (1) и (3) за асиметричен зъб с първична ос, и от (5) и (6) за зъб без първична ос на симетрия;

- параметричните уравнения на връх 1' са:

$$\begin{cases} X_{1'} = X_{O_1'} - R_a \cdot \cos\left(t_1 + t - \frac{\pi}{z} + \frac{S_{a1}}{R_a}\right) \\ Y_{1'} = Y_{O_1'} - R_a \cdot \sin\left(t_1 + t - \frac{\pi}{z} + \frac{S_{a1}}{R_a}\right) \end{cases} \quad (7)$$

- правоъгълни координати на преходната крива за връх 2' на асиметричния зъб с първична ос на симетрия:

$$\begin{cases} X_{2'}^{np} = R_E \cos(\varphi_1 + \text{inv}(t)) - h_{a1} m \cos(\varphi_1 + \text{tg}(t)) + \\ \quad + \left(\frac{\pi m}{4} - h_{a1} m \text{tg}\alpha_1\right) \sin(\varphi_1 + \text{tg}(t)) \\ Y_{2'}^{np} = R_E \sin(\varphi_1 + \text{inv}(t)) - h_{a1} m \sin(\varphi_1 + \text{tg}(t)) - \\ \quad - \left(\frac{\pi m}{4} - h_{a1} m \text{tg}\alpha_1\right) \cos(\varphi_1 + \text{tg}(t)) \end{cases}, \quad (8)$$

където:

$R_E$  е радиус – вектора на еволвентата;

$\varphi_1$  – начален полярен ъгъл при изчисляване координатите на преходната крива;

$t$  – ъгъл на обхождане;

$h_{a1}$  – коефициент на височината на главата на зъба.

- условие за липса на интерференция при асиметричният зъбен профил в правоъгълни координати:

$$\left| X_i^{np} \right| < \left| X_i' \right| \quad \text{за } i = 1, 2 \quad (9)$$

$$Y_i^{np} < Y_i'$$

Не изпълнението на условие (9) води до внедряване на върховете на спрегнатото зъбно колело в преходната крива на изследвания асиметричен профил.

### 5. Изводи:

- Методът позволява да се определи релативния път на върха на асиметричния зъбен профил с и без първична ос на симетрия в абсолютна Декартова координатна система.
- Сравняването на правоъгълните координати на преходната крива и релативния път на върха на спрегнатото колело се свежда до геометрично съпоставяне координатите на удължена еволвента и удължена епициклоида.



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

- Методът може да се използва при определяне координатите на преходната крива при изработване на зъбни колела със зъбодълбачно колело.
- Приемането на асиметричен профил на зъбите разширява областта на съществуване на зъбната предавка, чрез избора на произволни ъгли на зацепване, които не могат да бъдат реализирани, чрез симетричен профил на зъбите.

### Литература:

1. Авиационные зубчатые передачи и редукторы – Справочник /под ред. д-р проф. Э. Б. Вулгаков/, М., “Машиностроение” – 1981.
2. Вулгаков Э. Б. Соосные зубчатые передачи – Справочник, М., “Машиностроение”-1987.
3. Вулгаков Э. Б. Зубчатые передачи с улучшенными свойствами – Обобщенная теория и проектирование, М., “Машиностроение” – 1974.
4. Вулгаков Э. Б. Теория эвольвентных зубчатых передач, М., “Машиностроение” – 1995.
5. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач – под ред. И. А. Болотовского, М., “Машиностроение” – 1986.
6. Фролов К. В. Теория механизмов и машин. М., “Высшая школа” – 1987.

### EXPLOSIVE AREAS OF EXISTENCE WITH EVOLVENCY CYLINDER GEARS LINES WITH ASYMMETRIC PROFILE OF TOOTH

G. Tsvetanov, M. Nencheva, S. Hadjiev

***Abstract:** In worked by se gag approach for construct on solidity fild on existiere cillindrical gear evolvent transmissions of an asymmetric gear profile in function from: independently coefficients on shift on the instrument  $x_1$ ,  $x_2$  and difference between profile angle on the instrument. Representative concrete examples represent approach on construction with and without reversing of the direction of movement.*

#### Данни за авторите:

Генади Цветанов Цветанов, доцент доктор инж., катедра „МУ” при ФМУ, Технически Университет – Габрово, Р. България, Габрово, ул. “Х. Димитър” № 4, тел.: 066 827 406, e-mail: gencvet@tugab.bg

Мирослава Дочева Ненчева, доктор инж., катедра „МУ” при ФМУ, Технически Университет – Габрово, Р. България, Габрово, ул. “Х. Димитър” № 4, тел.: 066 827 528, e-mail: nencheva@tugab.bg

Северин Асенов Хаджиев, докторант инж., катедра катедра „МУ” при ФМУ, Технически Университет – Габрово, Р. България, Габрово, ул. “Х. Димитър” № 4, тел.: 066 827 406, e-mail: severin\_h@abv.bg



# ПРОСТРАНСТВЕНИ ОБЛАСТИ НА СЪЩЕСТВУВАНЕ ПРИ ЕВОЛВЕНТНИ ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С АСИМЕТРИЧЕН ПРОФИЛ НА ЗЪБИТЕ

Г. Цветанов, М. Ненчева, П. Ненчев

**Резюме:** В разработения доклад са представени области на съществуване за еволвентни цилиндрични зъбни предавки предавки с асиметричен зъбен профил във функция от: независимите коефициенти на изместване на инструмента  $x_1$ ,  $x_2$  и разликата между двата профилни ъгли на инструмента. Представените конкретни примери представляват подход при образуване с и без обръщане на посоката на движение.

**Ключови думи:** асиметричен зъбен профил, пространствени области на съществуване.

## 1. Въведение

Областите на съществуване при асиметричния зъбен профил се определят от разликите между профилните ъгли на инструмента и от реверсивността на предавката.

В литературата за тях [1, 2] се третира единствено въпроса за неревърсивни зъбни предавки с асиметричен профил.

Целта на настоящата работа е да се предложи подход за построяване на областите на съществуване за асиметричен зъбен профил при реверсивни предавки.

## 2. Зависимости определящи геометричните параметри на асиметричния профил

При асиметричния зъбен профил са възможни два подхода за образуване на профила в зависимост от изискването за реверсивност на предавката:

- подход I – когато предавката е неревърсивна:

$$\operatorname{inv}\alpha_w = \frac{2(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\alpha^*)x_\Sigma}{(z_1 \pm z_2)} + \operatorname{inv}\alpha \quad (1)$$

където:

$\alpha$  и  $\alpha^*$  са профилните ъгли на инструмента, чрез който се получава профила по метода на центроидното обвиване;

$z_1$  и  $z_2$  – броят зъби на колелата 1 и 2 образувачи предавката;

$x_\Sigma$  е сумарния коефициент на изместване за колела 1 и 2.

Реализираната чрез зависимост (1) предавка с асиметричен профил може да бъде реверсивна при сравнително малка разлика между профилните ъгли на инструмента.

- подход II – когато предавката е реверсивна:

$$\operatorname{inv}\alpha_w + \operatorname{inv}\alpha_w^* = \frac{2(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\alpha^*)x_\Sigma}{(z_1 \pm z_2)} + \operatorname{inv}\alpha + \operatorname{inv}\alpha^* \quad (2)$$
$$\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w} = \frac{\cos\alpha^*}{\cos\alpha_w^*}$$



Подход II за образуване на асиметричния профил позволява да се реализират реверсивни предавки при голяма разлика между профилните ъгли на инструмента.

Качествените показатели на зацепването се влияят и от методиката за изчисляване на върховата окръжност. При малкомодулните зъбни предавки се използва фрезозане с пълен профил, а при средно и крупномодулните - фрезозане с открит профил:

$$d_{a_{1-2}} = m \cdot (z_{1-2} + 2h_{a_{1-2}}^* + 2x_{1-2}^*) \text{ при } h_{a_{1-2}}^* = const, \quad (3)$$

$$d_{a_{1-2}} = 2 \cdot a_w - d_{f_{1-2}} - c^* \cdot m \text{ при } c^* = const, \quad (4)$$

където:

$d_{a_{1-2}}$  е диаметърът на върховата окръжност;

$h_{a_{1-2}}^*$  – коефициентът на височината на зъба;

$x_{1-2}^*$  – коефициентът на изместване на инструмента;

$a_w$  – междуосовото разстояние на предавката;

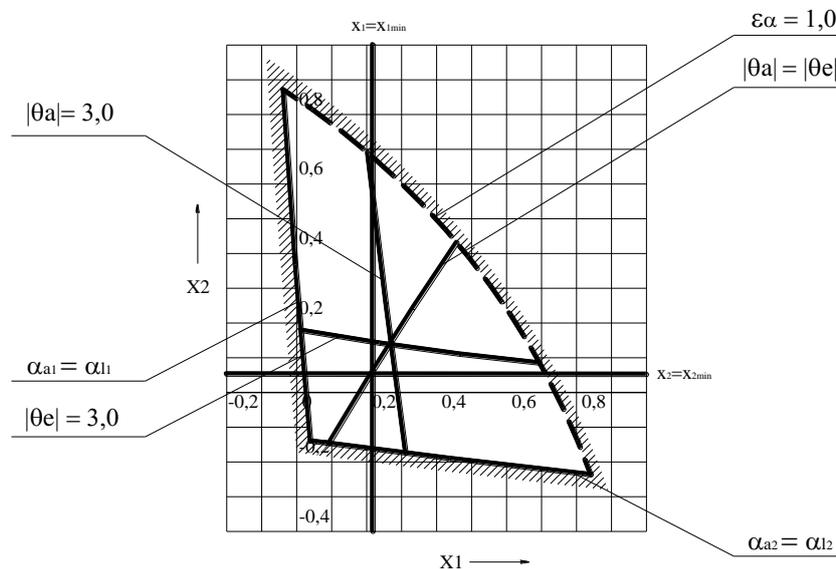
$d_{f_{1-2}}$  – диаметърът на петовата окръжност;

$c^*$  - коефициентът на радиална хлабина.

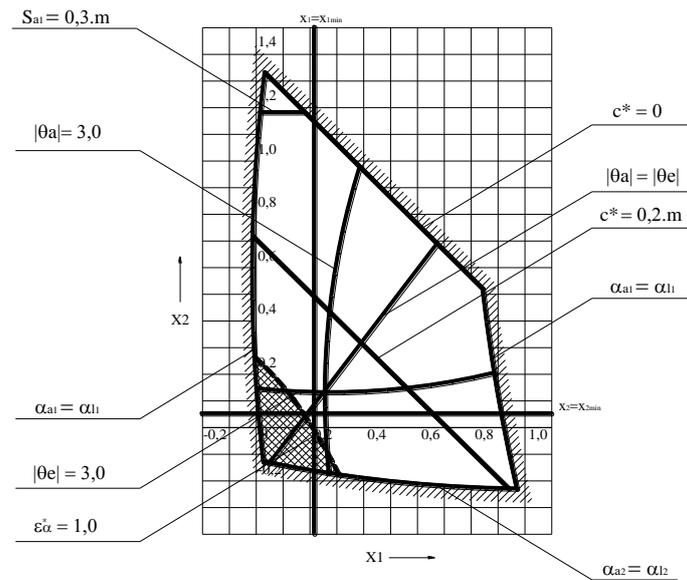
### 3. Области на съществуване при асиметричен зъбен профил реализиран чрез различни подходи на образуване

Безусловните области на съществуване на асиметричен профил в работа се дават в полето на независимите коефициенти на изместване на инструмента  $x_1$  и  $x_2$ .

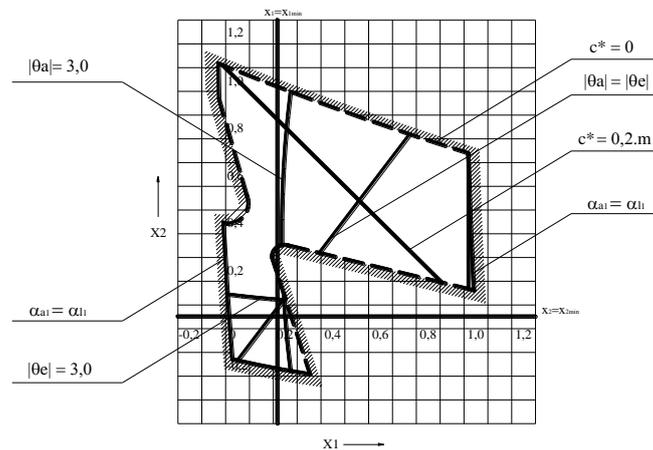
За онагледяване на резултатите в работата е използвана предавка със следните изходни параметри – брой зъби  $z_1=20$  и  $z_2=25$ ; коефициенти на височината  $h_a^* = 0,8$  и  $h_f^* = 1,1$ , постоянен коефициент на радиална хлабина  $c^* = 0,25$ .



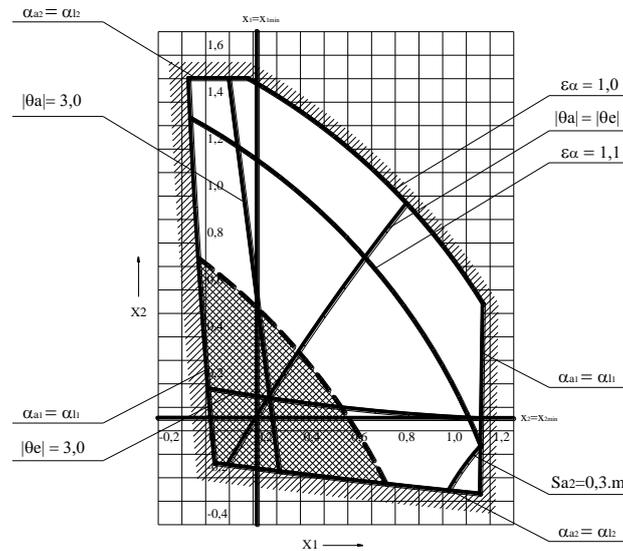
Фиг. 1 Област на съществуване на асиметричен профил при инструмент с профилни ъгли  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha^* = 35^\circ$ , реализиран по подход I при постоянно  $c^*$



Фиг. 2 Област на съществуване на асиметричен профил при инструмент с профилни ъгли  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha^* = 35^\circ$ , реализиран по подход I при постоянно  $h_a$



Фиг. 3 Област на съществуване на асиметричен профил при инструмент с профилни ъгли  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha^* = 35^\circ$ , реализиран по подход II при постоянно  $h_a$



Фиг. 4 Област на съществуване на асиметричен профил при инструмент с профилни ъгли  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha^* = 35^\circ$ , реализиран по подход II при постоянно  $c^*$

Изобразените области на съществуване на фиг.1 до фиг.4 са валидни за реверсивни предавки при определени профилни ъгли на инструмента. На фиг.1 и фиг.4 са изобразени области на съществуване за двата подхода на образуване на асиметрия, но при постоянен коефициент на радиална хлабина.

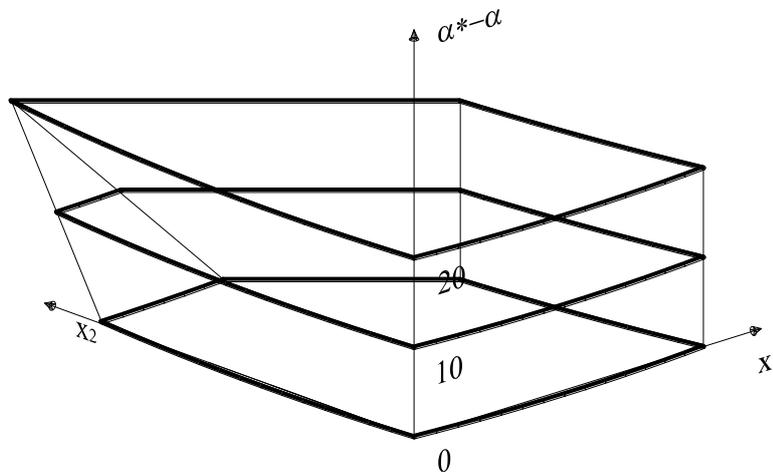
#### 4. Пространствени области на съществуване при асиметричен зъбен профил реализиран чрез различни подходи на образуване

Представените в т.2 на настоящата работа области на съществуване са инварианти на подхода на образуване на асиметричния профил, посоката на реверсиране на предавката, но са валидни единствено за профилни ъгли на инструмента  $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha^* = 35^\circ$ . Следователно при асиметричния профил е необходимо да се въведе допълнително условие, което да отразява избора на профилни ъгли на инструмента. В настоящата работа се предлага това да е разликата между профилните ъгли, която да се изобразява на допълнителна ос към областта на вариране на независимите коефициенти на изместване на инструмента.

На фиг.5 е изобразена такава пространствена област на съществуване, която е ограничена от две равнини. Първата равнина е областта на съществуване при равенство между профилните ъгли на инструмента ( $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha^* = 15^\circ$ ). Втората равнина е ограничението налагано от максимално възможната разлика между профилните ъгли на инструмента ( $\alpha = 15^\circ$  и  $\alpha^* = 35^\circ$ ).

Теоретичната пространствена област на съществуване при асиметричен профил има следните граници на изследване  $(0, \pi/2)$  при следното условие:

$$\alpha + \alpha^* = \frac{\pi}{2} \quad (5)$$



Фиг. 5 Пространствена област на съществуване на асиметричен профил при постоянно  $h_a$  и подход на образуване I

От условие (5) при реализиране на областите на съществуване при асиметричен профил следва, че има безброй много комбинации от профилни ъгли, които удовлетворяват това условие. При симетричния профил освен условието (5), което определя теоретичната област на избор на профилни ъгли съществува и допълнително условие за равенство между тях. Следователно асиметричния профил е най – общия случай на съществуване на еволвентно зъбно зацепване в полето на независимите коефициенти на изместване на инструмента  $x_1$ ,  $x_2$  и  $(\alpha^* - \alpha)$ .



### 5. Заключение

Предлага се подход за построяване на пространствени области на съществуване при еволвентни цилиндрични зъбни предавки с асиметричен профил на зъбите във функция от: независимите коефициенти на изместване на инструмента  $x_1$ ,  $x_2$  и разликата между профилните. Равнинните области на съществуване са сечения на предложената пространствена област при асиметричен зъбен профил.

### Литература:

1. Вулгаков Э. Б. Соосные зубчатые передачи – Справочник, М., “Машиностроение”-1987.
2. Вулгаков Э. Б. Теория эвольвентных зубчатых передач, М., “Машиностроение” – 1995.
3. Цветанов Г. Ц. Автореферат за образователна и научна степен “Доктор” на тема: Изследване на малкомодулни зъбни предавки с асиметричен профил, Габрово 2004.

## EXPLOSIVE AREAS OF EXISTENCE WITH EVOLVENCY CYLINDER GEARS LINES WITH ASYMMETRIC PROFILE OF TOOTH

G. Tsvetanov, M. Nencheva, P. Nenchev

*Abstract: In worked by se gag approach for construct on solidity fild on existiere cillindrical gear evolvent transmissions of an asymmetric gear profile in function from: independently coefficients on shift on the instrument  $x_1$ ,  $x_2$  and difference between profile angle on the instrument. Representative concrete examples represent approach on construction with and without reversing of the direction of movement.*

### Данни за авторите:

Генади Цветанов Цветанов, доцент доктор инж., катедра „МУ” при ФМУ, Технически Университет – Габрово, Р. България, Габрово, ул. “Х. Димитър” № 4, тел.: 066 827 406, e-mail: gencvet@tugab.bg

Мирослава Дочева Ненчева, доктор инж., катедра „МУ” при ФМУ, Технически Университет – Габрово, Р. България, Габрово, ул. “Х. Димитър” № 4, тел.: 066 827 528, e-mail: nencheva@tugab.bg

Петър Начев Ненчев, доктор, инж., катедра катедра „ТМ” при ФМУ, Технически Университет – Габрово, Р. България, Габрово, ул. “Х. Димитър” № 4, тел.: 066 827 356, e-mail: nenchev@tugab.bg

# ТЕОРЕТИЧНИ АСПЕКТИ НА ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С МАЛЪК БРОЙ ЗЪБИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ - I ЧАСТ

Г. Тонков

**Резюме:** В работата са разгледани сравнителни варианти на цилиндрични зъбни предавки с малък брой зъби. Те реализират външно зацепване между две задружно работещи колела. Колелата са с еднакъв брой зъби и приблизително еднакви габаритни размери. Броят на зъбите е минимален като е съобразен с определени критерии относно проектиране и функционалност на механизмите. Предавките са с насоченост към реализиране на производствени технологични процеси. Поради тази причина са наречени технологични зъбни предавки (ТЗП), а работните органи, които изграждат – технологични зъбни механизми (ТЗМ).

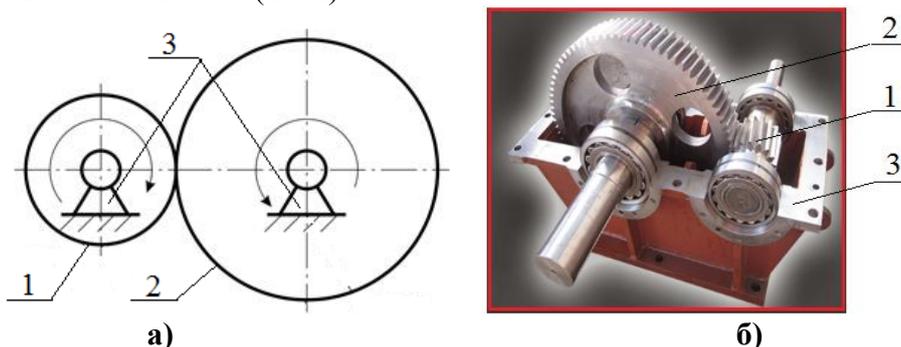
**Ключови думи:** еволвентни зъбни колела с малък брой зъби, зъбни предавки за технологични процеси, технологични зъбни механизми, работен зъбен орган.

## 1. Въведение

### 1.1 Класификация на зъбните предавки според тяхното предназначение

Зъбните предавки намират широко приложение в техниката. Това се дължи на многобройните им предимства. Важен факт е, че в областта на зъбното зацепване съществува голям ресурс от възможности за реализиране на различни видове спрегнати зъбни профили. Този ресурс е свързан със създаване на нова геометрия и от там на нови видове зъбни предавки.

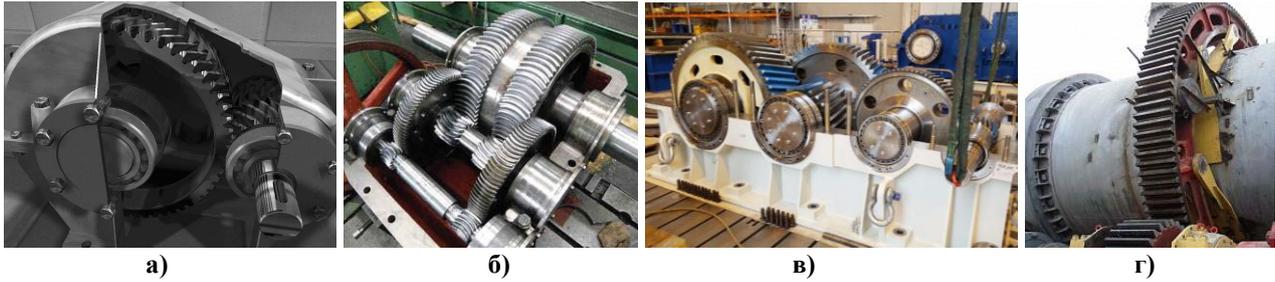
Зъбните предавки представляват тризвенни зъбни механизми, състоящи се от неподвижна стойка и установени към нея ротиращи зъбни колела (фиг. 1) [2;23;14]. Предназначението на проектираните зъбни предавки е да реализират определен по вид технологичен процес, поради което са наречени технологични зъбни предавки (ТЗП) или технологични зъбни механизми (ТЗМ).



Фиг. 1 Зъбен механизъм: а) кинематична схема; б) цилиндричен редуктор; 1 и 2 – подвижни звена (1- задвижващо колело, 2-задвижвано колело); 3 – стойка (корпус)

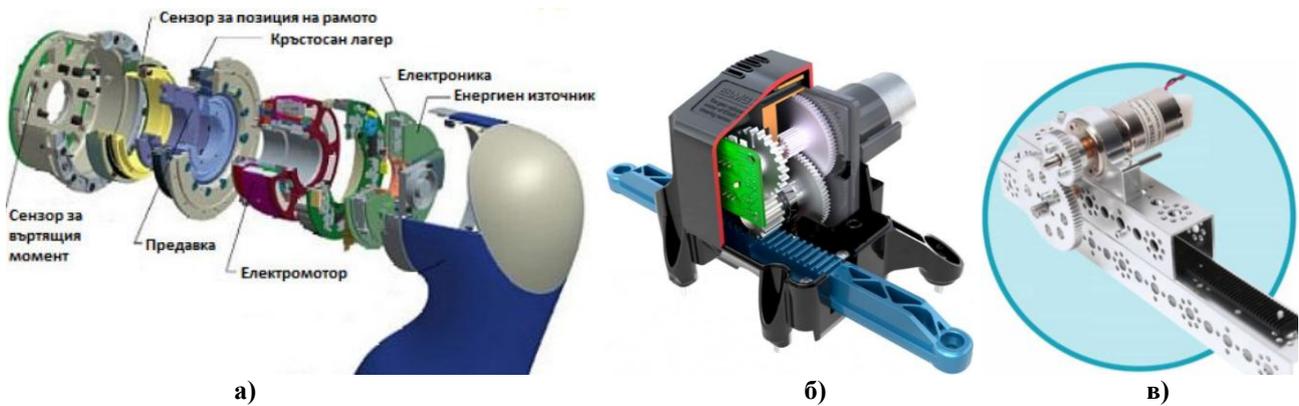
Зъбните предавки според предназначението си се разделят на:

- **Силови** – към тях се отнасят: редуктори; подемни зъбни механизми; зъбни предавки, задвижващи тежки конструкции като кранове, лифтове, голямогабаритни агрегатни машини, въртящи се обемни маси в различни области от техниката (фиг. 2) [13;25;20;16].



Фиг. 2 Силви редуктори за големи мощности и моменти: а) с шевронни козела; б) с аркоидни козела; в) с цилиндрични зъбни козела с наклонени зъби за задвижване на мелници; г) открита зъбна предавка с прави зъби за завъртане на сушилни съоръжения

• **Кинематични** – намират приложение в роботиката; в офис техниката; при делителни устройства и приспособления; в измервателната техника; при позициониращи механизми; в поточни линии и съоръжения; в медицината; за механично управление на различни устройства (фиг. 3) [15;28;22].



Фиг. 3 Кинематични зъбни предавки: а) за ставни задвижвания; б) в кормилни уредби; в) за прецизни премествания

• **Силово-кинематични** – използват се в устройствата на скоростни кутии, подавателни кутии, лири на металорежещи машини, зъбни механизми, преобразуващи движението (фиг. 4) [26;19].



Фиг. 4 Силово-кинематични предавки, приложими в металорежещите машини и транспортната техника

### • Технологични зъбни предавки (ТЗП)

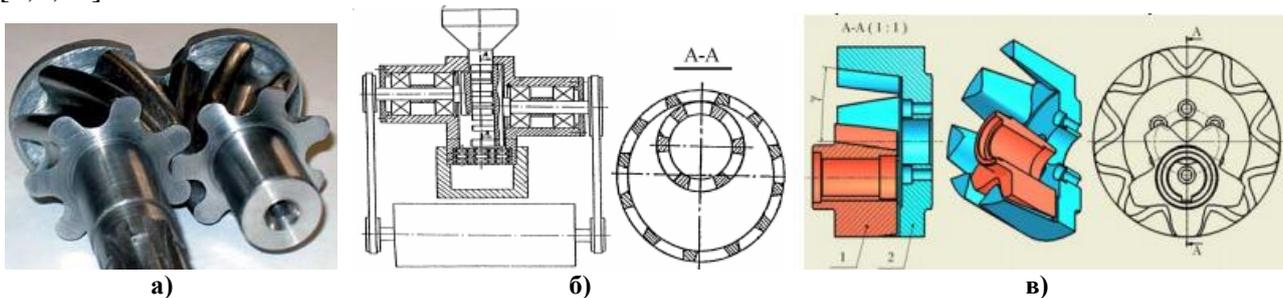
ТЗП изграждат работния орган, който осъществява определен технологичен процес. ТЗП се използват на много места в техниката. Разпространението им непрекъснато нараства поради следните причини:

- необходимост от развитието на нови технологии в индустрията;
- възможност за създаване на нови видове зъбни предавки с различна геометрия;

- изследване, усъвършенстване и внедряване на съществуващите, но недобре изучени видове зъбни предавки;
- съществуващи големи и в същото време недоразкрити възможности на пространственото зъбно зацепване;
- оптимизиране по различни критерии, използване на нови материали и методи на изработване на известните зъбни предавки.

## 1.2 Област на приложение на ТЗП

- Известни са огромен брой патенти и разработки на технологични зъбни механизми (ТЗМ), приложими в техническата сфера и областта на рециклирането (фиг. 5) [2;4;21].



Фиг. 5 ТЗП: а) зъбна предавка с не еволвентен профил на зъбите; б) зъбен дезинтегратор; в) зъбен механизъм с вътрешно зацепване

- ТЗП се използват като работен орган при компресорите за получаване на състен въздух, подаван под налягане в производствените дейности. (фиг. 6) [3;18;17].



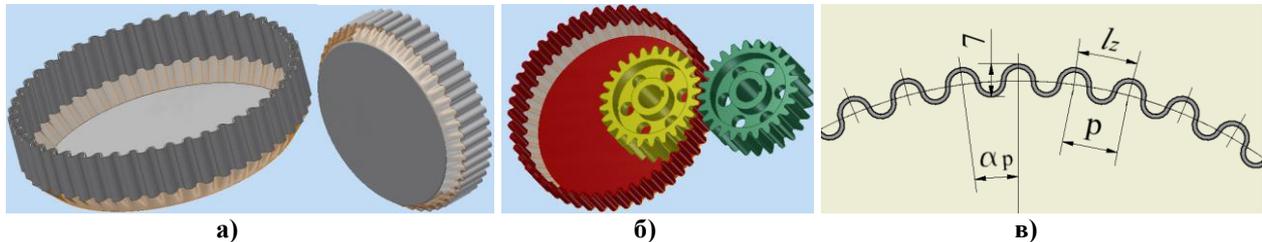
Фиг. 6 ТЗМ под формата на работен орган в устройството на винтовите компресори

- Работният орган на зъбните помпи представлява зъбен механизъм за трансформация и нагнетяване на мазило-охлаждащи течности посредством спрегнати контактни повърхнини на подвижните звена (фиг. 7) [24;12;11].



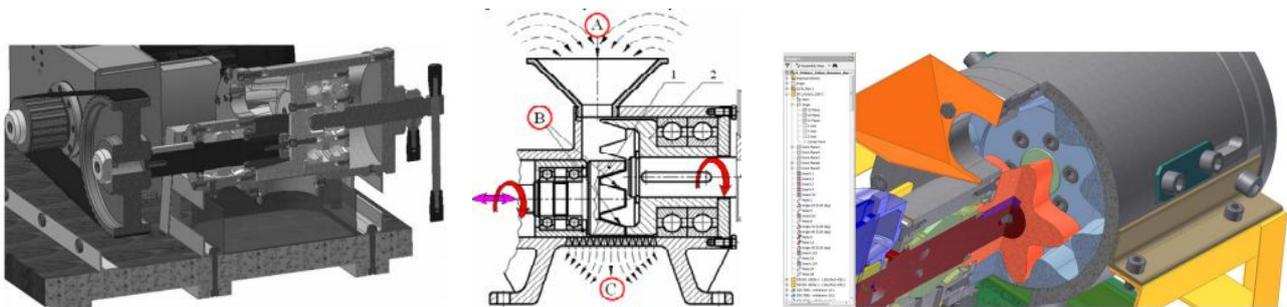
Фиг. 7 ТЗП като работни органи в зъбните помпи: а) лобова помпа; б) зъбна помпа

- Като работен инструмент за рифеловане на листов материал, при което стъпката  $p$  на вдлъбнато-изпъкналите вълни на обработения материал е в зависимост от стъпката при зъбните колела, а дълбочината на вълните зависи от височината на зъбните профили (фиг. 8).



Фиг. 8 ТЗП за рифеловане на ламарина: а) рифелован материал; б) работен инструмент – ТЗП; в) геометрични параметри при обработката

- Като механизми за раздробяване и смилане на различни продукти, суровини и материали. При тях силите в зъбното зацепване, придружени с процесите на триене при плъзгане между контактните повърхнини благоприятства за бързо протичащо разрушаване на материала, попаднал между зъбните профили (фиг. 9) [2;5;6;7].



Фиг. 9 ТЗМ за дезинтеграционни процеси

### Цел:

Да се проектират зъбни предавки по стандартна методика за изчисляване, насочени към използването им като ТЗМ, реализиращи производствени процеси в областта на преработката на суровини и материали.

### Насоки и задачи:

За постигане на целта са поставени следните задачи, на които се търси отговор:

- използвана методика за изчисляване на зъбните предавки;
- избор и обосновка на софтуер за проектиране на ТЗМ;
- вид на режещия инструмент за нарязване на зъбните колела;
- особености във форма и геометрия – функционалност, постижимост, технологичност.

## 2. Изложение

### 2.1 Информационни ресурси за проектираните ТЗП

- В случая за улесняване на проектирането и за получаване на бързи и достоверни резултати е прието да се използват утвърдени методики по ISO, DIN, GOST, ANSI, БДС. Това са стандартизирани методики за изчисляване на еволвентни зъбни предавки. Те са интегрирани в специализирания, използван от автора софтуер и успешно се прилагат както за генериране на CAD модели в софтуерна среда, така и за аналитично пресмятане на зъбни предавки.



• След обстойно проучване сред водещите CAD софтуери [2,3] са избрани за проектирането и изследването на зъбните механизми да се използват компютърните програми на Autodesk - Inventor, Nastran in-CAD FEA, CAM, Factory, AutoCAD.

Inventor е специализирана в областта на машиностроенето CAD система. Една от най-масово използваните CAD програми и лидер в приложната си област. Развива се от компанията Autodesk (САЩ) и към момента има регистрирани над 11 000 000 потребители от цял свят [27].

Inventor притежава инструменти за моделиране, дизайн и проектиране на машинни елементи, механични предавки и трансмисии. Използва се за създаване на дигитални прототипи и бързо получаване на прецизна техническа документация. Притежава PLM-технологии за проследяване на жизнения цикъл на изделията. В последните години *Inventor* е най-динамично развиващата се CAD система[1;8;9;10].

### **Забележка:**

Представянето на научния проблем е продължено във II част на доклада.

### **Литература:**

1. Григоров Б. Въведение в Inventor. София, „Перфект Консулт ООД”, 2006.
2. Дисертация. Тонков Г. „Математично моделиране на пространствени зъбни предавки с некръстосани оси”. ТУ-София, 2011.
3. Дисертация. Тонкова Г. „Изследване на влиянието на огъващи и усукващи трептения на валове, използвани в тежката минна механизация”. МГУ, 2017.
4. Патент RU 2057267 C1.
5. Тонков Г. „Аспекти върху проектирането и изработката на дезинтегриращ зъбен механизъм”. Сборник доклади, том II – Технически и природоматематически науки, Пловдив, 2007 стр. 68-76.
6. Тонков Г. „Проектиране на зъбни предавки с CAD/CAM системи. (Геометричен CAD синтез на спрегнати зъбни предавки – I част). Сборник „АМО”, 2008.
7. Тонков Г. „Проектиране на зъбни предавки с CAD/CAM системи (Геометрично моделиране на спрегнати зъбни предавки с CAD системи) II част. Сборник „АМО”, 2008.
8. Тонков Г. Учебно пособие за проектиране на машинни елементи. ПРОПЕЛЕР, 2018.
9. Foft P., J. Kletecka. Autodesk Inventor Adaptive Modeling in Industry. Brno, „Computer Press”, 2006.
10. Tonkov G., Tonkova G., Teofilova M. PLM-Technologies - correct planning an governance of industrial production, economics, ecology and business. Journal of International Scientific Publication: Economy & Business, Volume 3, Part 1 (page 226-234). ISSN 1313-2555, 2009.
11. <http://bgkids.hallowedgaming.com/journal/principit-na-zbna-pompa-raboti-v-detajli.html>
12. <http://impeller-pro.ru/ru/catalog/200/>
13. <http://news24today.info/gde-primenyayutsya-gorizontalnye-dvukhstupenchatye-tsilindricheskie-reduktory.html>
14. <http://www.reductor-dragnev.com/>
15. <http://www.stevabg.com/>
16. <http://www.eztm.ru/catalog/tsementnoe-oborudovanie/ventsy-zubchatye/>
17. <https://bg.mirarh.ru/koe-e-po-dobre-turbina-ili-mekhanichen-ko/>
18. <https://bg.pctech-support.com>
19. <https://frezeru.ru/sistemy-stanka-chpu/zubchatye-peredachi-wmh.php>
20. <https://megadrive-md.de/рyc/>
21. <https://sapr.ru/article/7812>



# ТЕОРЕТИЧНИ АСПЕКТИ НА ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С МАЛЪК БРОЙ ЗЪБИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ - II ЧАСТ

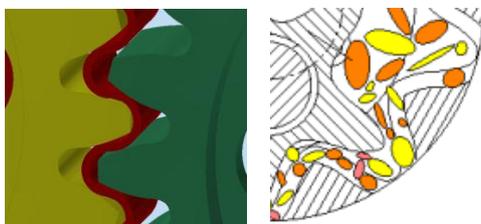
Г. Тонков

**Резюме:** В работата са разгледани сравнителни варианти на цилиндрични зъбни предавки с малък брой зъби. Те реализират външно зацепване между две задружно работещи колела. Колелата са с еднакъв брой зъби и приблизително еднакви габаритни размери. Броят на зъбите е минимален като е съобразен с определени критерии относно проектиране и функционалност на механизмите. Предавките са с насоченост към реализиране на производствени технологични процеси. Поради тази причина са наречени технологични зъбни предавки (ТЗП), а работните органи, които изграждат – технологични зъбни механизми (ТЗМ).

**Ключови думи:** еволвентни зъбни колела с малък брой зъби, зъбни предавки за технологични процеси, технологични зъбни механизми, работен зъбен орган.

## 1. Особенности на проектираните ТЗП

При реализиране на технологични процеси, свързани със смилането посредством зъбен механизъм представляващ изпълнителното звено на работната машина, извършваща порезната работа), работният процес протича между контактните повърхнини на зъбите на подвижните звена. Смиланият материал попада в свободните междузъбни пространства и се притиска от зъбите на съответното задружно работещо зъбно колело (фиг. 1).



Фиг. 1 Работен процес при ТЗМ

В процеса на работа, между активните зъбни повърхнини на подвижните звена и материала, попаднал между тях възникват сили на притискане и триене. Интензивността на процеса и големината на действащите натискови усилия зависят от кинематиката и геометрията на механизма и от силово-кинематичните параметри на задвижването. За да се постигне по-висока производителност, работният обем формиран от зъбите и междузъбията на задружно работещите колела трябва да е възможно по-голям. В такъв случай към колелата на ТЗП се поставят изисквания за:

- максимално големи междузъбни пространства,
- висока товароносимост на зъбните профили,
- големи хлабини между зъбите в челно сечение на зацепените колела от механизма.

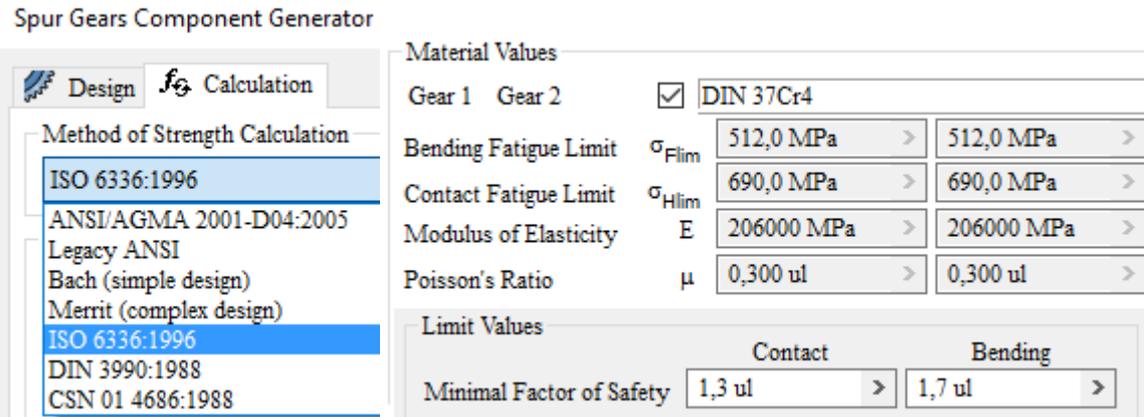
Поставените изисквания се постигнат при зъбни колела с голям модул и малък брой зъби.

Разглеждат се случаи на цилиндрични зъбни предавки с прави зъби и външно зацепване, изчислени при еднакъв въртящ момент и приблизително еднакви външни диаметри на зъбните колела.

## 2. Проектиране на зъбни предавки с малък брой зъби

В това изследване са обхванати три случая, за които са проектирани зъбни предавки с минимален брой зъби. Те са пресметнати съответно без приложени корекции, с корекции в зъбното зацепване и едновременно с корекции и модификации в изходния произвеждащ контур при спазване на поставените по-горе изисквания и общи ограничителни условия.

Генерирани са прецизни CAD модели в средата на Autodesk Inventor като за целта е използван модулът „Зъбни предавки с успоредни оси” от раздела „Генератор на механични предавки”. Пресмятането е извършено по стандартна методика ISO 6336:1996 (фиг. 2) [1;2;3;4]. Моделите са анализирани като част от резултатите са представени по-долу.

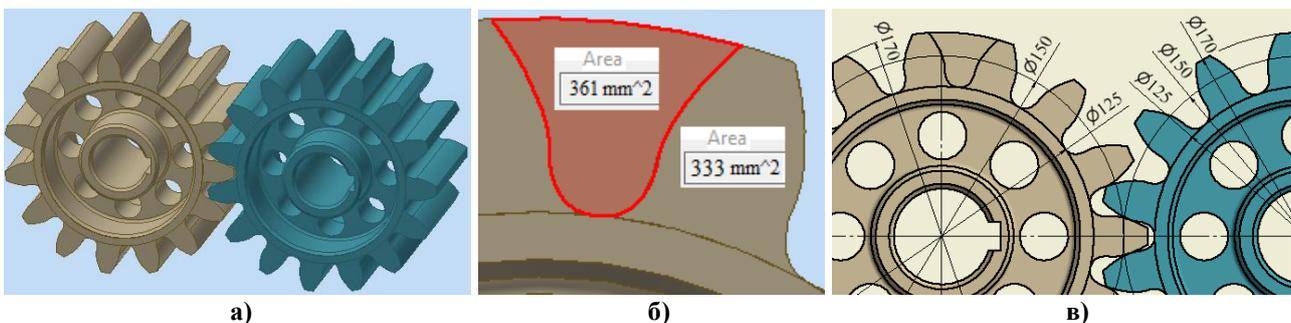


Фиг. 2 Методика по избран работен стандарт, по който проектираните зъбни предавки са пресметнати съответно в Inventor

**1 случай** – Проектираната предавка е със зъбни колела с минимален брой зъби  $z_{1min} = z_{2min} = 15$ , като върху тях не са приложени корекции и модификации, не са подрязани в основата на зъбите, не са заострени при главите, коефициентът на препокриване  $\varepsilon > 1$  и имат съответната товароносимост с коефициенти на сигурност по-големи от минимално допустимите  $S_{Hmin} = 1,3$  и  $S_{Fmin} = 1,7$ . (фиг. 3 и фиг. 4).

Unit Tooth Sizes			Results		Results	
	Gear 1	<input checked="" type="checkbox"/> Gear 2	Gear 1	Gear 2		
Addendum	$a^* = 1,0000$ ul	$1,0000$ ul	$i = 1,0000$ ul	$e = 1,4814$ ul	$F_t = 4668,545$ N	
Clearance	$c^* = 0,2500$ ul	$0,2500$ ul	$d_a = 170,000$ mm	$d = 150,000$ mm	$F_r = 1699,211$ N	
Root Fillet	$r_f^* = 0,3799$ ul	$0,3799$ ul	$d_f = 125,000$ mm	$x_z = 0,5985$ ul	$F_a = 0,000$ N	
	Unit Correction	Total Unit Correction	$x_p = 0,1227$ ul	$x_d = -0,0440$ ul	$F_n = 4968,162$ N	
	$0$ ul	$0$ ul	$s_a = 0,6564$ ul	$b_f = 1,3333$ ul	$v = 0,471$ mps	
					$n_{E1} = 14005,760$ rpm	
					<b>Gear 1</b>	<b>Gear 2</b>
					$S_H = 1,354$ ul	
					$S_F = 23,421$ ul	
					$S_{Hst} = 3,328$ ul	
					$S_{Fst} = 37,611$ ul	

Фиг. 3 Данни от софтуерното пресмятане за предавката  $z_{1min} + z_{2min} = 30$



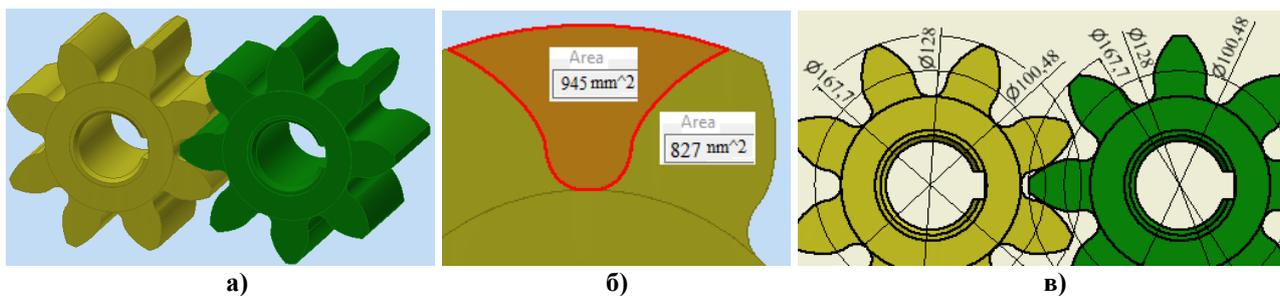
Фиг. 4 Некоригирана зъбна предавка с минимален брой зъби на зъбните колела  $z_1 = 15$ ;  $z_2 = 15$ : а) генериран CAD модел на предавката; б) площ на един зъб и едно междузъбие в челно сечение; в) геометрични параметри

За тази предавка в челно сечение площта на едно междузъбие е с големина  $A_{e1,2}=361 \text{ mm}^2$ , а всеки един от зъбите е с площ  $A_{s1,2}=333 \text{ mm}^2$  при външен диаметър на колелата  $d_{a1,2}=170 \text{ mm}$  и модул  $m=10 \text{ mm}$ .

**2 случай** – Зъбните колела в предавката са с минимален брой зъби  $z_{1\min} = z_{2\min}=8$ , постигнати чрез приложена положителна корекция с коефициенти на изместване за двете колела  $x_1=x_2=0,39$  (фиг. 5 и фиг. 6).

Unit Tooth Sizes				Results		Results		
	Gear 1	<input checked="" type="checkbox"/> Gear 2						
Addendum	$a^*$	1,0000 ul		1,0000 ul	$i$	1,0000 ul	$F_t$	5071,838 N
Clearance	$c^*$	0,2500 ul		0,2500 ul	$e$	1,0376 ul	$F_r$	2858,828 N
Root Fillet	$r_f^*$	0,3799 ul		0,3799 ul	<b>Gear 1 Gear 2</b>		$F_a$	0,000 N
Total Unit Correction	Unit Correction	Unit Correction		Unit Correction	$d_a$	167,665 mm	$F_n$	5822,065 N
0,78 ul	0,39 ul	0,3900 ul		0,3900 ul	$d$	128,000 mm	$v$	0,402 mps
					$d_f$	100,480 mm	$n_{E1}$	26747,730 rpm
					$x_z$	0,8443 ul	<b>Gear 1 Gear 2</b>	
					$x_p$	0,5321 ul	$S_H$	1,301 ul
					$x_d$	0,3655 ul	$S_F$	44,940 ul
					$s_a$	0,4858 ul	$S_{Hst}$	4,102 ul
					$b_r$	1,5625 ul	$S_{Fst}$	73,507 ul

Фиг. 5 Данни от софтуерното пресмятане за предавката  $z_{1\min} + z_{2\min}=16$



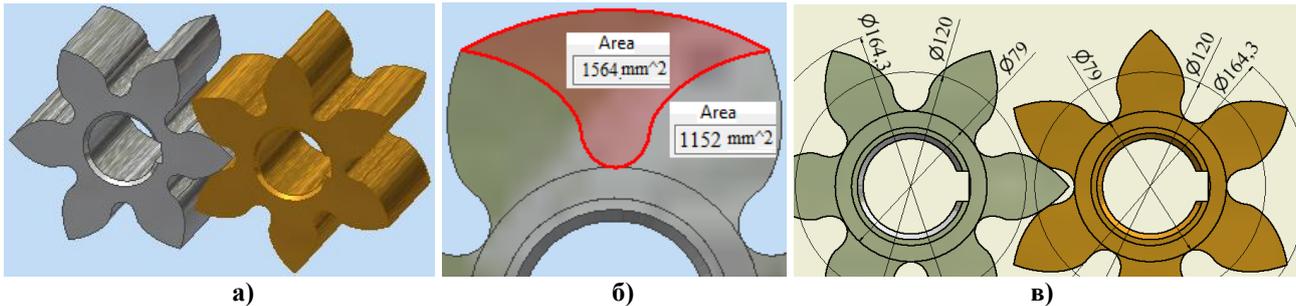
Фиг. 6 Коригирана зъбна предавка с минимален брой зъби на зъбните колела  $z_1=8$  и  $z_2=8$ : а) CAD модел на предавката; б) площ в челно сечение на зъбите и междузъбията; в) геометрични параметри

При тази предавка зъбните колела в челно сечение имат площ на междузъбието  $A_{e3,4}=945 \text{ mm}^2$  и площ на зъба  $A_{s3,4}=827 \text{ mm}^2$ . Колелата са с външен диаметър  $d_{a3,4}=167,7 \text{ mm}$  и модул  $m=16 \text{ mm}$ .

**3 случай** – Двете колела в зъбната предавка са с минимален брой зъби  $z_{1\min} = z_{2\min}= 6$ , с приложени корекции чрез изместване и въведени модификации в изходния произвеждащ контур – ъгливи  $\alpha = 30^\circ$  и променени: коефициент на: радиална хлабина  $C^*$  и радиус на закръгление  $r_f^*$  в основата на зъба (фиг. 7 и фиг. 8).

Unit Tooth Sizes				Results		Results		
	Gear 1	<input checked="" type="checkbox"/> Gear 2						
Addendum	$a^*$	1,0000 ul		1,0000 ul	$i$	1,0000 ul	$F_t$	5622,780 N
Clearance	$c^*$	0,1435 ul		0,1435 ul	$e$	1,0774 ul	$F_r$	3713,656 N
Root Fillet	$r_f^*$	0,2000 ul		0,2000 ul	<b>Gear 1 Gear 2</b>		$F_a$	0,000 N
Pressure Angle	30,000 deg				$d_a$	164,303 mm	$F_n$	6738,464 N
Total Unit Correction	Unit Correction	Unit Correction		Unit Correction	$d$	120,000 mm	$v$	0,377 mps
0,2392 ul	0,1196 ul	0,1196 ul		0,1196 ul	$d_f$	79,044 mm	$n_{E1}$	38589,139 rpm
					$x_z$	0,7765 ul	<b>Gear 1 Gear 2</b>	
					$x_p$	0,2935 ul	$S_H$	1,324 ul
					$x_d$	0,1196 ul	$S_F$	49,187 ul
					$s_a$	0,0000 ul	$S_{Hst}$	3,688 ul
					$b_r$	1,6667 ul	$S_{Fst}$	74,194 ul

Фиг. 7 Данни от софтуерното пресмятане за предавката  $z_{3\min} + z_{4\min}=12$



Фиг. 8 Зъбна предавка с приложени корекции и модификации:  $z_{5min}=6$ ;  $z_{6min}=6$ : а) САD модел на предавката; б) площ в челно сечение на зъбите и междузъбията; в) геометрични параметри

За проектираната предавка големината на площта на едно междузъбие в челно сечение е  $Ae_{5,6}=945 \text{ mm}^2$ , а на един зъб –  $As_{5,6}=827 \text{ mm}^2$  при външен диаметър на колелата  $da_{5,6}=164,3 \text{ mm}$  и модул  $m=20 \text{ mm}$ .

### 3. Анализ на получените резултати в зависимост от технологичното предназначение

- При съпоставяне на площите на междузъбията в челно сечение на първите две зъбни предавки се вижда (фиг. 9), че  $Ae_{1,2} < Ae_{3,4}$  като разликата е 2,6 пъти ( $945:361=2,62$ ), т.е. площта на междузъбието на втората зъбна предавка ( $z_3+z_4=16$ ) е над два пъти и половина по-голямо от това на първата ( $z_1+z_2=30$ ) при приблизително равни външни диаметри ( $da_{1,2}=170 \text{ mm}$  и  $da_{3,4}=167,7 \text{ mm}$ ).

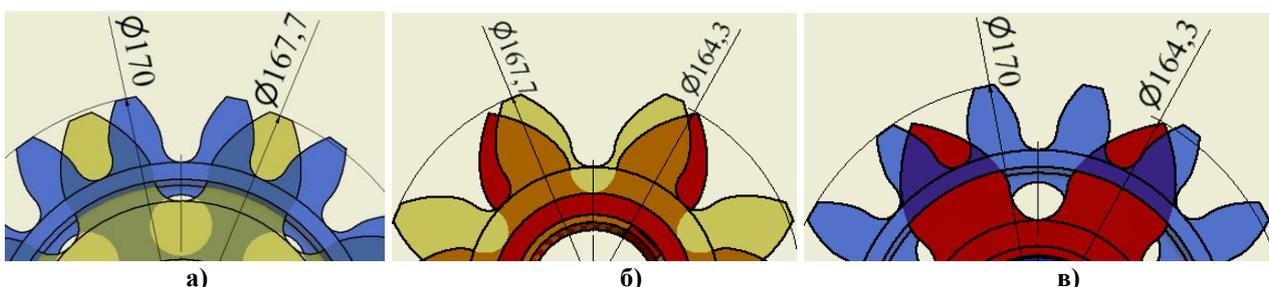
- Площта на зъбите, съпоставена между колелата на първите две предавки е в почти същата пропорционална зависимост  $As_{1,2} < As_{3,4}$  ( $827:333=2,48$ ), т.е. един зъб от зъбното колело на втората зъбна предавка е с почти два пъти и половина по-голямо напречно сечение спрямо площта на зъб от колело на първата предавка.

- При съпоставяне на втората ( $z_3+z_4=16$ ) и третата ( $z_5+z_6=12$ ) проектирани предавки съотношението на площите в челно сечение е следното:

- площта на междузъбията:  $Ae_{3,4} < Ae_{5,6}$  ( $1564:945=2,48$ );
- площта на зъбите:  $As_{3,4} < As_{5,6}$  ( $1152:333=1,4$ ).

- При съпоставяне на първата ( $z_1+z_2=30$ ) и третата ( $z_5+z_6=12$ ) зъбни предавки съотношението на площите в челно сечение е следното:

- площта на междузъбията:  $Ae_{1,2} < Ae_{5,6}$  ( $1564:361=4,33$ );
- площта на зъбите:  $As_{1,2} < As_{5,6}$  ( $1152:333=3,5$ ).



Фиг. 9 Съотношение на площите на междузъбията и зъбите на проектираните зъбни предавки: а) между 1 и 2 случай; б) между 2 и 3 случай; между 1 и 3 случай

### 4. Изводи:

- Зъбни предавки с цилиндрични зъбни колела с външно зацепване с успоредни оси и с прави зъби, броят на които са равни при двете колела, при използване на стандартна методика (по ISO) за тяхното пресмятане и произведени със



стандартен режещ инструмент от гребенен тип с приложени корекции и модификации в изходния произвеждащ контур не може да бъде по-малък от 6 при спазване на условията за:

- неподрязване в основата на зъбите;
  - незаостряне при върха на зъбите;
  - коефициент на челно припокриване  $\varepsilon \geq 1$ ;
  - коефициенти на контактна якост и на огъване, съответно по-големи от минимално допустимите  $S_{Hmin}=1,3$  и  $S_{Fmin}=1,7$ .
- С намаляване на броя на зъбите  $z$  и увеличаване на стойността на модула  $m$  при приблизително равни външни диаметри ( $d_a \approx 170$  mm) се постига увеличаване на обема в междузъбията и нарастване на дебелината на зъбите на колелата от проектираните зъбни предавки.

За разглежданите случаи, при предавателно отношение  $i=1$  и:

- брой зъби на колелата от първата зъбна предавка  $z_1=15$ ;  $z_2=15$  при модул  $m=10$  mm, и
- брой зъби на колелата от третата зъбна предавка  $z_1=6$ ;  $z_2=6$ ; модул  $m=20$  mm, се вижда че:
- разликата в площта на междузъбията в челно сечение е  $Ae_{1,2} < Ae_{5,6}$  ( $1564:361=4,33$ ), т.е. постигната е над четири пъти по-голяма площ на междузъбията при приблизително еднакви габарити на зъбните колела за разглежданите случаи (фиг. 9в).

Постигнатите резултати са предпоставка за успешно използване на този вид предавки като ТЗМ за дезинтеграционни процеси. Особеностите в геометрията и възможността за изменението и в изложения аспект би позволила смилане на по-големи фракции, увеличена производителност, при същевременно висока товарносимост на зъбите и работния орган като цяло.

### **Заключение:**

Основната част от поставената цел е постигната. Проектирани са зъбни предавки, които ще бъдат използвани като базови при създаването на ТЗМ. Разглежданият проблем търпи развитие и проектирането и изследването на подобни зъбни механизми ще бъде продължено в две насоки – научноизследователска и експериментална. Предвижда се в следващи публикации да бъдат обхванати по-детайлно силови, кинематични, геометрични параметри, както и качествени показатели и ефективност на ТЗМ от разглеждания вид.

### **Благодарности:**

Авторът на статията изказва благодарност на фирма Би Ем Джи Дейта – официален дистрибутор на Autodesk за България за оказаното съдействие при изготвянето и публикуването на материала.

### **Литература:**

1. Григоров Б. Въведение в Inventor. София, „Перфект Консулт ООД“, 2006.
2. Тонков Г. Учебно пособие за проектиране на машинни елементи. ПРОПЕЛЕР, 2018.
3. Foft P., J. Kletecka. Autodesk Inventor Adaptive Modeling in Industry. Brno, „Computer Press“, 2006.
4. Tonkov G., Tonkova G., Teofilova M. PLM-Technologies - correct planning an governance of industrial production, economics, ecology and business. Journal of International Scientific Publication: Economy & Business, Volume 3, Part 1 (page 226-234). ISSN 1313-2555, 2009.



**THEORETICAL ASPECTS OF GEARS WITH A SMALL NUMBER OF TEETH FOR THE  
REALIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

**Tonkov G.**

***Abstract:** The paper presents comparative variants of cylindrical gears with a small number of teeth. They perform an external meshing between two co-operating gear wheels. The gear wheels have the same number of teeth and approximately the same overall dimensions. The number of teeth is minimal, taking into account certain criteria regarding the design and functionality of the mechanisms. Gears are aimed at the implementation of production technological processes. For this reason, they are called technological gears (TGIs), and the working mechanisms they build - technological gears (TDMs).*

**Данни за автора:**

Георги Петров Тонков, доцент доктор инж., катедра „Машинни елементи и неметални конструкции”, Машиностроителен факултет, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. „Кл. Охридски” № 8, тел.: 02/965 26-68, e-mail: gptonkov@tu-sofia.bg.



# ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СЪВМЕСТИМОСТ ПРИ ЕЛЕКТРОИНСТРУМЕНТИ С ИЗОЛИРАНИ ЧЕТКИ

М. Дочев, Ц. Найденов

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани предимствата при използването на импрегнирани (изолирани) графитни четки за ръчни електро инструменти (РЕИ) и са показани резултатите от направените изследвания на машини със и без използването на такива четки. Изпитанията са проведени върху 3 бр. електро инструменти, производство на „СПАРКИ ЕЛТОС“ АД – Ловеч, за различни материали и компаунди от водещи световни фирми. Симулирани са различни експлоатационни режими и са изведени предписания за въвеждането на импрегнирани (изолирани) четки в някои основни производи (модели), с цел намаляване на нивото на излъчваните смущения от колекторно-четковия апарат.

**Ключови думи:** ръчен електро инструмент, електромагнитна съвместимост, импрегнирана графитна четка.

## 1. Въведение

Електромагнитна съвместимост (ЕМС) е способността на техническите средства едновременно да работят в реални условия с необходимото качество, когато са изложени на непреднамерени електромагнитни смущения и да не създават неприемливи електромагнитни смущения към други технически средства. В по-широк смисъл ЕМС е свойството на едно електромеханично устройство да работи задоволително в неговата електромагнитна среда, без да оказва влияние върху обкръжаващите го устройства или да се влияе от тях. Електромагнитната съвместимост (ЕМС) е отрасъл на електротехниката, който се занимава с генериране, разпространение и приемане на електромагнитна енергия, която може да причини нежелани ефекти като електромагнитни смущения (ЕСм) или дори физически повреди в експлоатационното оборудване. Целта на ЕМС е правилното функциониране на различно оборудване в обща електромагнитна среда.

Електромагнитната съвместимост обхваща: излъчването на смущения, уязвимостта и устойчивостта (имунитета) на приемниците към тях и връзките, чрез които смущенията достигат до приемниците. Освен изследването на самите явления, ЕМС разглежда и мерките за противодействие, като режими на контрол, проектиране и измерване, които трябва да се предприемат, за да се предотврати емисиите да причиняват неблагоприятни ефекти.[1]

Ръчните електроинструменти (РЕИ), синтезирани по схема задвижващ еднофазен колекторен двигател (ЕКД)-редуктор (Р)-изпълнителен орган (ИО), работят в режими на чести включвания и изключвания, при натоварвания от празен ход до определено поносимо претоварване. Налице са преходни режими и динамични процеси, протичащи едновременно при изменението на няколко параметъра на електроинструмента [2] .

В общ случай, динамичните режими в РЕИ възникват при изменение на натоварването върху работният инструмент, респ. изходящият вал на машината, при включване на машината и изключването ѝ от мрежата, реверсиране, къси съединения в намотките, при изменение на напрежението и честотата на изводите на машината, при изменение на параметрите ѝ и др. В реалните условия динамичните режими протичат при едновременно изменение на няколко фактора. Комбинациите от фактори, влияещи върху динамиката, могат да бъдат твърде разнообразни (изменение на напрежението, честотата, параметрите на електроинструмента и др., като приоритетно обикновено е изменението на натоварването. Времетраенето на динамичните режими е сравнително краткотрайно, но от характера на



протичането им във времето в значителна степен зависи надеждността на работа на електроинструмента в експлоатацията[2,3] .

Работата на колекторно-четковия апарат (КЧА) в голяма степен определя експлоатационната надеждност на машината. На техническото състояние на КА въздействат основно две групи фактори: електрически и механични. Електрическите са в зависимост от материала (марката) на четката, степента на комутация, асиметрията в магнитната система (силно изразена в този тип двигатели), положението на четкодържателите по периферията на колектора и разположението на четките спрямо геометричната неутрална ос, състоянието и размера на контактната площ по колектора и др. Механичните фактори включват балансирането на котвата (допустимия дебаланс), монолитността, вида качеството на обработка на колектора, състоянието на четките и контактния им натиск върху колектора и др. Тук също така са от голямо значение възникващите вибрации, динамичните удари, свързани с характерното променливо натоварване при експлоатацията на тези машини и др.[4].

Комутационния процес неизбежно е свързан с появата на искрене под четките, което трябва да е в допустими стандартизирани норми. Искренето се дължи на електромагнитни и механични причини. Първите са свързани с комутационния процес. Когато колекторните пластини излизат под четката, електрическата верига се прекъсва и възникват краткотрайни електрически дъги. Искренето то механични причини е поради нарушаването на контакта между колектора и четката. Предизвиква се от елиптичност на колектора вследствие неравномерно износване, от биене на работната повърхност, от радиално изместване на колекторни пластини, от недостатъчна контактна сила (умора на контактните пружини) и др. Силното искрене поражда интензивно износване на КЧА и същевременно е източник на силни електромагнитни излъчвания вкл. и радиосмущения. Затова тези РЕИ се снабдяват с филтри (група от кондензатори), които шунтират тези високочестотни колебания, възникващи при комутацията.

Иновационен подход за намаляване нивото на смущенията вследствие комутацията и породени от трептенията на четката е използването на т.н. импрегнирани (изолирани) графитни четки.

### **2. Технологични особености при импрегниране на графитни четки**

При импрегнация (инжектиране на полимерна смола в порите на въглерода) е възможно да се променят свойствата и експлоатационните характеристики на четката. Ефектите от това импрегниране със смола са:

- Намаляване на износването на четката в разреден или сух въздух;
- Контролиране на външния слой (покритието), когато е трудно да се поддържа задоволителна стабилност в тежки работни условия;
- Намалява се леко комутационната способност в сравнение с основния материал;
- Увеличаване живота на четката;

Степента на прилагане на тези качества зависи от:

- Смола – използване (всички от термо – втвърдяващ тип );
- Степен на импрегнация: относително (релативно) количество смола, задържана от четката;

Употребата е ограничена от характеристиките на машината, и преди всичко нейните работни условия, дефинирани от честотата и стойността на променливите натоварвания, околна среда и др.

Особеното е, че смолата втвърдява в известна степен четките. По тази причина, всъщност е добра практика да се позволи в най – общия случай по – високо налягане на четките от нормално използваното, особено ако машините са изложени на удари или вибрации.



Характеристиките на електрическият графит, създаден по време на процеса на графитизиране, могат да бъдат модифицирани с прецизност чрез импрегниране с различни импрегниращи среди. Материали като пластмаси, метали, соли или въглерод са подходящи за пълнене на порестата система, създадена по време на графитизиране. В допълнение към адаптираната модификация на електрическите и механичните характеристики, многобройни други характеристики могат да бъдат адаптирани към съответното приложение. По този начин може да се увеличи устойчивостта на окисляване, подобрена износоустойчивост и да се повлияе на топлопроводимостта. Може да се постигне и по-добро подтискане на искри, както и намаляване на шумовите емисии (например с въглеродни четки). За тази цел се предлага широка гама от импрегниращи среди: изкуствени смоли (главно дуромерни смоли, като фенолни, фуранови, епоксидни и акрилни смоли).

### **Намаляване на механичното колебание на четките чрез импрегнирането им.**

Това е получено при въглероден графитен материал от L-серия, който съдържа, поради началната суровина и метод на производство, леко абразивни компоненти, които предотвратяват оцветяване върху колектора и същевременно увеличава коефициента на триене. Чрез импрегниране тези въглеродни четки с импрегниращи агенти, напр. с F7, F10, F12, F13, F20, F25, F101 и F131, коефициентът на триене може да се намали. Тези импрегнации трябва не само да се разглежда като средство за подпомагане на комутацията, но и като подобрение експлоатационния срок на четката. Споменатото намаление на коефициента на триене е в резултат на по-гладка четка, което означава че за единица време повече контакт точки са налични за токоподаването в контакта-четка-ламела. Това на свой ред обикновено води до намаляване на температурата на колектора, по-малко искрене и намаляване на радиосмущенията.

Въглеродната четка е импрегнирана в емулсия, съдържаща полиестер силоксан или полиметилсилоксан като импрегниращ агент. Четките се потапят в емулсия от импрегниращия агент, най-добре във вакуум. За предпочитане периодът от време да е между 0.5 и 5 часа, по-специално между 1.5 и 2.5 часа. След това, въглеродната четка или въглеродната пръчка се отцеждат и след центрофугиране, се суши при температура приблизително 80°C. След това въглеродната четка е готова за използване или въглеродната пръчка може да бъде незабавно обработена до желаната форма за въглеродната четка.

При импрегнацията е необходимо да се обърне внимание на технологията за получаване на четките тъй като е възможно размерите ѝ да се различават преди и след процеса. Наблюдава се максимално подуване на четката, тъй като материала се полимеризира на 210°C и е напълно възможно след изпичане да се получи максимално подуване. Това би довело до заклиняване в четкодържателя и отказ на машината.

Известни са две основни технологии за производство на четки .

Първата е чрез рязане на блок с определени размери, като импрегнирането е направено преди разрязване на блокчето.

Втората технология позволява да се създаде четка без механична обработка, а именно чрез матрица и поасон, чрез който се притиска материала в гнездото ( метод на праховата металургия ).

Именно при втория метод трябва да се обърне внимание, след импрегниране да не се променят габаритните размери:  $a$  – аксиални,  $r$  – радиални и  $t$  - тангенциални на заготовката.

### **3. Изследвания на образци**

Относно радио електричните смущения, трябва да припомним, че четките създават смущения в диапазона от 30 до 300 MHz. При смущения в диапазона от 0,1 до 30 MHz е необходимо, ако това е възможно, да се увеличи стойността на капацитета на филтриращия кондензатор, или да се промени пътят на кабелите в електрическият двигател, който често е извор на смущения чрез проводимост.

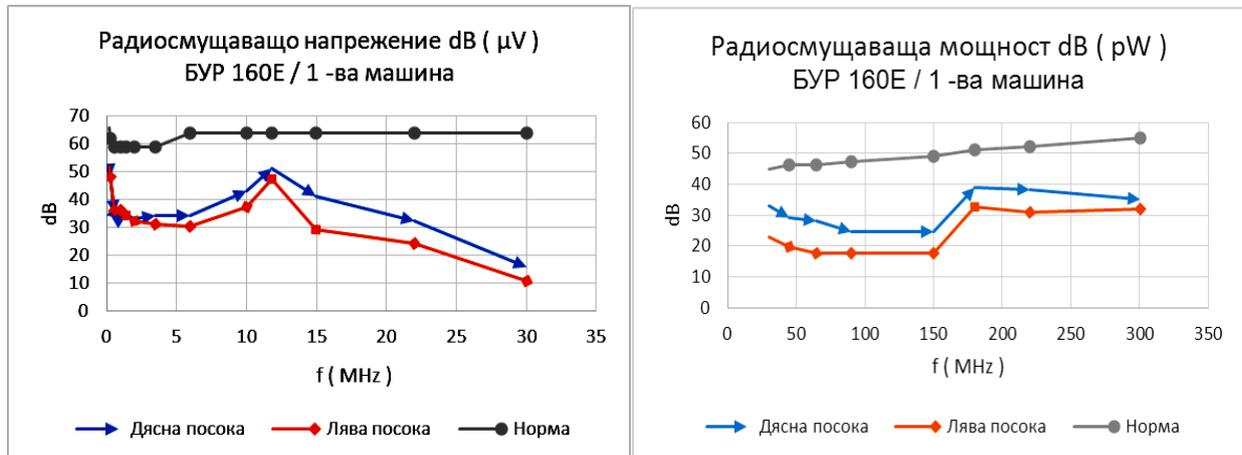


## XXVIII МНТК „АДП-2019”

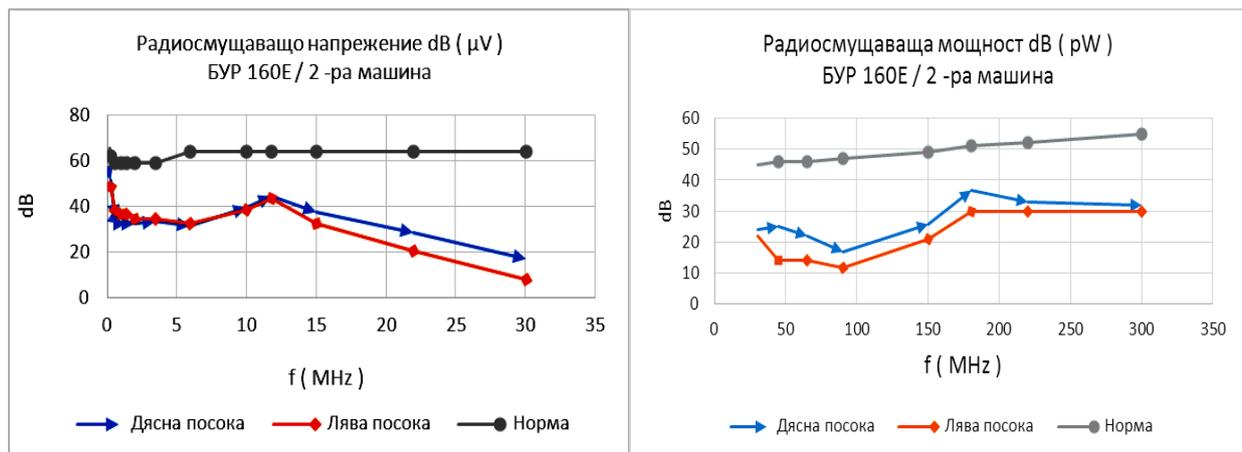
Бяха направени изпитания за радио - електрични смущения и устойчивост на износване на четките и колектора, на 3 броя машини BUR2 – 160E .

Използвана е смола WW със съпротивление 300 000  $\mu\Omega$  cm, която е предназначена за графитни четки за електрически машини.

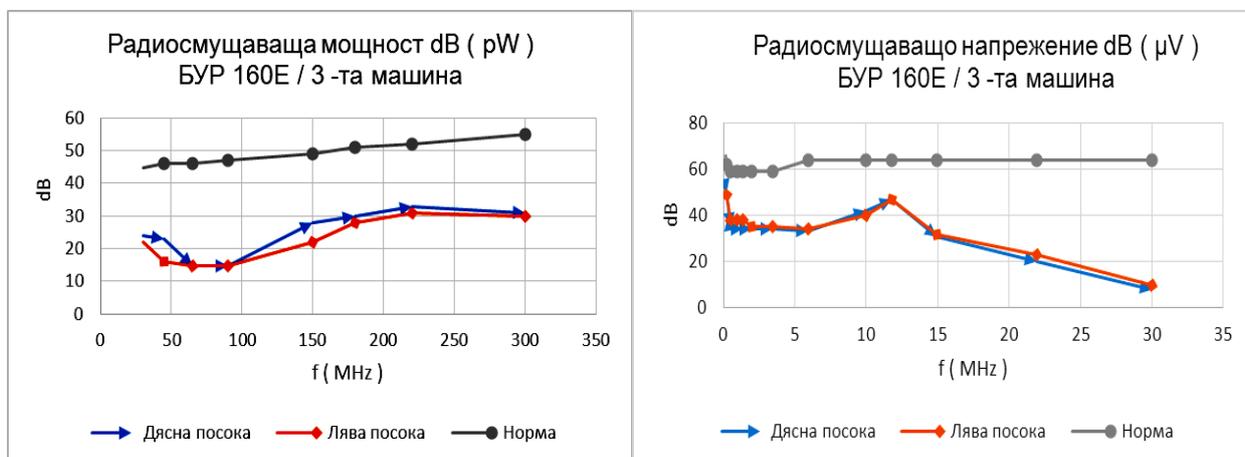
Получените резултати относно радио електрични смущения са показани на фиг.1-3:



Фиг. 1 Радиосмущаващи напрежение и мощност, образец №1



Фиг.2 Радиосмущаващи напрежение и мощност, образец №2



Фиг. 3 Радиосмущаващи напрежение и мощност, образец №3



**Резултати:** Изследвани са ръчни пробивни реверсивни бормашины, модел БУР2-160Е. Избрани са съответните им по размер графитни четки, които са импрегнирани по определена технология с импрегнационни състави. Проведени са серия от изпитания на тези машини, както при използване на четки от масовото производство, така и с импрегнирани четки.

#### 4. Изводи:

- Представена е технология за получаването на импрегнирани (изолирани) графитни четки за РЕИ.
- Резултатите показват съществено намаляване на температурата на колектора, намаляване на износването от ерозия и увеличаване на ресурса му. Използваните при експериментите карбонови четки са особено подходящи за влагане в машини, които имат между колекторна изолация без азбест (миканит).

#### Литература:

1. Дамянов Д. Д., Електромагнитна съвместимост на радиоелектронната апаратура, Военно издателство, София, 1983.
2. Дочев М., Динамични режими и техническа диагностика на ръчни електроинструменти, Дисертация, ТУ – София, 2016.
3. Жилевски М., Многокоординатни системи за електрозадвижване на клас металорежещи машини, Дисертация, ТУ– София, 2015.
4. Шантаренко С. Г., Повышение качества токосъема в контакте „щетка-коллектор“ электродвигателя, Омский научный вестник № 5 (149), 2016.
5. Фирмени материали: LE CARBONE – LORRAINE, Schunk Kohlenstofftechnik GmbH, Hoffmann & Co., Elektrokohle AG.
6. <https://bg.wikipedia.org/wiki>

## ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY SURVEY IN INSULATED BRUSH ELECTRIC INSTALLATIONS

**M. Dochev, C. Naidenov**

***Abstract:** This paper explores the advantages of using impregnated (hand-held) hand-held power tool brushes (REIs) and shows the results of machine tests with and without the use of such brushes. The tests were carried out on power tools produced by of "SPARKY ELTOS" AD - Lovech, for various materials and compounds from leading world companies. Different modes of operation have been simulated and prescriptions have been issued for the introduction of impregnated brushes in some major manufacturers to reduce the level of radiation emitted by the collector brush.*

#### Данни за авторите:

Милко Ганчев Дочев, гл. ас. д-р инж., катедра „МКСЕ” при ТК-Ловеч, Р. България, Ловеч, ул. “С. Съев” № 31, тел.: 0887284990, e-mail: dochev@mail.bg

Цветан Христофоров Найденов, ас. инж., катедра „МКСЕ” при ТК-Ловеч, Р. България, Ловеч, ул. “С. Съев” № 31, тел.: 0895348657, e-mail: cvetannaidenov@abv.bg



## ВИДОВЕ МАТЕРИАЛИ ЗА ЛИФТЕРИ

Н. Стоименов, М. Панева, Т. Пенчев

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани методи за изследване на твърдост. Обърнато е внимание на методът на Бринел. Разгледан е ISO стандартът, прилаган при измерване на твърдост. Анализирани са видове материали, използвани при автогенни, полу-автогенни и топкови мелници. Представени са стойностите на твърдост по Бринел на материалите. Разгледани са приложенията им в различните видове мелници.

**Ключови думи:** материали, метали, твърдост, мелници.

### 1. Въведение

Добиването на полезни изкопаеми със съдържание на полезни минерали се обработва и се получава т.нар. изходен продукт. Осъществяването на ефективен обогатителен процес изисква изходния продукт да претърпи технологична преработка за осредняване на минералния и химичния състав на продукта.

Друг важен елемент от мелниците (топкови, автогенни, полу-автогенни) е наличието на вътрешна облицовка (лифтери или т.нар. повдигачи), които имат за цел да предпазват барабана на мелницата и в същото време да спомагат за издигането както на материала за смилане, така и на мелещите тела. Тези лифтери е необходимо да бъдат изработвани от здрави материали, сравнение с мелещите тела с цел по-голяма износостойчивост.

При мелниците влияние оказват някои ключови фактори, които подобряват производителността и качеството на изходния продукт. Ключови фактори като: зареждане с определен процент материал за смилане; процент за запълване; размер на използваните мелещи тела (по възможност да бъдат с най-малки размери, с което се постига максимална контактна площ между средата и материала за смилане); време за смилане; не се допуска повишаване температурата на мелницата и други [1]. Целта на статията е да бъдат разгледани използваните материали за производство на лифтери.

### 2. Методи за измерване на твърдост

Твърдостта представлява повърхностното съпротивление, което материалът въздейства на постоянна деформация, като надраскване и повърхностно проникване. Тази стойност може да се определи чрез различни процедури, като например надраскване, отскачане или отстъп. Като цяло, тези методи са бързи, икономични и минимално разрушителни процедури и следователно представляват общ ресурс за приемане, характеризиране и подбор на материали. Тестовите за твърдост, които най-често се използват за метални материали, са Бринел, Рокуел, Викерс и др [2].

Процедурата за измерване на твърдостта на Бринел се определя от серията стандарти ISO 6506 [3]. Стандарт ISO 6506-1: 2014 [3] гласи, че изпитването се извършва чрез прилагане на сила със сферичен накрайник върху повърхността на тестовия блок при специфични условия, които варират в зависимост от материала, който се изпитва. Стойността на твърдостта на Brinell (Бринел) е функция от диаметъра на накрайника  $D$ , силата на изпитване  $F$  и средния диаметър на вдлъбнатината  $d$ , която се получава от два диаметъра на вдлъбнатината, измерени при  $90^\circ$  [2, 3, 4].

### 3. Видове материали използвани при индустриални мелници

Изборът на материал е индивидуален в зависимост от рудата, спецификата на мелницата, както и в зависимост от средата на пулпата, размера на топките и скоростта на мелницата. Използват се следните материали [5].

### **3.1. Аустенитна манганова стомана-Хатвилдова стомана**

Тя се използва за лифтери тип решетка (фиг. 1.), обикновено при по-малки мелници. Тази стомана може да издържи на екстремни въздействия без счупване. Не магнитен материал, притежаващ висока якост, пластичност и устойчивост против износване. Свойствата на Хатвилдовата аустенитна стомана, съдържаща 12÷14 % манган се проявяват само след закаляване от температура 1000-1025 °С във вода. Неговият най-голям недостатък е трудността при премахването след дълга употреба. Хатвилдова стомана съдържа и 1.2% С. Голямото му предимство е, че се втвърдява при удар, основата остава твърда и може да издържи на екстремни удари без счупване. Лайнерите могат да бъдат трудни за отстраняване и могат да повредят черупката на мелницата. Термичната обработка заздравява мангановата стомана - разтвор за закаляване и закаляване. В закалено състояние Хатвилдовата стомана притежава твърдост 180-230 НВ. Максимално получаваната твърдост след ударното въздействие е около 500-600 НВ, достатъчно висока за осигуряване на добра износоустойчивост. [1, 5, 6, 7].



**Фиг. 1. Лифтери тип решетка**

### **3.2. Ниско въглеродна хромирана стомана.**

Те са с твърдост от 350 по Бринел (ВН) и обикновено се използват за автогенни и полу-автогенни мелници. Има отлични характеристики на износване с добра устойчивост на удар. Има отлични характеристики на износване с устойчивост на удар, най-често се използва при решетките за изпразване, където се изисква малко по-добра устойчивост на удар в сравнение с по-високите въглеродни хромирани стомани или за тънки профили.

### **3.3. Високо въглеродна хромирана стомана с молибден.**

Твърдост 325-380ВН. Хромът и молибденът поотделно увеличават закалеността на нисколегирани стомана. Важни синергични ефекти, които все още не са напълно определени, могат да се появят и когато Cr и Mo се използват вместо единични елементи. Хромът носи устойчивост на корозия и окисление, висока температура и устойчивост на абразия (надраскване). Молибденът спомага за поддържането на специфична закаленост и повишава силата на опън приплъзване при висока температура. Изделията от неръждаема стомана се отличават със своята устойчивост на корозия, която се увеличава с увеличаване на съдържанието на хром. Добавянето на молибден увеличава устойчивостта на корозия и устойчивост на киселини и срещу питингова корозия в хлоридни разтвори. Този вид обикновено се подлагат на топлинна обработка до определени свойства. Използва се за плочи при полу-автогенни мелници.



Съществуват редица вариации с различно съдържание на въглерод или хром. Измененията имат отношение към размера на обвивката и дебелината на профила му [5, 6, 7].

### 3.4. Високо хромни железни облицовъчни плочи.

Те са с твърдост от 650 ВН и имат отлична устойчивост на износване и се използват в прътови и топкови мелници. Те са по-ниска цена от хром молибденовите бели чугуни.

### 3.5. Хромово-молибден бели чугуни за облицовъчни плочи.

Твърдостта им е 600-700 ВН и се препоръчват се за използване при големи топкови мелници и топкови мелници за производство на цимент. Устойчиви са на износване. Това се дължи на големия обем на първичните комплексни карбиди и на пълния мартензитен матричен състав. Ковък чугун: отливка като бяло желязо, след това подложена на повишена температура или топлинна обработка, за да се придаде пластичност. Състои се от закален графит в феритова или перлитна матрица [5, 6, 7].

### 3.6. Високо легиран бял чугун.

Терминът чугун се отнася до тези железни въглеродни силициеви сплави, които съдържат 1,8% - 4 въглерод (С) и обикновено 0,5% - 3% силиций (Si). Чугунът е важен инженерен материал с редица предимства, главно добра отливка и обработваемост и умерени механични свойства. Белият чугун съдържа 1,8%-3,6% С, 0,5%-1,9% Si, 1%-2% манган (Mn). Белите чугуни се наричат така, при счупване, повърхността на фрактурата е бяла [8, 9, 10].

Твърдостта на отливките от бял чугун с високо съдържание на сплав обикновено попада в обхвата от HB 450 до HB 800, докато твърдостта на нисколегирания бял чугун (легиращо съдържание по-малко от 4%) обикновено е в диапазона от HB 350 до HB 550

Високолегираните бели чугуни попадат в две основни групи:

- Никел (Ni) - хром (Cr) бели чугуни - Това са чугуни с ниско съдържание на хром, съдържащи 3% до 5% Ni и 1% до 4% Cr.
- Хром-молибден (Mo) бели чугуни - тези бели чугуни съдържат 11% до 23% Cr, до 3% Mo и често допълнително легирани с Ni или мед (Cu).

### 3.7. Никелов хромиран бял чугун Ni-hard.

Ni-Cr твърдите бели чугуни са много изгодни материали за използване при раздробяване и смилане. Това са мартензитни бели чугуни, където Ni е основният легиращ елемент. Ni при нива от 3% до 5% е ефективен за потискане на трансформацията на аустенитната матрица в перлит, като по този начин се гарантира, че при охлаждане в матрицата се развива твърда мартензитна структура (обикновено съдържаща значителни количества задържан аустенит). Процентът на Cr в тези легирани бели чугуни е в граници от 1.4% до 4%, за да се гарантира, че твърдите вещества се втвърдяват карбидни, т.е. да се противодейства на графитизиращия ефект на Ni. Този тип материал е с твърдост от 550 ВН и се използвани в мелници за пръти и топкови мелници, където влиянието на този чуплив материал е ниско.

Оптималният състав на Ni-Cr бял чугун зависи от свойствата, необходими за експлоатационните условия, размерите и теглото на отливката. Устойчивостта на износване обикновено е функция на обема твърдост и обема на карбида в микроструктурата.

Има четири вида Ni-Cr бели чугуни. Първият тип се нарича „клас I тип А“ или „Ni-Hard 1“. Този вид бял чугун се използва, когато основното изискване е устойчивост на абразия, а от второстепенно значение е устойчивост на ударно натоварване.

Вторият тип се нарича „клас I тип В“ или „Ni-Hard 2“. Този вид бял чугун има по-висока издръжливост, поради по-малко карбид и се използва в областите, където има повтарящо се въздействие.



## XXVIII МНТК „АДП-2019“

Третият тип се нарича "клас J тип C" или Ni-Hard 3 ". Той е от специален клас, който има Ni-Cr състав. Използва се при студено леене, специализирани процеси на леене на пясък и производство на мелници.

Четвъртият тип се нарича „Клас I тип D“ или Ni-Hard 4. Той е модифициран Ni-Cr чугун, който съдържа по-високи нива на Cr, вариращи от 7% до 11% и повишено ниво на Ni, вариращо от 5% до 7%. Съдържанието на C в чугуна варира в зависимост от свойствата, нужни за предназначенията услуга.

Състои се от мартензитна матрица, с никел, легиран на 3-5%, за да потисне трансформацията на аустенит в перлит. Хромът обикновено включва между 1,4-4%, за да се гарантира, че въглеродната фаза се втвърдява до карбид, а не графит (противодейства на графитизиращия ефект на Ni). Устойчивостта на абразия се увеличава с въглеродното съдържание, но якостта намалява. Устойчив на абразия от клас I от клас I; якост от клас I тип B.

Ni Hard е търговското наименование на група никелови хромирани бели чугуни, притежаващи изключителна устойчивост на абразия. Ni Hard тип 1 и 2 имат доказано икономичен ефект за бял чугун при повечето условия на износоустойчивост и за въглеродни 12% и манганови стомани за износоустойчивост при условия на умерен удар. Повишено износване и ударна устойчивост са възможни с Ni Hard тип 4. Разликите в експлоатационните свойства на Ni Hards 1, 2 и 4 са обясними по отношение на техните микроструктурни характеристики. Композитното съдържание е показано в таблица 1 [5, 6, 7, 8].

Табл. 1. Съдържание и твърдост на Ni-Hard материал

	Съдържание, %								Твърдост Бринел	
	C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P	Mo	Спец.	Изп.
<b>Ni Hard тип 1</b>	3.20	0.30	0.20	3.00	1.50	0.12	0.15	0.50	550	600
(AS2027 Gr Ni Cr 1-550)	3.60	0.80	0.80	5.00	3.00	макс.	макс.	макс.	мин.	
<b>Ni Hard тип 2</b>	2.80	0.30	0.20	3.00	1.50	0.12	0.15	0.50	500	550
(AS2027 Gr Ni Cr 2-500)	3.20	0.80	0.80	5.00	3.00	макс.	макс.	макс.	мин.	
<b>Ni Hard тип 4</b>	3.20	1.50	0.20	4.00	8.00	0.12	0.15	0.50	630	670
(AS2027 Gr Ni Cr 4-630)	3.60	2.20	0.80	5.50	10.00	макс.	макс.	макс.	мин.	

Чугуните с високо съдържание на Cr имат много добра устойчивост на абразия. Тези бели чугуни се използват ефективно в шламовите помпи, тухлени форми, мелници за смилане на въглища, оборудване за взривяване, компоненти за кариери и други. При някои приложения тези легирани бели чугуни трябва също да могат да издържат на тежко ударно натоварване. Чугуните в тази група са признати като осигуряващи най-добрата комбинация от устойчивост и износоустойчивост, постижими сред белите чугуни.

Както и при повечето материали, устойчиви на износване, има изравняване между износоустойчивостта и издръжливостта на висококачествените бели чугуни. Чрез различен състав и топлинна обработка, тези свойства могат да бъдат регулирани, за да отговорят на нуждите на повечето абразивни приложения. Спецификацията ASTM A 532 обхваща съставите и твърдостите на два основни класа на чугуните с висок Cr. Черните чугуни на Cr-Mo (клас II на ASTM A532) съдържат 11% до 23% Cr и до 3.5% Mo и обикновено са налични или като отливка с аустенитна или аустенитна мартензитна матрица, или топлинно обработени с микроструктура на мартензитна матрица за максимална устойчивост на износване и якост. Тези бели чугуни обикновено се считат за най-трудните от всички видове бели чугуни. В сравнение с ниско-сплавните никел-бели чугуни, евтектичните карбиди са по-твърди и могат да бъдат термично обработени за постигане на отливки с по-висока твърдост. Mo, Ni и Cu, когато е необходимо, се добавят за предотвратяване на перлита и за осигуряване на максимална твърдост.



Чугуните с високо съдържание на Cr (клас III на ASTM A 532) представляват най-старата категория от този тип чугуни, като най-ранните патенти датират от 1917 г. Тези бели чугуни с общо предназначение, наричани също 25% Cr и 28% Cr чугуните съдържат 23% до 28% Cr с до 1,5% Mo. За да се предотврати перлита и да се постигне максимална твърдост, Mo се добавя във всички, с изключение на най-леките отливки. Практикува се и сплав с Ni и Cu до 1%. Въпреки че максималната достижима твърдост не е толкова висока, колкото в клас 2 Cr-Mo бели чугуни, тези бели легирани чугуни се избират, когато се желае устойчивост на корозия [10].

#### 4. Заключение

От направеният анализ на различни видове метали, използвани за вътрешна облицовка на мелниците или лифтерите на мелниците при автогенни, полу-автогенни и топкови мелници, може да се извадят следните изводи:

- Видът на материалът се определя от типът мелница.
- Ниско-въглеродната хромирана стомана се използва за автогенни и полу-автогенни мелници, поради характеристиките и на износване
- Материалите с високо съдържание на хром се използват при прътови и топкови мелници.
- За раздробяване са силно разпространени материали от никелов хромиран бял чугун.

#### Благодарности

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепата на проект по Фонд Научни Изследвания, „Конкурс за финансиране на научни изследвания на млади учени и постдокторанти – 2017“, договор ДМ-17/8-2017 и средства за докторанти 2019 г.

#### Литература:

1. <http://www.ballmilliners.com/sale-245253-industry-grid-cement-mill-liners-wear-resistance-with-zgcr5mo.html>
2. C. Barajas, J. de Vicente, J. Caja, P. Maresca, E. Gomez, Considerations to the hardness Brinell measurement using optical equipment, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June, Vigo, Spain (2017)
3. ISO 6506-1:2014 Metallic materials. Brinell hardness test. Part 1: Test method.
4. B. Guo, L. Zhang, L. Cao, T. Zhang, F. Jiang, L. Yan., The correction of temperature-dependent Vickers hardness of cemented carbide base on the developed high-temperature hardness tester, Journal of Materials Processing Tech.225 (2018)
5. [www.linkedin.com/pulse/grinding-mill-liners-overview-damian-conelly](http://www.linkedin.com/pulse/grinding-mill-liners-overview-damian-conelly)
6. The Selection Design and Application of Mill Liners for Large Wet Grinding Mills, MetPlant, 15-17 July 2013, Perth, Western Australia (2013)
7. [https://www.metsengineering.com/wp-content/uploads/2015/07/METS\\_Archive-Resources\\_METPLANT\\_2013\\_Selection\\_Mill\\_Liners\\_DC.pdf](https://www.metsengineering.com/wp-content/uploads/2015/07/METS_Archive-Resources_METPLANT_2013_Selection_Mill_Liners_DC.pdf)
8. Powell, M.S., Smit, I., Radziszewski, P., Cleary, P., Rattray, B., Eriksson, K., Schaeffer, L. 2006. The Selection and Design of Mill Liners. In Advances in Comminution, Ed. S.K. Kawatra. ISBN-13: 9780-87335-246-8, Society for Mining, metallurgy, and exploration, Inc., Colorado, USA. pp. 331-376 (2006).
9. [https://www.allenfoundry.com.au/ni\\_hard.php](https://www.allenfoundry.com.au/ni_hard.php)
10. [www.totalmateria.com](http://www.totalmateria.com)
11. [www.ispadguru.com/white-cast-iron/](http://www.ispadguru.com/white-cast-iron/)



**TYPES OF MATERIALS USED FOR LIFTERS**

**N. Stoimenov, M. Paneva, T. Penchev**

***Abstract:** This article examines hardness testing methods. Attention is paid to Brinell's method. The ISO standard used for hardness measurement is considered. Types of materials used for autogenous, semi-autogenous and ball mills are analyzed. The Brinell hardness values of the materials are presented. Their applications are examined in the different types of mills.*

**Данни за авторите:**

Николай Стоименов, гл. ас., д-р, маг. инж., ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 2, 1113 – София, Р. България, e-mail: [nikistoimenow@gmail.com](mailto:nikistoimenow@gmail.com)

Миглена Панева, маг. инж., докторант в ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 2, 1113 – София, Р. България, e-mail: [m.paneva7@gmail.com](mailto:m.paneva7@gmail.com)

Тодор Пенчев, доцент д-р инж. ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 2, 1113 – София, Р. България, e-mail: [tzpenchevi@abv.bg](mailto:tzpenchevi@abv.bg)



## ИЗСЛЕДВАНЕ ФЛОКЕНООБРАЗУВАНЕТО В СТОМАНА 38ХС

П. Кънчев, Е. Хаджигенова, О. Сандов, В. Цанов

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани и изследвани особеностите на флокенообразуването в едрогабаритни детайли-колянова ос от легирана стомана 38ХС при възникване и разпространение на микропукнатини при сложно напрегнато състояние след коване. Предложена е технология за противофлокенна термична обработка на едрогабаритни изковки. Съставен е изпитателен протокол с комплексни изследвания и е посочена вероятната причина за разрушаване на детайли-колянова ос от легирана стомана 38ХС.

**Ключови думи:** Микроструктура на стомана 38ХС, образуване на дефекти-флокени, механични свойства и металография на стомана 38ХС.

### 1. Въведение

В силно натоварените елементи на конструкциите и реални детайли от транспортната техника колянови оси могат да се зародят опасни микропукнатини. Два са начините на тяхното образуване: Първият от тях е свързан с образуването на пределно остри концентратори на напрежения, създадени по време на самия технологичен процес на производство, по своето въздействие върху якостта на материала те могат да се разглеждат като микропукнатини. Към тях се отнасят и дефектите - флокени, създадени при коване, леене, заваряване, механична обработка и други производствени технологични операции. В резултат на производствените технологии, новият детайл-колянова ос постъпва в експлоатация до голяма степен с вече съществуващи микропукнатини.

Вторият начин третира създаването на пукнатини в неповредения в процеса на експлоатация метал, т.е. в резултат на пластична деформация и удари, образуващи струпване на дефекти, водещи до окончателно разрушаване на детайла.[4] Известно е, че детайлите в ходовата чест на автомобилите са подложени на въздействието на сложни ударни, опън-натискови и усукващи сили и знакопроменливи напрежения, по тази причина те се изработват от легирани стомани от типа на 38ХС, която е склонна към флокенообразуване.[5]. Направената класификация не е изчерпателна. Тя потвърждава твърдението, че ефекта на легиращите елементи, във високолегираните стомани е твърде сложен и техните механични характеристики са в резултат от влияние на много различни фактори. Флокени са вредни дефекти в стоманата, имащи вид на кръгли или с неправилна форма сребристи петна по повърхността на излома на метала или във вид на тънки и дълги пукнатини на шлифованите и проявени тремплети. На проблемите с образуването на флокени в стоманите са посветени множество експериментални и теоретични научни публикации. От една страна това свидетелства за практическата важност на посочения проблем, от друга, за сложността на явленията, протичащи в метала и довеждащи до образуването на дефекти, като флокените.[3]

Историческото развитие на теориите за флокенообразуването е свързано с много хипотези. С днешна дата учените-металоведи считат, че флокените се образуват при съдържание на водорода над 4-8 см<sup>3</sup> на 100 грама от метала под действието на допълнителни вътрешни напрежения /структурни, термични и механични/, които увеличават локалната концентрация на водорода в метала и способстват коагулацията на ваканциите и струпване на дислокациите по границите на зърната и блоковете и особено на междофазните граници в структурата на метала.

Практиката доказва, че вредните флокени не се образуват мигновено, а след определен инкубационен период от време, необходимо за достигане на критично количество водород в дефектния участък на кристалната решетка, където се зараждат крехките флокени. Скоростта на притока на водород към такива участъци се увеличава с повишаването на градиента на еластичната деформация, предизвикана от възходящата дифузия на водорода. Продължителността на инкубационния период намалява с увеличаване съдържание на водород, остатъчните вътрешни напрежения и величината на зърната в метала.[2].

Извесно е, че една от главните причини за образуването на флокени в едрогабаритните изковки е повишеното съдържание на водорода в стоманата. Флокените обикновено се наблюдават след пластична деформация на стоманата: /прокат, шамповане, коване/, понякога се срещат и при отливките на стоманите. Като правило тези дефекти, са разположени в централната част и нямат определена ориентация. В едрогабаритните изковки, флокените се разполагат в ликвационите участъци, обогатени с въглерод, фосфор, сяра и множество легиращи елементи, които се наблюдават и са показани на фиг.1.

От представеният за анализ разрушен детайл-колянова ос с диаметър - 69 mm бяха изработени 8 шлифа от местата на образуваната пукнатина, 4 епруветки за якост за опън и 4 за якост на удар, които са показани на фиг.1.



**Фиг.1.** Разрушена колянова ос от стомана 38ХС след дълги контролни изпитания от 3800 км пробег на изделието

### 2. Изходни данни

Химическият състав на легираната стомана 38ХС е определен със спектрален анализ на квантометър “ARL“- Швейцария, и е показан в табл.1. Химическият състав отговаря на изискванията на стандарта.

**Табл.1.** Химическият състав на лигираната стомана 38ХС

Хим. Елемент	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S
%	0.39	0.52	1.32	1.78	0.29	0.14	0.19	0.021	0.019

За изследване на микроструктурата на метала са изрязани и изготвени по 4 надлъжни и 4 напречни металографски шлифове в няколко участъка на разрушения детайл, които са изследвани с оптически металографски микроскоп „Neofot-21“-Германия.

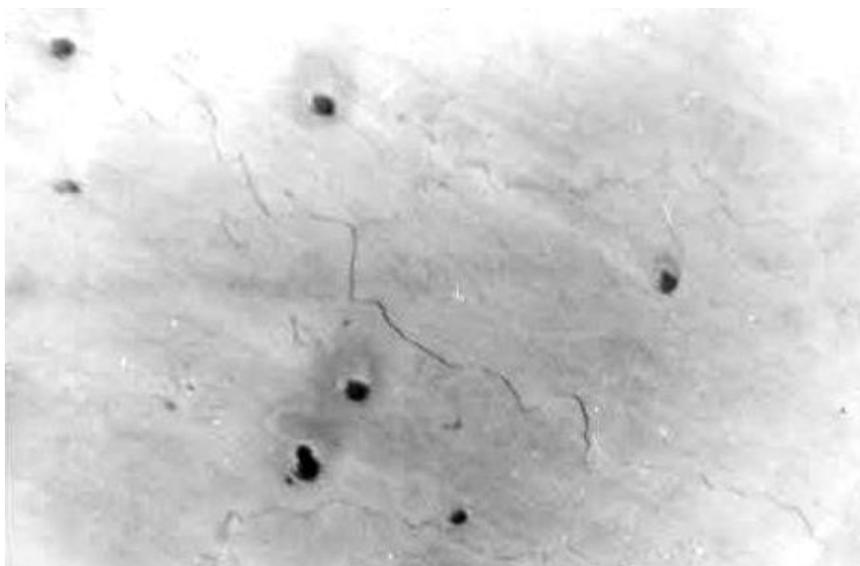
### 3. Експериментални резултати

При проведеният металографски анализ на шлифовете се наблюдава следната замърсеност от неметални включения, описана в табл. 2 и показани на фиг.2, съгласно установения стандарт.

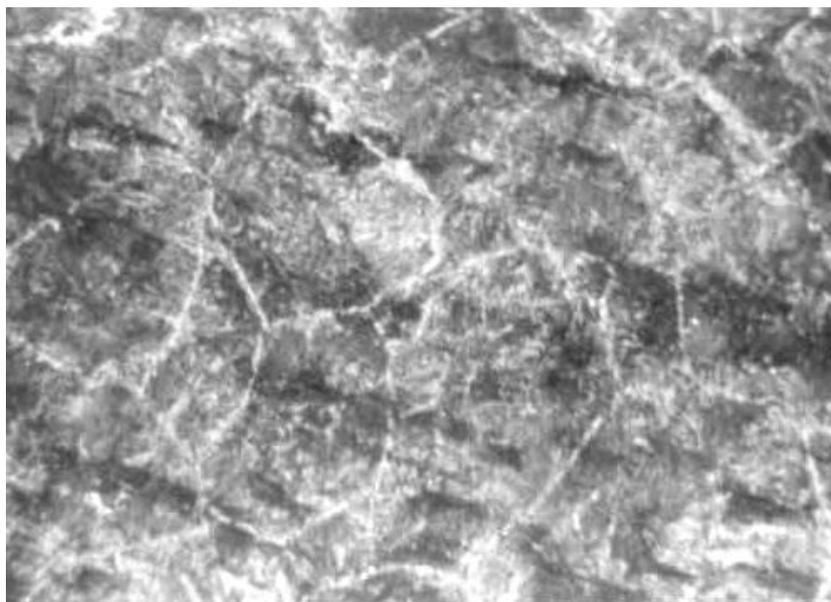
Табл.2 Неметални включвания в състава на легираната стомана 38ХС

1.	окиси – точкови с максимален бал	Бал 2
2.	крехки силикатис максимален бал	Бал 3
3.	окиси на редове с максимален бал	Бал 1
4.	силикати- недеформируеми с максимален бал	Бал 3
5.	Сулфиди с максимален бал	Бал2

Характерно за зоните около пукнатините е наличието на вторични окиси, образувани вследствие на окисляване при повторно нагриване на стоманата преди закаляване при наличие на микропукнатини. В зоните около дефектите се наблюдава образуване на дефекти-флокени.



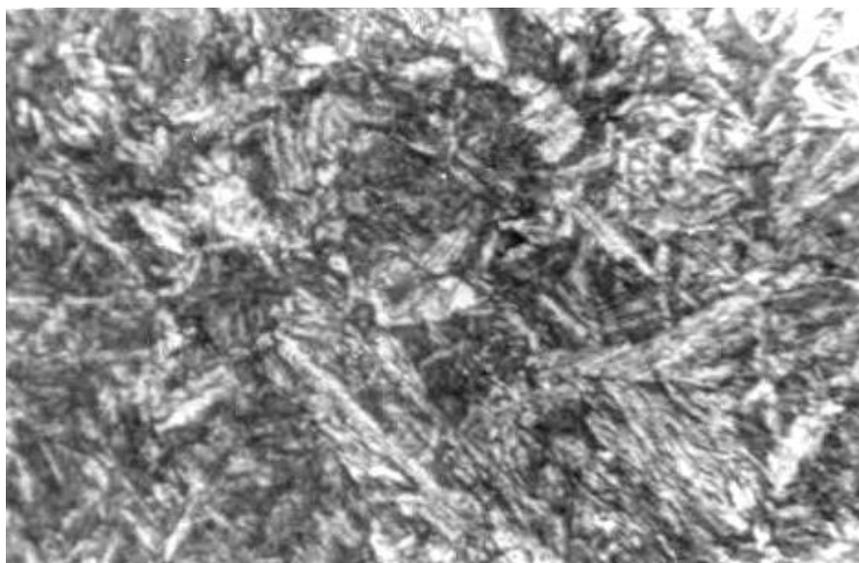
Фиг. 2.Неметални включвания в състава на стомана 38ХС



Фиг. 3. Обезвъглеродяване по границите на зърната на метала

В мястото на разрушаването се наблюдава обезвъглеродяване по границите на зърната на метала, което е показано на фиг 3. Това е доказателство, че микропукнатините са се зародили по време на изработване / коване / на детайла, но преди термичната му обработка.[3]

Микроструктурата в мястото на разрушаването е хомогенна троостито-сорбитна, еднородна и съответствува на зададения технологичен режим на термична обработка, която е показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Хомогенна троостито-сорбитна микроструктура на стомана 38ХС след стандартна термична обработка

Проведена е експертна металографска оценка на микроструктурата по стандартните изисквания, които са показани в таблица 2. [5]

Табл.2. Резултати от изследване на микроструктурата на стомана 38ХС

ГОСТ	Изисква се :	Установено е :
Централна пористост	Бал 2	Бал 1
Точкова нееднородност	Бал 2	Бал 1
Ликвидационен квадрат	Бал 2	Няма
Обща петниста ликвация	Не се допуска	Няма
Междукристални пукнатини	Не се допуска	Няма
Осева ликвация	Бал 2	Няма

Табл. 3.Механични свойства на стомана 38ХС след термична обработка

		N:1	N:2	N:3	N:4
Якост на опън, <b>Rm</b>	МРа	960	1120	1040	1210
Граница на провлачане, <b>Re</b>	МРа	740	780	740	730
Относително удължение, <b>A5</b>	%	13.1	12.7	13.2	13.6
Относително свиване, <b>Z</b>	%	69	61	62	57
Якост на удар, <b>KCU</b>	kJ/m <sup>2</sup>	720	790	770	710



Измерената твърдост по Роквел на повърхността на образците от изследваната стомана 38ХС е HRC 40-48 и отговаря на изискванията на стандарта. Механичните свойства са определени на изрязани от детайла-колянова ос по 4 броя образци за изпитание на якост на опън и 4 броя образци за якост на удар, получените експериментални резултати са показани в таблица 3. Осите на образците съвпадат с остта на детайл-колянова ос от стомана 38ХС.

#### **4. Технология за противофлокерна термична обработка на едрогабаритни изковки от стомана 38ХС**

Режимите за противофлокерна термична обработка на едрогабаритни изковки от стомана 38ХС, прилагани от [2] понастоящем, включват:

- Нормализация при температури 880°C и охлаждане на въздух.
- Закаляване при температури 900°C и охлаждане в машинно масло.
- Отпускане при температури 630°C и охлаждане във вода.
- Операции по превръщането на преохладения аустенит в еднородна бейнитна структура за легираната стомана 38ХС, притежаваща значителна устойчивост на преохладения аустенит.
- Операции за изотермичното задържане при субкритични температури, обезпечаващи повишена подвижност на водорода.
- Операции за окончателно забавяне на охлаждането от температурата на изотермично задържане, с цел обезпечаване на допустимия минимум на остатъчните вътрешни напрежения в изковките.

Първата операция се осъществява при различно преохладяне след коване в зависимост от състава на стоманата. Като утвърдено правило, изковките от въглеродни стомани и нисколегираните марки стомани се преохладят до температури 450-650°C, а на високолегираните марки стомани до температури от 300-350°C. Изборът на температурата за преохладяне се определя от кинетиката на разпада на преохладения аустенит и с отчитането на възможността за образуването на флокени в процеса на задържане при голямо преохладяне. Температурата за изотермичното задържане се колебае в пределите на температури от 600-650°C.

Задържането при субкритичните температури обезпечава частично отделяне на разтворения водород от повърхностния слой и преразпределение на водорода в централния обем. При това се намалява количеството на активно разтворения водород, което от своя страна води до намаляване на флокеночувствителността на стомана 38ХС.

Предложена е иновативна технология за противофлокерна термична обработка на детайл-колянова ос със сечение до 100 мм от легирана хромсилициева стомана 38ХС.

Нагриване на стомана 38ХС до температури ~350°C и задържане 4 ÷ 10 часа. Ново нагриване и задържане при температури Ac3+ 20 ÷ 50°C, където за стомана 38ХС е Ac3=810°C и задържане 2 ÷ 3,5 часа. Охлаждане при температури 250°C и задържане 4 ÷ 10 часа, нагриване до температури 650°C и задържане 15 ÷ 20 часа и охлаждане със скорост 30°C/час.

#### **4. Изводи:**

- Химическият състав и твърдостта по Бринел на детайл-колянова ос отговарят на изискванията.
- Механичните свойства на детайл-колянова ос са удовлетворителни и отговарят на нормите на стандарта за стомана 38ХС.
- Микроструктурата на стомана 38ХС е удовлетворителна и съответствува на зададения режим на термична обработка.
- Предложена е иновативна технология за противофлокерна термична обработка на легираната стомана 38ХС.



### **Заклучение:**

Твърдостта, химическият състав и микроструктурата отговарят на изискванията и не са причина за появата на микропукнатини и разрушаване на детайл-колянова ос. Вероятна причина са предварително зародили се дефекти-флокени при коването, но преди окончателната термична обработка на детайла. Възникналите максимални експлоатационни напрежения са способствали за възникване и нарастване на микропукнатините и разрушаването на детайл-колянова ос. Предложена е иновативна технология за противофлокена термична обработка на легираната стомана 38ХС.

### **Литература:**

1. Арзамасов Б., В. Макаров и др., Материаловедение, Москва, 2005
2. Блантер М. Е. Металловедение и термическая обработка. Москва, Машгиз, 1983, 481 с.
3. Башнин Ю. А., Б. К. Ушаков, А. Г. Секей, Технология термической обработки, М., Металлургия, 1986, с. 425
4. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей, Справочник, ред. В. Д. Кальнер, Москва, Машиностроение, 1984.
5. Материалы в машиностроение, Справочник. том. 1 ÷ 5. Москва, Машиностроение, 1969.

### **FLOCATION STUDY ON A 38XC STEEL ELEMENT**

**P. Kunchev, E. Hadjigenova, O. Sandov, V. Tsanov**

***Abstract:** This article examines the process of flocation forming in a large-scale detail - a 38XC steel crankshaft, in the case of micro cracks occurring and spreading due to the complexity of the stress. A technology is proposed for anti-flocation thermal treatment of large-scale forgings. A comprehensive test report has been generated to deliver the findings of the extensive testing conducted on the test piece. The report also draws conclusion on the probable reason for the break the crankshaft.*

### **Данни за авторите:**

Петко Милчев Кънчев, доцент, доктор, инж., катедра “Енергетика и машиностроене” при КЕЕ към Технически университет - София, България, София, бул. “Св. Климент Охридски” № 8, тел.:9653643,GSM 0895588594. e-mail: pmk@abv.bg

Елена Симеонова Николова-Хаджигенова, докторант, инж. катедра “Текстилна техника” на Технически университет – София, България София, бул. “Св. Климент Охридски” № 8, GSM – 0877 492 469, e-mail: lenny@tu-sofia.bg

Огнян Любчов Сандов докторант, инж., катедра “Енергетика и машиностроене” при КЕЕ към Технически университет – София, България, София, бул. “Св. Климент Охридски” № 8, тел.:9653643,GSM 0877426611 e-mail: o.sandov@tu-sofia.bg

Васил Цветанов Цанов асистент. инж., катедра "Информатика", факултет по Приложна математика и информатика на Технически университет-София, България, София,ул. "Св. Климент Охридски" № 8, e-mail: [Vasil.Tsanov@gmail.com](mailto:Vasil.Tsanov@gmail.com)



# МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖДНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ПОДАВАТЕЛНО ЗАДВИЖВАНЕ ПО ОС X НА МЕТАЛОРЕЖЕЩА МАШИНА С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

В. Бояджиев

***Резюме:** В настоящия доклад са изследвани възможностите за изграждане на надеждностен модел на комплектуващи системи на сложни технически обекти. По-конкретно е разгледана комплектуващата система „Подавателно задвижване по ос X” на металорежеща машина с цифрово-програмно управление. За целите на надеждностното моделиране е построен граф, в който са взети пред вид факторите и процесите, влияещи върху състоянието на експлоатационната надеждност и работната ефективност на разглеждания обект.*

**Ключови думи:** моделиране, надеждност, подавателно задвижване, граф, металорежеща машина

## 1. Въведение

При моделирането на надеждностното поведение на сложни технически системи обикновено се върви по пътя на създаване на модели на отделни части на системата, в които разнообразието във физиката на отказите е сравнително ограничено. Например, моделиране на надеждността на полупроводникови устройства в зависимост от изменение на температурата в следствие на изменение на напрежението [5], моделиране на надеждността във функция на силовите (динамични) комплексни натоварвания от различно естество – непрекъснати, постоянни, ударни [6], моделиране на надеждността във функция на корозията [2]. Изграждането на цялостен надеждностен модел на сложна техническа система среща обективни трудности поради значителното разнообразие в механизмите на възникване на отказите. Синтезът на цялостен модел за изследване на надеждността на сложна техническа система обикновено се прави на формално математическо ниво [1, 3, 4]. Това затруднява надеждностното изследване, тъй като не се взема предвид физиката на откази. Т.е. изграждането на цялостен надеждностен модел на сложна техническа система се прилага рядко поради обективната трудност за обхващане на цялата палитра от различни механизми на физиката на отказите.

Теорията на графите има потенциала да бъде изключение – тя може да даде инструментариум именно за изграждане на цялостен надеждностен модел на сложен технически обект.

Изграждането на цялостен надеждностен модел на сложен технически обект чрез построяването на граф е сравнително обемиста задача, чиито обем значително превишава обема на една статия или доклад. За това първоначално и тук се тръгва по добре познатия път на изследване на определени обособени части на сложния технически обект. В настоящия доклад е изследван типичен сложен технически обект – стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление, по-конкретно – подавателното задвижване по ос X.

## 2. Методични особености

Обект на изследването са системите „Подавателно задвижване по ос X” са три стругови металорежещи машини с цифрово-програмно управление малък типоразмер, родно



производство. Статистическата информация за възникващите откази е събрана за около 1500 работни часа общо за трите машини.

Нека да опишем графа  $G(V, E)$ ,

където:

$V$  –множеството върхове на графа,

$E$  –множеството ребра на графа.

Множеството на върховете на графа  $V$  ще дефинираме като съставните му елементи са комплектуващите системи на моделът металорежеща машина:

- 1) цифрово-програмно управление (ЦПУ);
- 2) припасваща част (ПЧ);
- 3) главно задвижване (ГЗ);
- 4) подавателно задвижване по ос  $X$  (ПЗ  $X$ );
- 5) подавателно задвижване по ос  $Z$  (ПЗ  $Z$ );
- 6) главен превод (ГП);
- 7) подавателен превод по ос  $X$  (ПП  $X$ );
- 8) подавателен превод по ос  $Z$  (ПП  $Z$ );
- 9) хидропневматична система (ХПС);
- 10) система за импулсно дозаторно мазане;
- 11) система за автоматична смяна на инструмента (АСИ);
- 12) електрически вериги (ЕВ);
- 13) система за смазочно-охладителна течност (СОТ);
- 14) система за затягане на детайла (ЗД).

Множеството на ребрата на графа  $E$  дефинираме като факторите и процесите, оказващи влияние на надеждността поведение на разглежданите сложни технически обекти:

- $U$  – изменение на параметрите на ел. ток;
- $t^{\circ}C$  – въздействие на температурата;
- $D$  – въздействие на прах;
- $V$  – въздействие на вибрации;
- $S$  – въздействие на механични натоварвания;
- $CH$  – химични въздействия;
- $EM$  – електромагнитни въздействия;
- $C$  – корозионни процеси;
- $W$  – процеси на износване;
- $A$  – процеси на стареене;
- $M$  – въздействие на влага;
- $Ma$  – въздействие на човека;
- $p$  – повишаване или пад на налягането;
- $BE$  – влияние на нискокачествена елементна база.

Предлага се факторите и процесите (ребрата на графа), оказващи влияние на експлоатационната надеждност на разглежданата система „Подавателно задвижване по ос  $X$ ” да бъдат класифицирани в три групи:

1) фактори и процеси, въздействащи на експлоатационната надеждност на комплектуващата система „Подавателно задвижване по ос  $X$ ”, обусловени от външни фактори, включително човека;

2) фактори и процеси, въздействащи на експлоатационната надеждност на комплектуващата система „Подавателно задвижване по ос  $X$ ”, обусловени от взаимното влияние на комплектуващите системи;

3) фактори и процеси, въздействащи на експлоатационната надеждност на комплектуващата система „Подавателно задвижване по ос  $X$ ”, обусловени от вътрешни за системата фактори и процеси.

### 3. Изграждане на графа $G_{ПЗ X}(V_{ПЗ X}, E_{ПЗ X})$

Въз основа на събраната статистическа информация са отказите всеки от тях е отнесен към някой от гореспоменатите фактори и процеси. На база на така сепарираните откази да изградим ориентираният граф  $G_{ПЗ X}(V_{ПЗ X}, E_{ПЗ X})$  – фигура 1, където:

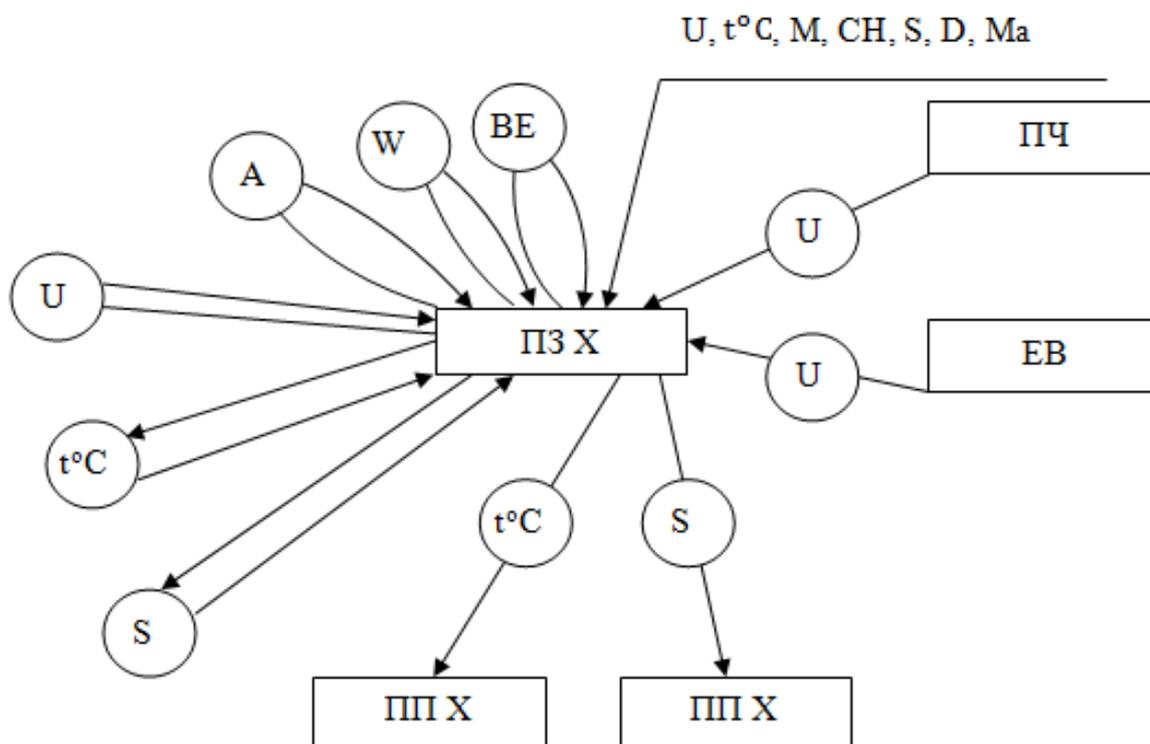
$V_{ПЗ X}$  – крайното множество върхове на графа  $G_{ПЗ X}$  - комплектуващите системи и околната среда, взаимодействащи си по отношение на надеждността с комплектуващата система „Подавателно задвижване по ос X”;

$E_{ПЗ X}$  – крайното множество ребра на графа  $G_{ПЗ X}$  – факторите и процесите, влияещи на надеждността на комплектуващата система „Подавателно задвижване по ос X”.

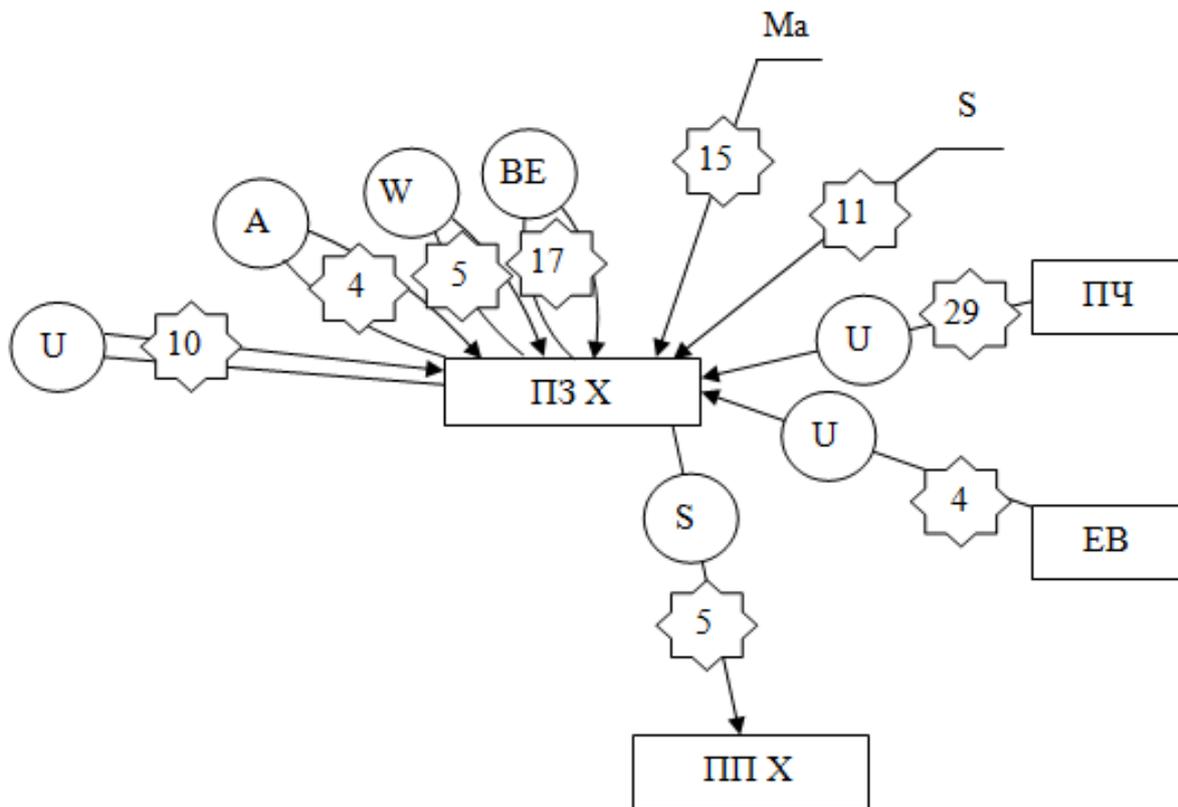
Натрупаната статистическа информация за възникналите експлоатационни откази дава възможност за всеки фактор и процес да бъдат получени съответните тегловни коефициенти. Те са пресметнати в проценти и представляват относителният дял на броя откази за всяко ребро  $E_{ПЗ X}$  спрямо общия брой откази. Така определените тегловни коефициенти са отразени на фигура 2.

### 4. Изводи:

- Представянето на изследвания сложен технически обект, по-конкретно – на факторите и процесите, определящи експлоатационната му надеждност, чрез граф дава възможност за изграждане на надеждностен модел на обекта, в който да е отразено в цялост разнообразието на тези фактори и процеси.



Фиг.1. Ориентираният граф  $G_{ПЗ X}(V_{ПЗ X}, E_{ПЗ X})$  с отразени факторите и процесите, оказващи влияние върху експлоатационната надеждност на комплектуващата система „Подавателно задвижване по ос X”



Фигура 2. Ориентираният граф  $G_{P3X}(V_{P3X}, E_{P3X})$  с отразени тегловни коефициенти за всяко ребро

- Обхващането на разнообразните фактори и процеси, лимитиращи надеждността на обекта, дава възможност за разкриване на евентуалните връзки между тях;
- Тегловните коефициенти могат да бъдат определени в различни дименсии, което разширява кръга на приложимост на предложения модел;
- Прилагането на предложеното моделиране върху ограничена част от графа – даден фактор или процес; дадена комплектуваща система или група комплектуващи системи, може да допринесе за решаване на проблеми с надеждността на сложния технически обект в негова обособена част;
- Предложеният метод за моделиране може да бъде приложен както на различно ниво от йерархичната структура на обекта, така и в различна „дълбочина” – например, когато се изследва обектът на ниво „комплектуваща система”, изследването може да обхване и ниво „възел”, а евентуално и ниво „елемент”.

**Литература:**

1. Huixing Meng, Leïla Kloul, Antoine Rauzy; Modeling patterns for reliability assessment of safety instrumented systems; Reliability Engineering & System Safety, Volume 180, December 2018, Pages 111-123, Elsevier Ltd.;
2. Hui Wang, Ayako Yajima, Homero Castaneda; A stochastic defect growth model for reliability assessment of corroded underground pipelines; Process Safety and Environmental Protection; Volume 123, March 2019, Pages 179-189, Elsevier Ltd.;
3. Lina Suna, Ning Huang, Ruiying Li, Yanan Bai; A new fractal reliability model for networks with node fractal growth and no-loop; Physica A: Statistical Mechanics and its Applications; Volume 514, 15 January 2019, Pages 699-707, Elsevier Ltd.;



4. Luis G.Crespo, Sean P.Kenny, Daniel P.Giesy; Staircase predictor models for reliability and risk analysis; Structural Safety; Volume 75, November 2018, Pages 35-44, Elsevier Ltd.;
5. P.Pfäffli,H.Y.Wong,X.Xu,L.Silvestri,X.W.Lin,T.Yang,R.Tiwari,S.Mahapatra,S.Motzny ,V.Moroz,T.Ma; TCAD modeling for reliability; Microelectronics Reliability; Volumes 88–90, September 2018, Pages 1083-1089, Elsevier Ltd.;
6. Xiaoqiang Zhang, Huiying Gao, Hong-Zhong Huang, Yan-Feng Li, Jinhua Mi; Dynamic reliability modeling for system analysis under complex load; Reliability Engineering & System Safety; Volume 180, December 2018, Pages 345-351, Elsevier Ltd.

**MODELING THROUGH A GRAPH OF THE RELIABILITY OF A SERVO DRIVES AXIS  
X OF A LATHE MACHINE TOOLS WITH CNC**

**V. Boyadzhiev**

***Abstract:** This report explores the possibilities of building a model of the reliability of component subsystems of complex technical objects. More specifically, it has been considered component subsystem „Servo drive axis X” of a lathe machine tools with CNC. For reliability modeling purposes is a graph built, taking into account factors and processes, affecting the state of operational reliability and the working efficiency of the object under consideration.*

**Данни за автора:**

Владимир Илиев Бояджиев, главен асистент доктор инж., катедра „Механика” при факултет „Техника и строителни технологии в транспорта”, Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”, Р. България, 1574 София, ул.„Гео Милев”, №158; тел.: 0889756075, e-mail: v.boyardjiev@abv.bg





**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 3**

**“АВТОМАТИЗИРАНЕ ПОТОКА НА  
ДЕТАЙЛИТЕ”**



## ПРОЕКТИРАНЕ НА ПАРАЛЕЛЕН DELTA РОБОТ

С. Цолов, Р. Димитрова

**Резюме:** Целта на настоящата разработка е да бъде проектиран, произведен и асемблиран нискостойностен паралелен делта робот предназначен за учебни цели. С възможност да извършва следните манипулации: сортиране, магазиниране, позициониране (без допълнително ориентиране) на сравнително леки и малогабаритни детайли, или в най обичай „Pick and place“ операции.

**Ключови думи:** паралелен делта робот, проектиране, нискостойностна автоматизация.

### 1. Въведение

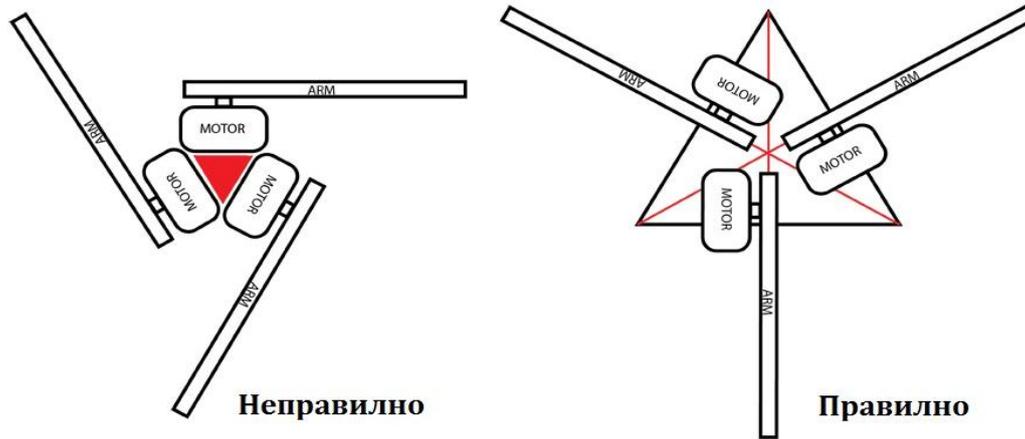
Роботът трябва да бъде конструиран така, че да дава възможност за лесно внедряване в различни типове производствени системи за дискретно производство. В процеса на проектиране при създаване на конструкцията, трябва да бъдат използвани колкото е възможно повече стандартизирани, типизирани и унифицирани детайли и възли. Това е с цел: намаляване на себестойността на проекта, улесняване на компоноването, както и улесняване на поддръжката и сервизните дейности по робота. При конструирането на нестандартизираните детайли, трябва да бъде взета на предвид тяхната технологичност, монтажопригодност и кинематична структура, показатели влияещи пряко на точността и икономическия показател на робота.

### 2. Последователност при проектиране на елементите

Работното пространство е показател на робота върху който влияят най-голям брой параметри на конструктивните елементи. Именно за това последователността при проектирането на елементите се диктува от този показател. Работното пространство зависи от следните параметри: дължината на страната на равностранныя триъгълник описващ горната платформа  $S_B$ ; страната на равностранныя триъгълник описващ долната подвижна платформа  $S_P$ ; дължината на горната част на ръката  $L$ ; дължината на долната част на ръката  $l$ ; от максималния ъгъл на наклон позволяващ шарнира при работа  $\alpha$ . От тези параметри единствените които са независими т.е. могат да бъдат променени в определени граници без да влияят върху конструкцията на останалите елементи са  $L$  и  $l$ . Именно за това те биват избирани, според желаното работно пространство, след проектирането на горната и долната платформа, отговарящи за  $S_B$  и  $S_P$  [1, 2, 3].

#### 2.1. Проектиране на конструкция на горна неподвижна платформа

Изискванията към горната неподвижна платформа са: да осигурява точно определено разположение на двигателите и осите им, т.е. продължението на осите на горните звена на кинематичните вериги винаги трябва да се пресичат в една точка (фиг.1); да осигурява точно определено разположение на крайните изключватели; да осигурява лесен монтаж и позициониране в работната клетка; конструкцията да бъде максимално компактна, т.к. това влияе на работната зона на робота [1].



Фиг. 1 Разположение на двигателите и осите им

## 2.2. Разработване на варианти на горна неподвижна платформа

Табл.1 Варианти на горна неподвижна платформа

ВАРИАНТ	3D МОДЕЛ
Вариант I	<p>а) б) Фиг.2</p>
Вариант II	<p>а) б) Фиг.3</p>
Вариант III	<p>а) б) Фиг.4</p>

ВАРИАНТ	3D МОДЕЛ
<p>Вариант IV</p>	<p>Fig. 5      Fig. 6      Fig. 7</p> <p>Fig. 8</p>
<p>Вариант V</p>	<p>а)      б)      Fig. 9</p> <p>Fig. 10      Fig. 11</p>
<p>Вариант VI</p>	<p>Fig. 12</p>



### 2.3. Анализ на разработените варианти

Вариант I - фиг. 2 - съдържа съществени недостатъци като: изключително сложна и нетехнологична форма, лоша монтажнопригодност, както и необходимост от допълнителна монтажна конзола за двигателите, което води до недостатъчна точност на позициониране на двигателите.

Вариант II - фиг.3 – при този вариант отпада допълнителната конзола за двигателите, но съдържа недостатъци като: нетехнологична форма, лоша монтажнопригодност.

Вариант III - фиг.4 - сравнително добра технологичност, но сравнително лоша монтажнопригодност.

Вариант IV - фиг. 5, фиг. 6 и фиг. 7 - при този вариант платформата се състои от няколко елемента. Три конзоли (поз. 1), представляващи плоча с дебелина 15 [mm] към които се монтират двигателите. Платформата (поз. 2) осигурява правилното разположение на двигателите. Конзолите се позиционират благодарение на канали (поз. 3) с дълбочина 5 [mm], които са с освобождение (поз. 4) във вътрешните ъгли заради радиусът на обработващия инструмент. Монтажът се осъществява посредством шпилки М6 (поз. 5), преминаващи изцяло през конзолите и платформата и две гайки. Каналите (поз. 6) служат за позициониране на крайните изключватели (поз. 7), които се захващат посредством планка (поз. 8) и самонарезни винтове. Отворите (поз. 9) служат за монтаж на робота в работната клетка. Конструкцията е технологична, компактна, осигурява необходимата точност на позициониране, коравина и лесен и точен монтаж на елементите. Захващането на робота към клетката (фиг.8) се осъществява посредством 3 болта М8 (поз. 1) и канални гайки разположени в профилите (поз. 2). Поради гайките (поз. 3), чието разположение е точно под профилите, върху платформата (поз. 4) е поставена дистанционна плоча (поз. 5) с изрязани канали за позициониране. Позиция 6 представлява предпазен капак. Нуждата от тази дистанционна плоча е основен недостатък на този вариант.

Вариант V - фиг. 9 и фиг. 10 – този вариант е аналогичен на предходния с няколко съществени разлики. Изработката от алуминий позволява конзолите за двигателите да бъдат с дебелина 1 [mm] и да се монтират към платформата чрез болтове М6 (поз. 1), за разлика от вариант IV, където използването на метрична М6 резба в материал РОМ-Н е неудачно. Също така при този вариант отпада необходимостта от дистанционна плоча при монтаж на робота към клетката. Това е така, тъй като платформата е с дебелина от 20 [mm] (за сравнение 15 [mm] при вариант IV), което позволява главите на болтовете да бъдат скрити, а каналите за позициониране да бъдат изрязани в самата платформа. Недостатък на този вариант е повишената цена от използването на по-голяма заготовка. На фиг. 11 е представено решение, при което каналите служещи за позициониране на конзолите са заменени с два щифта (поз. 1) по този начин дебелината на платформата е намалена до 15 [mm]. Единият от отворите за щифтовете, намиращ се на платформата (по-вътрешният от двата отвора) е изработен с бърбековидна форма, с цел компенсация. Недостатък е повишеното изискване за точността на изработка на отворите както и съответните трудности свързани с монтажа следствие на неточностите от изработка. Друг съществен недостатък, съдържащ в досега изброените варианти е, че кръстатия канал (поз. 5 на фиг. 8), служещ за позициониране, силно ограничава възможните вариации за монтаж на робота.

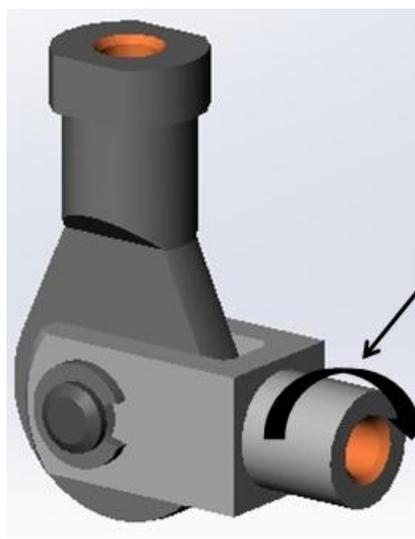
Вариант VI - фиг. 12 - при тази конструкция, каналите служещи за позициониране на робота в работна клетка, са заменени с конзоли (поз. 1), представляващи прости правоъгълни призми. Конзолите са монтирани разглобяемо към платформата чрез фрезенкови винтове М3 (поз. 2), което позволява при нужда лесно да бъдат свалени. Стопорните винтове (поз. 3) служат за настройка в зависимост от размера (30 [mm] или 40 [mm]) на профилите на конструкцията (поз. 2 фиг. 8). За позициониране на конзолите за двигателите са използвани отново канали. Тази конструкция съдържа всички предимства на досега изброените, като в същото време са премахнати всички недостатъци съдържащи в предходните варианти.

#### 2.4. Избор на шарнирни накрайници

Изисквания към елемента – да осигурява три ротационни степени на свобода на елементите на паралелния механизъм; лагеруването да се извършва с минимални хлабини, тъй като те влияят пряко върху точността на работата; да позволява работа при колкото е възможно по-голям ъгъл на наклон (завъртане) на звената, за да не се ограничава работното пространство на работата.



Фиг.13 Iguis KBRM



Фиг. 14 Iguis GERMKE



Фиг. 15 Iguis KCRM

#### 2.5. Анализ на вариантите на шарнирни накрайници

Вариант I (фиг.13) – тъй като е използвана сфера лагеруването се извършва с малки хлабини, но максималният ъгъл на наклон (завъртане) е сравнително малък –  $13^\circ$ .

Вариант II (фиг.14) – значително по- голям максималният ъгъл на наклон (завъртане)  $43^\circ$ , основен недостатък е необходимостта от допълнително осигуряване на ротационно движение, което е предпоставка за появата на хлабини влияещи върху точността на работата.

Вариант III (фиг.15) – съчетава в себе си предимствата на първи вариант, като в същото време е с повишен максимален ъгъл на наклон (завъртане) до  $25^\circ$ , благодарение на канал (поз. 1) изрязан по периферията на леглото на сферата на шарнира.

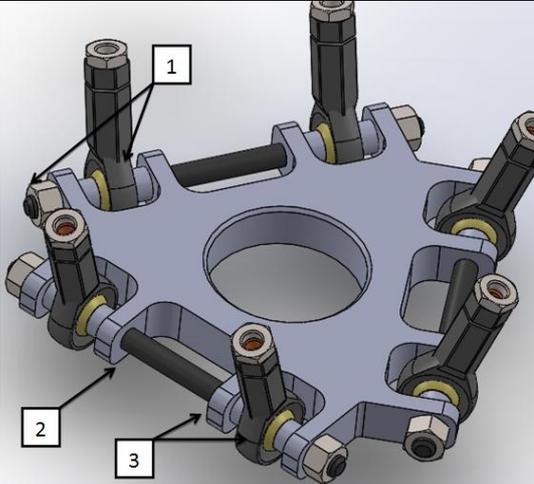
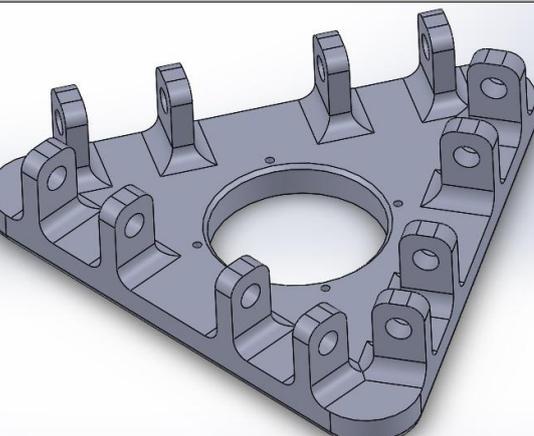
В предвид предимствата, който съчетава в себе си е избран вариант III.

#### 2.6. Проектиране на конструкция на долна подвижна платформа

Изисквания към елемента – да осигурява точно определено разположение на долните крайни стави на кинематичните вериги; да осигурява точно определено разположение на крайното изпълнително звено; да дава възможност за лесна смяна на крайното изпълнително звено; конструкцията да бъде максимално компактна (фиг. 8 размер  $S_p$ ), тъй като това влияе на работния обхват на работата; конструкцията да е проектирана със стремеж към постигане на минимално тегло, с цел постигане на добри динамични параметри на работата [1].

2.7. Разработване на варианти на долна подвижна платформа

Табл.2 Варианти на долна подвижна платформа

ВАРИАНТ	3D МОДЕЛ
<p>Вариант I</p>	 <p>Фиг.16</p>
<p>Вариант II</p>	 <p>Фиг. 17</p>

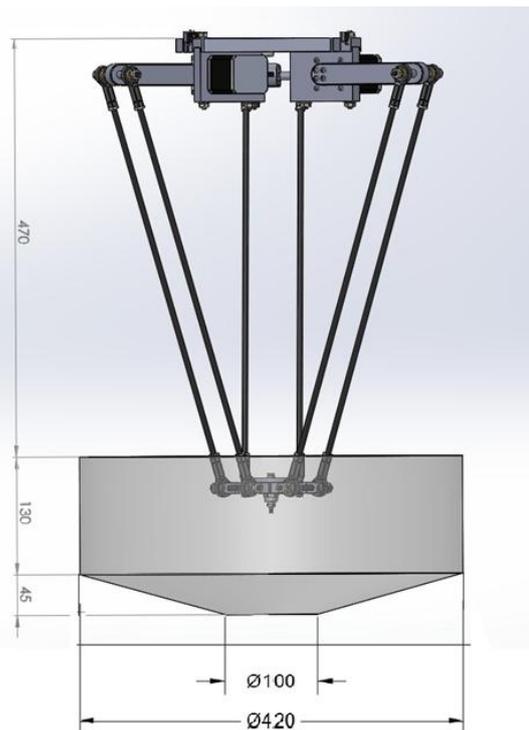
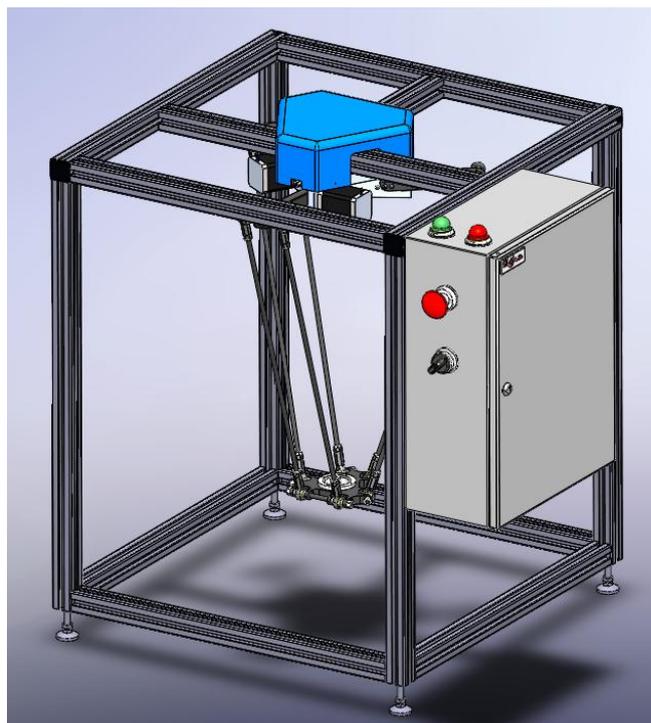
2.8. Анализ на вариантите на долна подвижна платформа

Вариант I (фиг.16) – при тази конструкция шарнирните накрайници се поставят между две ребра (поз. 1) на платформата, като захващането става посредством шилка (поз. 2) която минава през отворите на шарнирите и ребрата. Точното позициониране се осигурява посредством дистанционни втулки (поз. 3). Крайния ефектор на робота се поставя в централния отвор на платформата с помощта на фланец специално изработен за дадения тип хващач. Конструкцията е проста, лека, технологична и позволява лесен монтаж.

Вариант II (фиг.17) – този вариант се различава от първия единствено по вертикалното разположение на ребрата, което прави конструкцията по компактна, но значително по-нетехнологична. Подходяща е за изработване чрез технологиите на 3D принтирането.

Предвид предимствата който съчетава в себе си е избран пред вариант I вариант.

На фиг.18 а) е представен 3D модел на проектирания паралелен Delta робот. За да бъде удовлетворено изискването за работното пространство на робота трябва да бъдат правилно подбрани размерите на звената на кинематичните вериги. На фиг. 18 б) комбинацията от  $L=120$  [mm] и  $l=480$  [mm] със  $s_p=75$  [mm] и  $s_b=245$  [mm] (параметри на вече проектираните платформи), се получава работно поле удовлетворяващо изискванията.



а) б)  
Фиг.18 3D модел на проектирания паралелен Delta робот

#### Литература:

1. Димитрова Р., В. Павлов, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXIII, бр. 9/172, стр. (16-23), 2015 г.
2. Долчинков Р., Павлов, В., М. Колева, Систематизиране на схемите на задвижване на изпълнителни звена на работи с ограничен ъгъл на завъртане, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXV, бр. 2/217, стр. (181-186), 2017 г.
3. Павлов В., Учебник - Проектиране на промишлени работи, София, 1993 г.

## DESIGN OF PARALLEL DELTA ROBOT

S. Tsolov, R. Dimitrova

**Abstract:** *The purpose of the present study is to design, manufacture and assemble a low-cost parallel delta robot designed for learning purposes. Possibility to perform the following manipulations: sorting, storing, positioning (without additional orientation) of relatively light and small-sized parts or, in general, "Pick and place" operations.*

#### Данни за авторите:

Ренета Красиминова Димитрова, доцент д-р инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Станислав Тошков Цолов, бак. инж., студент ОКС”Магистър”, спец. „Мехатронни системи”, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: st.tzolov90@gmail.com



## АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ

Т. Андонова-Вакарелска, Р. Венков

**Резюме:** Целта на настоящата статия е да се определят разновидностите на соларните колектори и особеностите на тяхното производство. Извършено е компоноване на автоматизирана система за производство на серпентина за селективни соларни панели. Въз основа на метода на безразмерните коефициенти е избран оптимален и ефективен вариант., като се изхожда от изпълняваните технологични и спомагателни операции от структурните единици изграждащи системата.

**Ключови думи:** автоматизирана система, соларени панели, слънчев колектор, автоматична система, параметри, оптимален вариант, безразмерни коефициенти.

### 1. Общи положения

Жизненият стандарт на всяка държава зависи от развитието на различните отрасли на индустрията и степента на нейната автоматизация. Качеството на живот на хората в една държава се повишава, когато техниката и технологиите се съвместяват със висока степен на автоматизация. Реализира се успешно производството на продукти с по-малко човешки ресурси и високо качество. Понастоящем особено актуален за нашата страна е въпроса за издигане на равнището на технологиите и автоматизацията в различните фирми и предприятия.

Използването на енергийни източници без конфликт с природата води до намаляване на емисиите на въглероден диоксид (CO<sub>2</sub>), намаляване на енергийната зависимост, развитие на нови производства и създаване на нови, “зелени” работни места. Постигането на тази цел е важна и се свързва с внедряването на нови алтернативни източници на енергия. Възобновяемата енергия се добива от природни процеси, които постоянно се възобновяват. В повечето нейни форми тя се доставя директно от слънцето или от топлината, акумулирана в земята. Източниците на тази енергия са топлината от слънцето, вятърът, океанът, хидроенергията, биомасата, геотермалните ресурси и биогоривата [6]. Всеки един от тези източници има уникални характеристики и това влияе върху това как и къде се използва. Слънцето проявява повече енергия на час върху повърхността на Земята, отколкото общата енергия, използвана от хората по целия свят. В същото време хората се борят със замърсяването на околната среда, изменението на климата и изчерпването на изкопаемите горива. Слънчевата технология може да реши горните проблеми добре. Най-новата фотоволтаична технология превръща слънчевата енергия в електрическа енергия, която е по-добра от обикновената възобновяема енергия.

Слънчевата енергия се използва все по-често за генериране на значителни количества енергия. Търсенето на захранвани със слънчева енергия устройства и соларни панели е нараснало дотолкова, че компаниите вече не могат да разчитат само на човешка работна ръка в производствените процеси. Задачите, които трябва да бъдат изпълнени в компаниите за възобновяема енергия нарастват непрекъснато и се превръщат в сложни инженерни предизвикателства, което налага роботизацията и автоматизацията на процесите, за да се спести време, да се увеличи производителността и да се оптимизират експлоатационните параметри [9].

Автоматичните производствени линии за соларен панел включват различни компоненти - конвейер, автоматична струнна машина, машина за зареждане на компоненти, товарна машина, ЕЛ детектор (включително предна и крайна инспекция), IV детектор,



машина за струговане, автоматично лепило, автоматична ремонтна машина, линия за втвърдяване, сортиране на палетизатори и свързани с тях експерименти с тестване на модули за PV. Устройствата са високотехнологични и високо автоматизирани и се намират на високо ниво в индустрията.

Потенциалните приложения за оползотворяване на слънчева енергия в нашата страна могат да се групират в две основни направления – производство на топлинна енергия и електроенергия. Към първата група се отнасят: затопляне на вода за битови и промишлени нужди, пасивни слънчеви системи (енергоефективна архитектура) и сушене на продукти (с въздушни слънчеви колектори). За производство на електроенергия обикновено се използват фотоволтаични преобразуватели. Получаването на електроенергия чрез термично преобразуване на енергията няма потенциално приложение за нашата страна. Другите приложения на слънчевата енергия (слънчево охлаждане, опресняване на морска вода, слънчеви басейни, разлагане на вода и др.) засега имат само теоретично значение за условията в нашата страна.

Предимствата на слънчевата енергия са [3]:

- Екологична чистота - отсъствие на емисии от въглероден диоксид.
- Неизчерпаемост.
- Дълъг срок на експлоатация /слънчевите батерии нямат движещи и триещи се части и могат да работят 20-25 години.

Има три основни направления: колектори, които загряват въздух, вода и такива които правят електричество (фотоволтаични). Вакуумно-тръбните слънчеви колектори се делят основно на три вида: колектори с топлинна тръба, колектори с U тръба и колектори които имат просто стъклена тръба и нищо в нея. Най-разпространени и използвани в бита са плоските селективни слънчеви колектори.

В основата на работата на Възобновяемите Енергийни Източници (ВЕИ) е топлинното излъчване, лъчистият топлообмен и законите на Стефан-Болцман и Вин [5; 8]:

Закон на Стефан:  $P = \sigma ST^4$

където:  $P$  е мощността на топлинното излъчване в W;  $S$  – площта на излъчващата повърхност на тялото в  $m^2$ ;  $T$  – абсолютната температура в K;  $\sigma$  – константа на Стефан  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ .

Закон на Вин:  $\lambda_{\max} \cdot T = b$

където:  $\lambda_{\max}$  е дължината на вълната, чийто интензитет е максимален в  $m$ ;  $T$  – абсолютната температура в K;  $b$  – константа  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} = \text{const}$

## 2. Структура на соларни колектори и някои технологии прилагани за произвеждането им

Соларният колектор е най-важният елемент в една слънчева система. В него се извършва преобразуването на слънчевото ръление в топлина или електричество. Широко разпространени са плоските топлинни слънчеви колектори с течен или въздушен топлоносител, както и вакуумни колектори. На фиг. 1 е представена структурата на плосък панел [2].

Важен елемент в соларният панел от който зависи ефективната му работа е абсорбера и по точно монтажа на серпентината (фиг.2). Тръбите ѝ са медни, за предотвратяване на корозия, и с диаметър 10-15 mm. Множеството закривени участъци създават значително повишение на хидравличното съпротивление на колектора. Правите ѝ участъци могат да бъдат разположени надлъжно или напречно спрямо металния лист.



**Фиг. 1. Плосък слънчев колектор**

Най-важните елементи на слънчевите колектори са: коефициент на полезно действие, мощност на колектора, годишен добив на енергия, температура на покой, обем на единица повърхност, брой пластове на прозрачното покритие, абсорбционна способност на абсорбера, излъчвателна способност на абсорбера, габаритни размери, тегло [7].



**Фиг. 2 Серпентина на слънчев колектор**

Съществуват различни технологични решения за производството на слънчеви колектори. Производството е преобладаващо ръчно, но в редица фирми се реализира и автоматизиран монтаж.

При ръчното сглобяване се реализира следната последователност на операциите: свързване на няколко модула заедно чрез поставяне на спояваща топилка; поставяне на модулите в специална подпорка; почистване на модулите с ултразвук; изсушаване на модулите; спояване на модулите по групи; проверка на волтажа на всеки модул; вакуумно захващане, което улеснява работата на редовете от модули; поставяне на свързващ проводник; поставяне на прозрачен слой от стъкло; поставяне на фолио за ламиниране; тестване на готовия соларен панел в симулатор.

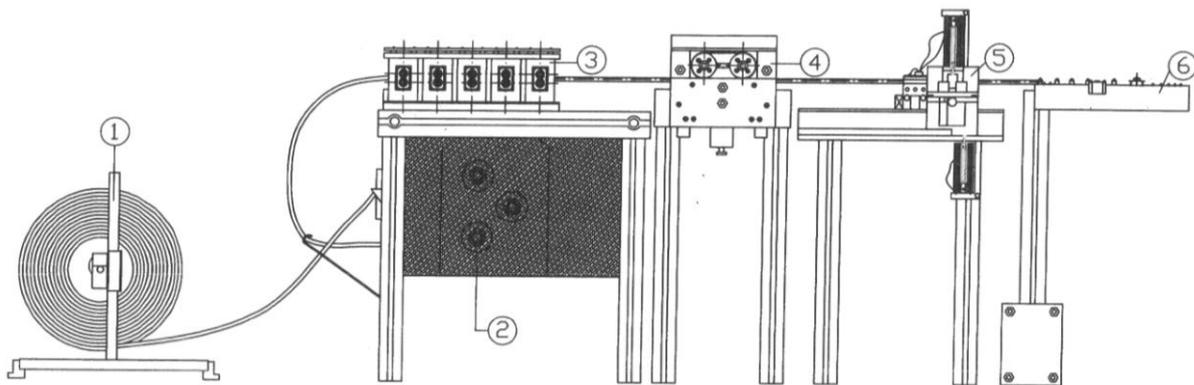
Ръчното сглобяване на соларни панели е трудопоглъщаемо и изисква висока точност и прецизност. Производителността е ниска. Процесите на сглобяване не са напълно автоматизирани, което намалява производителността. Повечето автоматизирани технологии са внедрени при производството на фотоволтаични панели, произвеждащи електрически ток.

В днешно време все повече се налага употребата на соларни панели за топла вода, което налага автоматизирането на този процес. В тази област автоматизацията е ниска.

Примерно автоматизирано сглобяване на фотоволтаични соларни панели включва следната последователност на операциите: подготовка на фолиото; изрязване на проводящите ленти; извършване на първи качествен контрол; подреждане на клетките в стрингове; транспортиране на соларната клетка до въртяща делителна маса и хващане с вакуумен хващач; транспортиране на клетките до позиция за инфрачервено облъчване; поставяне на проводящи ленти; инфрачервено запояване на клетките; автоматично подреждане на стринговете; втори качествен контрол; ламиниране на соларния панел; трети качествен контрол; поставяне на алуминиева рамка; поставяне на разпределителна кутия; измерване на електрическите параметри на соларния панел.

### 3. Автоматизация и оптимизация на производството на селективен соларен панел

Разработени са няколко вариантни решения за автоматизирано производство на серпентина за селективен соларен панел за топла вода. Вариантите включват 6, 8 или 5 работни позиции. Целта е да се определи най-ефективният от вариантите по критерии: производителност; надеждност; степен на автоматизация и гъвкавост; икономически показатели [1;4]. От тях по метода на безразмерните коефициенти е избран оптимален (фиг. 3). Включва шест работни позиции: стенд на който се поставя медната тръба навита на руло – 1; размотаващо устройство – 2; устройство за изправяне на тръбата – 3; подаващо устройство – 4; отсекателно устройство – 5; устройство огъващо медната тръба - 6. В компоновките на втори вариант са включени освен еднаквите позиции 1, 2, 3, 4, 5 и 6 допълнително бункер за съхраняване на предварително отрязаната медна тръба и механична ръка. В третият вариант е включена 8 осна, 3D тел огъваща машина.



Фиг. 3 Автоматизирана система за производство на серпентина за соларен панел

При избора на ефективно решение на автоматизираната система са използвани безразмерни коефициенти, като се изчислява обобщения коефициент  $K_{oi}$  за всеки от разглежданите варианти  $i$  ( $i = 1 \div m$ ;  $m$  – брой на вариантите) [1]:

$$K_{oi} = \prod_{j=1}^n (K_{ij}) , i = 1 \div m,$$

За решаване на задачата е съставен модел и алгоритъм за намиране на оптимално решение чрез безразмерни коефициенти. Разработена е и приложна програма, която е апробирана и е работоспособна. Като безразмерни коефициенти (критерии) са използвани следните основни показатели:



$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = \beta \\ K_2 = K_r \\ K_3 = K_A \\ K_4 = (1 - K_G) \\ K_5 = 1/n \end{array} \right.$$

където:  $\beta$  е ръст на производителността, а  $K_G = 0,02$  – коефициент на гъвкавост, определящ степента на гъвкавост  $G = (1 - K_G).100\% = 80\%$ .

Оптимален е вариантът, който има максимален обобщен коефициент  $K_{oi}$ , т.е.

$$\max \{ K_{oi}, i = 1 \div m \}$$

Таблица 1

$K_i$ $V_i$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_{oi}$
$V_1$	1,5	0,557	0,45	0,98	1,38	0,509
$V_2$	1,5	0,529	0,45	0,98	1,06	0,371
$V_3$	1,5	0,507	0,71	0,97	0,64	0,336

В табл.1 са представени количествени стойности на безразмерните коефициенти за някои варианти, както и определена оптималната автоматизирана соларна система [1] .

$$\max \{ K_{oi} \} = \max \{ 0,509, 0,371, 0,336 \} = 0,509$$

Оптимален е първи вариант с  $K_{oi} = 0,510$

Постигнати са [4] : - производителност  $Q$  при такт на съоръжението  $\tau = 48$  s

$$Q = \frac{3600}{\tau} = \frac{3600}{48} = 75 \text{ бр/час}$$

- надеждност, където  $K_r$  е коефициент на гъвкавост;

$$K_r = \prod_{i=1}^n (K_{ri}) = 0,557$$

- степен на автоматизация  $A$

$$A = K_a.100\% = 45\%$$

където:  $K_a$  е коефициент на автоматизация;

Срокът на откупуване на съоръжението на избрания вариант е:

$$n = \frac{\Delta K}{I_r - A_m} \rightarrow \min ; \quad n = 0,94 \text{ год.}$$

където:  $\Delta K$  са допълнителни капитални вложения;  $I_r$  - годишния икономически ефект;  $A_m$  - годишните амортизационни отчисления;



#### 4. Изводи:

- Направен е анализ на различните соларни системи, като е направено сравнение на технологични процеси за реализиране на производството им;
- Разработени са компоновъчни варианти за автоматизирано производство на серпентина за соларни панели;
- Определени са предпоставките за ефективно решение за автоматизация;
- По методика на безразмерните коефициенти е извршен анализ и оценка на вариантите за компоноване на автоматизирани системи и е определен оптималният от тях.

#### Литература:

1. Dimitrov S, Dimitrov L, Dimitrova R, Nikolov S, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps. Studies in Systems, decisions and control, 2019, v.199 502-514.
2. Дечев. Д., Слънчеви колектори и системи, Техника, 2009.
3. Димитрова Р., В. Павлов, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXIII, бр. 9/172, стр. (16-23), 2015 г.
4. Енерджи ревю, списание – бр. 1, С., 2013.
5. Енерджи ревю, списание – бр. 2, С., 2018
6. Захаринов Б., М. Пейчинова, Научна конференция „България-Бавария за устойчиво развитие”, Производство на енергия от биомаса, като възобновяем източник – залог за устойчиво развитие, НБУ, 2013.
7. Младенчева Р., Фотоволтаични генератори, Ековет технологии, 2009.
8. Херден К., Й. Расмус, Б. Гхараджедагхи, Научни природозащитни методи за оценка на фотоволтаични паркове, BfN – Surlipien 247, 2009.
9. Чакърски Д. Състояние и развитие на автоматизацията и роботизацията на производството. Известия на НТС по машиностроене, Год. XXV, бр.2/217, юни 2017.
10. <http://www.kolektori.com>
11. <http://www.spirecorp.com>

### AUTOMATED SOLAR COLLECTORS MANUFACTURING SYSTEM

**T. Andonova-Vakarelska, R. Venkov**

***Abstract:** The purpose of this article is to determine the varieties of solar collectors and the specificities of their production. A computerized system for the production of a coil for selective solar panels has been made. On the basis of the non-dimensional coefficient method an optimal and efficient option is chosen, starting from the technological and auxiliary operations performed by the structural units building the system.*

#### Данни за авторите:

Татяна Асенова Андонова-Вакарелска, доцент доктор инж., катедра “Енергетика и машиностроене” при КЕЕ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 0895589897, e-mail: vakarelska@tu-sofia.bg

Румен Венков, студент в специалност „Промислена енергетика“ на КЕЕ при Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 0898755077.



# КЛАСИФИКАЦИЯ НА ТИПОВЕТЕ ГЪВКАВОСТ В АВТОМАТИЗИРАНИТЕ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ

Л. Личев

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани типовете гъвкавост, които могат да притежават автоматизираните производствени системи. Предложена е класификация на типовете гъвкавост в автоматизираните производствени системи, като са разгледани всички предложени типове.

**Ключови думи:** класификация, гъвкавост, автоматизирани производствени линии.

## 1. Увод

Гъвкавите автоматизирани производствени системи се обособяват като част от автоматизираните производствени системи в началото на 80те година на 20 век. Първи за тях споменава Р. Р. Хилденбранд (R. R. Hildenbrand) в докторантурата си „Планиране на гъвкави производствени системи, когато машините са склонни към повреда“ („Scheduling flexible machining system when machines are prone to failure“) от 1980г. като определя основните елементи на една автоматизирана производствена система да се обособи като ГАПС, а именно да притежава краен брой производствени машини с ЦПУ, автоматизирана система за храняване/разтоварване и транспорт на продукцията и компютър, които да контролира целия комплекс. ГАПС намират практическо приложение в голям на брой производствени сфери: Хранително-вкусовата промишленост, автомобилостроене, производство на електронни компоненти, машинни елементи и много други. ГАПС са и едно от средствата на фабриците от 21 век, които осигуряват конкурентоспособност им на пазара.

Съществуват голям на брой определения за понятието гъвкавост като “Под понятието гъвкавост се разбира приспособяемостта на автоматизиращата техника към динамичните и стохастичните изменения свързани с изпълнението на производственото задание.“ [5]; „...гъвкавостта, т.е. възможността за бързо пренастройване на производството без прекъсване на производствения процес.“ [4] или „...Всъщност, под термина гъвкавост в автоматизираното производство се има в предвид способността на системата, да приспособи производствените процеси към нови фактори. Най- точното определение за гъвкавост, е всъщност да се опише пълната противоположност – твърдост. Твърд производствен процес означава, производство на единичен продукт, при точно определен технологичен процес.“ [6]

Изброените определения дават пълно или частично разбиране за понятието гъвкавост като под частично се има предвид определение за тип гъвкавост, а не определение на понятието гъвкавост. В следващата точка ще бъдат разгледани типовете гъвкавост, които притежават автоматизираните производствени системи.

## 2. Класификация на типовете гъвкавост

На фиг.1 е представена класификация на типовете гъвкавост в автоматизираните производствени системи.



**Фиг. 1** Класификация на типовете гъвкавост

### **2.1. Гъвкавост спрямо машина**

Способността на отделните машини да бъдат променяни бързо и лесно, за производствените цели. Примери относно гъвкавостта на машините са: ремонтпригодност (времето, за което техник или оператор подменят счупен режещ инструмент или да смени инструментите в инструменталния магазин на машината с ЦПУ), както и подмяна на нужните за производството модули на модулно-изградената машина. За да притежава гъвкавост автоматизираната производствена линия, то нейните машини трябва да:

- Автоматизирана система за храняване/разтоварване и транспорт на продукцията и система за монтаж/демонтаж на инструменти;
- Правилно разписана технологична карта описваща последователността на операциите и нужните инструменти, за да се избегне честа подмяна на ненужни инструменти по време на процеса.

### **2.2. Гъвкавост спрямо технологичния процес**

Способността на АЛП да произвежда краен брой елементи, от различен материал по различни начини. Всеки един елемент може да се изработи индивидуално, като не е задължително да е серийно производство. Примери относно гъвкавостта на технологичния процес са производствените линии в хранително-вкусовата промишленост, където на една линия се произвеждат различни по размер шоколадови изделия като към тях се добавят ядки или пълнежи. Под различен материал тук отбелязваме различните типове шоколад (натурален, млечен и бял). Гъвкавостта спрямо процеса се увеличава с намаляване на цената за пренастройване на машината. Измерването на този тип гъвкавост се изразява в броят различни елементи, които машината произвежда едновременно, като не е задължително производството да е серийно [1, 2, 3]. За този тип гъвкавост, АПЛ трябва да притежава:

- Гъвкавост спрямо машините
- Универсални, пренастройваеми, центри с ЦПУ

### **2.3. Гъвкавост спрямо продукт**

Способността на АЛП за преустройство към друг продукт бързо и икономично. Измерването на този тип гъвкавост се изразява в това, колко време е нужно на екипа за преустройство на машините така че АПЛ да произвежда напълно нов продукт. За този тип гъвкавост, АПЛ трябва да притежава:



- Ефективна и автоматизирана система за планиране и контрол.
- Гъвкавост спрямо машините.

### **2.4. Гъвкавост спрямо производствен поток**

Способността на АПЛ да продължи производството на качествена продукция при проява на авария. Два са случаите в които може да съществува подобна гъвкавост: когато дадена операция може да бъде извършена на повече от една машина и когато даден елемент може да има няколко различни производствени потока [1, 2, 3]. Съществуват потенциална и реална гъвкавост на производствения поток. Потенциалната гъвкавост се изразява в това АПЛ автоматично да преработи производствения поток спрямо авариралата машина, а реалната гъвкавост се изразява в това че се АПЛ произвежда готова продукция по два или повече производствени потоци, независимо от типа авария. Измерването на този тип гъвкавост се изразява в това, че АПЛ продължава да произвежда на номинална скорост качествен продукт, при наличие на авария. За този тип гъвкавост, АПЛ трябва да притежава:

- Две или повече групи от машини с общ поток от заготовки.

### **2.5. Гъвкавост спрямо обема на производство**

Способността на АПЛ да произвежда изгодно, независимо от обема нужен продукт. Производство при ненормална скорост може да бъде породена от липса на пазарна реализация на готовата продукция, или недостиг на персонал обслужващ производствената линия. Поради тези причини производствената програма може да се различава през годината и правилното планиране на производство може да ограничи до минимум загубите на фабриката. Измерването на този тип гъвкавост се изразява в това, при какъв минимален обем от производство АПЛ продължава да произвежда изгоден за фабриката продукт. При възможност за производство под минималния обем, фабриката не бива да планира производство. За този тип гъвкавост, АПЛ трябва да притежава:

- Универсални машини
- Автоматизирана система за хранване/разтоварване и транспорт на продукцията и система за монтаж/демонтаж на инструменти;
- Гъвкавост спрямо производствения поток

### **2.5. Гъвкавост спрямо модернизация на линията**

Способността на АПЛ, да бъде надградена с времето като се прибавят нови модули за разширяване на крайния брой елементи произведени от нея или модернизация на съществуващите решения за подобряване на производителността ѝ. Измерването на този тип гъвкавост се изразява в това, до колко една АПЛ може да бъде надградена с времето, като изключим външните фактори като място на реализация и парични ресурси. За да се постигне гъвкавост спрямо модернизация на линията, е нужно:

- Автоматизирана система за хранване/разтоварване и транспорт на продукцията и система за монтаж/демонтаж на инструменти.
- Модулно изградени автоматизирани производствени клетки.
- Гъвкавост спрямо производствения поток.

### **2.6. Гъвкавост спрямо производствен цикъл**

Способността на АПЛ, да променя последователността от операции в производствения цикъл, при предварително зададен производствен цикъл. Под това свойство се разбира способността на АПЛ да промени последователността на операциите вземайки решение на база заетостта на работните клетки (коя от клетките е в изчакване, коя изпълнява операции и коя е клетката с най- малка производителност).



### 2.7. Гъвкавост спрямо производствените мощности

Способността на АПЛ, да произвежда „некраен/огромен“ брой елементи. Измерването на този тип гъвкавост, се изразява в наличните технологични възможности на АПЛ. За да се постигне гъвкавост спрямо производствените мощности е нужно:

- Внедряване на нови технологични решения.
- Увеличаване обема на обработващите инструменти.
- АПЛ да притежава всичките изброени по горе типове гъвкавост.

#### Изводи:

Дадена автоматизирана производствена система попада под определението за ГАПС, когато тя отговаря на поне един тип гъвкавост. Част от типовете гъвкавост могат да бъдат самостоятелни, докато друга част от тях са в комбинация. На колкото повече типове гъвкавост отговаря дадена АПЛ или има възможност да бъдат внедрени, толкова дадената АПЛ е конкурентноспособна.

#### Литература:

1. Dimitrov S, Dimitrov L, Dimitrova R, Nikolov S, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps. Studies in Systems, decisions and control, 2019, v.199 502-514.
2. Tchakatsky D., T. Vakarelska, R. Dimitrova, P. Tomov, Effective solutions for automation and robotation of manufacture, International Conference “Robotics & Mechatronics and Social Implementation 2018”, 28.08.- 01.09.2018 г , ISSN1310-3946, Year XXVI, Volume4/225, August 2018, p (91-97).
3. Павлов В., Р. Димитрова, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, XXIV МНТК „АДП – 2015”, Созопол, 18 – 21.06.2015 г., стр. (16-23).
4. Гановски, В., Д. Дамянов, Д. Чакърски, „Основи на автоматизацията, роботизацията и ГАПС“.
5. Чакърски, Д., Т. Вакарелска, „Автоматизиращи устройства“, 2008.
6. <https://blog.robotiq.com/bid/70628/What-does-Flexibility-in-Automated-Manufacturing-Means - What does Flexibility in Automated Manufacturing Means?> – посетен на 23.04.2019 г.

## CLASSIFICATION OF TYPES OF FLEXIBILITY IN AUTOMATED MANUFACTURING SYSTEMS

L. Lichev

*Summary: This article discusses the types of flexibility that automated production systems can have. It is proposed to classify the types of flexibility in automated production systems by looking at all proposed types.*

#### Данни за автора:

Любомир Асенов Личев, маг. инж., докторант към катедра „АДП“ при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: l.lichkata@gmail.com

# АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЛЕКАРСТВЕНИ ФОРМИ

Б. Бахчеванов

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани автоматизирани системи, намиращи приложение при производството на различни лекарствени форми. Определени са основните компоненти, изграждащи тези системи и специфичните изисквания към тях, в зависимост от типа на произвежданата лекарствена форма.

**Ключови думи:** производство на лекарства, автоматизирани производствени системи.

## 1. Въведение

Лекарствата са продукти, чрез които може да повлияе на едно или друго болестно състояние. Те са резултат от изследователска и развойна дейност на специалисти от различни области като фармация, химия, биология, фармакология, медицина, фармакинетика, биофармация и фармацевтична технология. [1, 2]. Целта на настоящата работа е да се определят основните компоненти, изграждащи съвременните автоматизирани системи за производство на различни лекарствени форми.



Фиг.1 Различни видове лекарствени продукти [8]

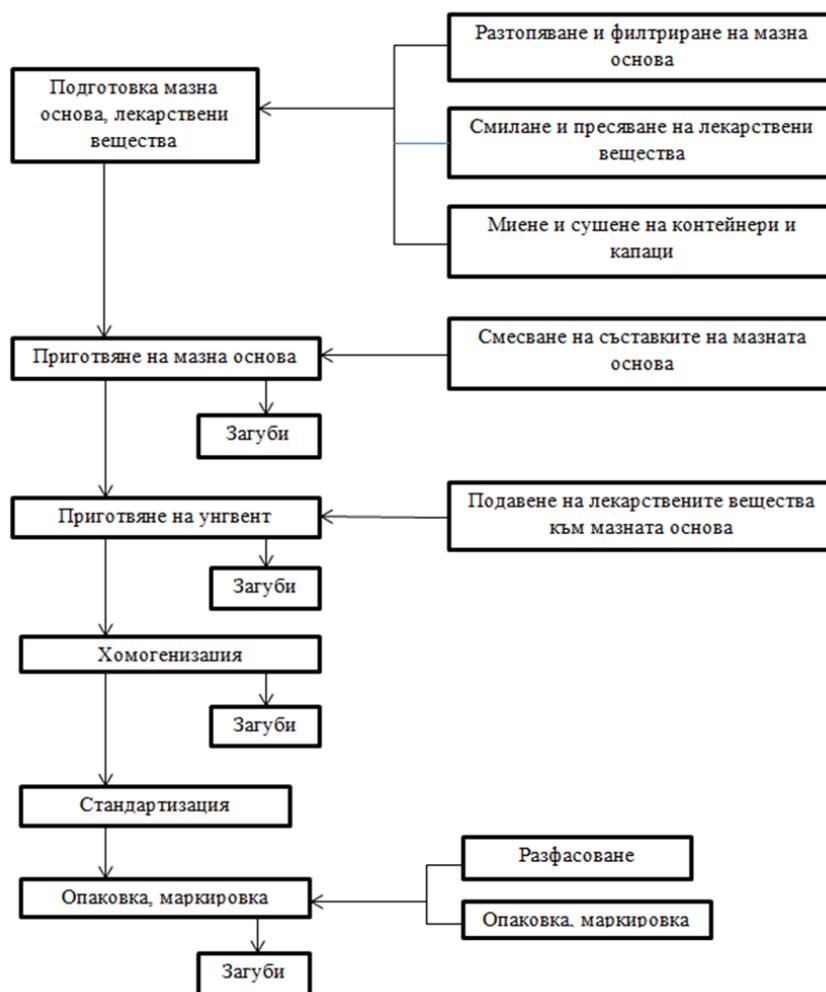
## 2. Видове лекарствени форми

Съществуващите лекарствени форми фиг.1, могат да се разделят на:

- Меки лекарствени форми;
- Твърди лекарствени форми;
- Газообразни лекарствени форми;
- Течни лекарствени форми.

### 2.1. Меки лекарствени форми

Най-разпространените меки лекарствени форми са мазите. Те са предназначени за нанасяне върху кожа, рани и слизести повърхности. Мазите следва да се разглеждат като сложен комплекс, съставен от лекарствени вещества и мазна основа. Терапевтичният ефект на тези продукти зависи не само от физическите и химическите качества на активните вещества, но и от степента на дисперсност, начина на нанасяне и структурните свойства на мазите. Мазната основа в която са разтворени лекарствените вещества също взема участие в т.н. фармакодинамика, т.е. влияе качествено и количествено на унгвента [3]. На фиг.2 са показани етапите на технологичния процес при производството на мази.

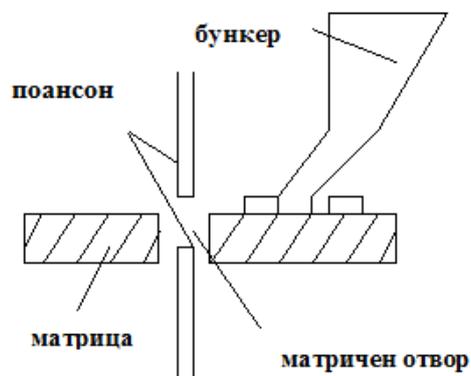


Фиг.2 Блок-схема на технологичния процес при производството на мази [4]

## 2.2. Твърди лекарствени форми

Основен представител на твърдите лекарствени форми са таблетките. Те имат най-голямо значение и разпространение. Равномерното и автоматично дозиране на готовата смес е съществено преимущество за фармацевтичната индустрия. Друго съществено преимущество на таблетките, е факта, че в един относително малък обем може да се пресоват активните съставки плюс помощните вещества. Обикновено таблетките са с кръгла форма и диаметър между 3–25 [mm].

Таблетките се произвеждат от сухи прахообразни изходни материали, които се подлагат на гранулиране. Гранулите - това са частици със сферична форма. Трябва да се прави разлика между гранула и зърнеста форма на частиците. При зърнестата форма материалите могат да имат и сферична форма, но и всяка друга също е възможна. При гранулите сферичната форма е преобладаваща или единствено възможна. Произвеждат се в специални гранулиращи съоръжения. В повечето случаи след пресоването на



Фиг.3 Схематично представяне на таблетираща машина [4]

изходните материали в машини наречени таблетни преси фиг.3, таблетките придобиват сферична, плоска или двойно изпъкнала форма. Тя се определя от две повърхнини - от една страна подвижна част – поансон и от друга страна неподвижна част – матрица [3; 6].

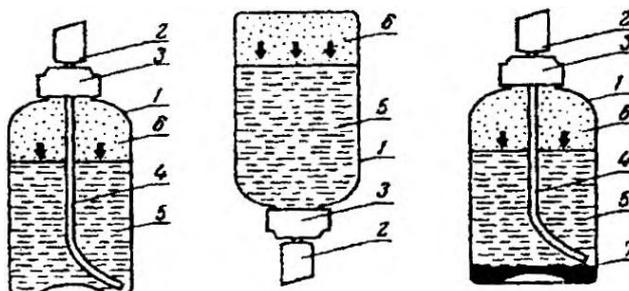
### 2.3. Газообразни лекарствени форми

Газообразните лекарствени форми се приемат чрез инхалация. Ефективността на инхалацията зависи от дисперсността на лекарственото вещество. Частици с размер 50 микрона се задържат в горните дихателни пътища, между 10 и 30 микрона преминават в бронхите, 5 микрона достигат алвеолите, 0,2 микрона и по-малко не се задържат в белите дробове. Инхалациите имат следните преимущества: бързо действие и това, че лекарствената субстанция не е подложена на ензимно въздействие.

Като лекарствени вещества при инхалациите се ползват:

- газове – като кислород, азотен оксид и др.;
- пари на летливи вещества, течни или твърди - етер, хлороформ /за анестезия/, етерични масла;
- твърди летливи вещества – ментол, камфор;
- аерозоли със слабо летливи или нелетливи лекарствени вещества, които преди употреба са емулсии или суспензии на водна или маслена основа. Аерозолите от нелетливи вещества се получават от специални разпръскващи устройства наречени инхалатори.

Газообразните лекарствени форми се предлагат в специални аерозолни опаковки фиг.4.



**Фиг.4 Устройство на аерозолна опаковка: А – двуфазна система Б – трифазна система [4]**

1. Аерозолен балон; 2. Дюза; 3. Клапан; 4. Сифонна тръбичка; 5. Лекарствен препарат във вид на суспензия или емулсия; 6. Пропелент – газова фаза; 7. Пропелент – течна фаза.

Известни са три метода за пълнене на аерозолни опаковки:

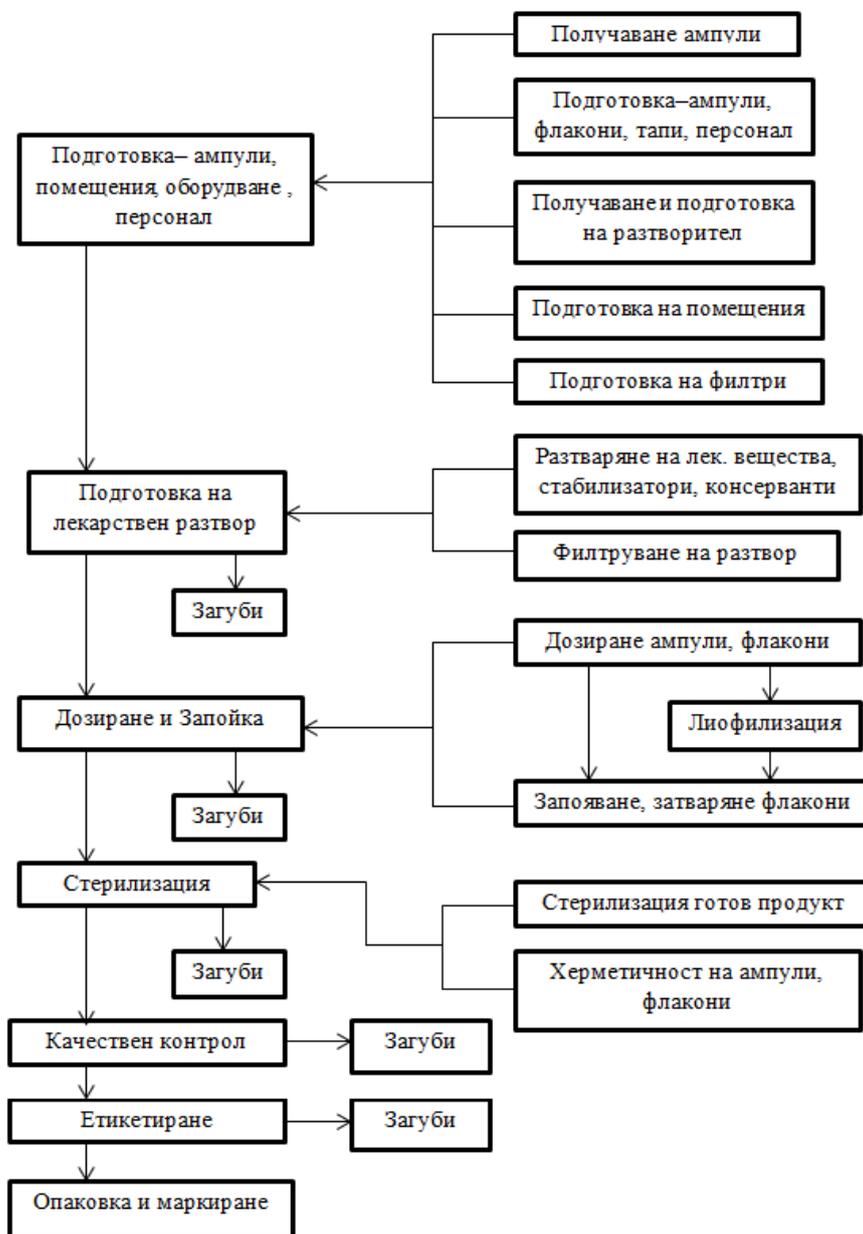
- Запълване под налягане. В аерозолния балон лекарственият продукт заедно с пропелента се зареждат на специални автомати под налягане. След това флакона се етикетира, проверява се на херметичност, тегловна проверка и накрая се поставя предпазната капачка. Това е автоматизираната система за пълнене на аерозолни опаковки на фирма Pamasol Willi Maeder AG, Швейцария, с производителност до 500бр/мин [8].
- Запълване чрез охлаждане. Аерозолният балон се охлажда до много ниски температури, около  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $-45^{\circ}\text{C}$ . След това в охладения флакон се добавят лекарствените вещества, като пропеленти и флакона се затваря херметично, чрез клапана. Така напълнените флакони се загряват бавно до стайна температура.
- Метод на твърд пропелент. Аерозолният балон се пълни с течен лекарствен продукт, след това се поставя твърд пропелент – най-често  $\text{CO}_2$ , в таблетен вид. Изчаква се известно време, така че изпаряващият се диоксид да изкара въздуха от балона. Следва херметизиране с поставяне на клапана [7].

От всички споменати методи за пълнене на аерозолни опаковки, най-широко приложение намира първият описан метод.

#### 2.4. Течни лекарствени форми системи за производство на лекарствени форми

По същество течните лекарствени форми са разтвори или грубо дисперсни системи, като емулсии или суспензии. Под формата на сиропи намират приложение в педиатрията или като инжекционни /до 100 ml/ или инфузионни /между 100 – 1000 ml/ форми предимно при болнично лечение. Типични представители на течните форми са сиропи, капки, тинктури, екстракти. Инфузионните и инжекционните форми, като разтвори, емулсии или суспензии намират приложение при интрамускулни и подкожни апликации. Други примери за типични течни лекарствени форми са капките за очи, за нос и за уши, които обикновено са водни или маслени разтвори. Течните разтвори могат да бъдат ползвани и за инхалации [4, 5].

Производството на инжекционни форми е свързано с достатъчно трудности както от технологично, така и от техническо естество. Към инжекционните форми се отнасят разтворите на водна и маслена основа, суспензии и емулсии, а също така стерилни прахове и таблетки, които се разтварят в стерилни разтворители, преди да бъдат въведени в организма [3]. На фиг.5 са показани етапите на технологичния процес при производство на стерилни инжекционни форми.



Фиг.5 Блок схема за производство на стерилни инжекционни форми [4]



При производството на инжекционни лекарствени форми първичните опаковъчни материали, т.е. ампули или флакони се измиват с вода за инжекции, след това се подлагат на суха стерилизация или депирогенизация при 220°C за един час. Следва охлаждане на вече стерилните ампули или флакони, дозиране на лекарствен продукт, евентуално лиофилизация /в зависимост от технологията/, запойка на ампули, проверка на херметичност, окачествяване. Следва етикетирание и отпечатване на срок на годност и партиден номер.

Всички операции до тук се извършват в чисти стаи с определени класове на чистота, съобразени с практиката GMP и европейската фармакопея. Последната операция поставяне на ампули или флакони в блистери и последващо картониране и кашониране се извършва в помещения с т.н. неконтролиран клас на чистота F, при който има определени изисквания към работното облекло на работещия персонал.

### **3. Класификация на основните компоненти използвани в автоматизираните системи за производството на лекарствени форми**

На база на направения в точка 2 обзор, основните компоненти използвани в различните автоматизирани системи за производство на лекарствени форми могат да бъдат класифицирани спрямо следните признаци:

#### **➤ За подготовка на основните и помощни вещества на един лекарствен продукт**

В тази група попадат:

- Химически реактори от боросиликатно стъкло за течни форми;
- Химически реактори от неръждаема стомана, мантелни, за мази;
- Гранулатори /миксер, гранулатор и сушилня в едно/, за твърди форми.

#### **➤ За подготовка на първични опаковъчни материали**

В тази група попадат:

- Машини за вътрешно и външно измиване на ампули или флакони;
- Стерилизационни тунели или пещи за суха стерилизация до 250°C.

#### **➤ За дозиране и пресоване на подготвен лекарствен продукт**

В тази група попадат:

- Машини за дозиране и запойка, ампули, течни форми;
- Машини за дозиране и затваряне, флакони, течни форми;
- Машини за дозиране и пресоване, таблетки, твърди форми;
- Тубопълначни машини;
- Линии за пълнене на аерозоли;
- Машини за дозиране, лиофилни инсталации, запойка/течни форми със сух продукт в ампула или флакон.

#### **➤ За окачествяване на готов лекарствен продукт**

В тази група попадат:

- Напълно автоматични, автоматично окачествяване, чрез видео камери + High Voltage Leak Detection /за течни форми/ или Headspace Analyse /за лиофилни форми/;
- Полуавтоматични, с човек окачествител, наблюдаващ продукта през увеличително стъкло.

#### **➤ За опаковка**

В тази група попадат:

- Етикетир машини.
- Блистер и картонир машини.
- Кашонир машини.

#### **➤ За спомагателни дейности**

В тази група попадат:



- Климокамери, осигуряващи на помещенията свеж въздух с температура и влажност;
- HEPA BLOWER - вентилаторни съоръжения за осигуряване на съответния клас на чистота;
- Обезвлажнители за помещения с високи изисквания към влажността на въздуха;
- SCADA системи за визуализация, контрол и управление на климатични инсталации;
- Транспортни съоръжения;
- Измервателна техника.

### Изводи:

- Извършен е обзор на съвременните лекарствени форми и основните етапи на технологичните процеси за тяхното производство.
- Разгледани са някои характерни за производството на конкретни лекарствени форми машини и тенденциите в развитието на автоматичните системи при производството на различни лекарствени форми.
- Предложена е нова класификация на основните компоненти, участващи в производството на различни лекарствени форми.

### Литература:

1. Dimitrov S, Dimitrov L, Dimitrova R, Nikolov S, 2019 Examination of the process of automated closure of containers with screw caps. Studies in Systems, decisions and control, v.199 502-514.
2. Kurt Bauer, Karl-Heinz Froemming, Claus Fuehrer. Lehrbuch der Pharmazeutischen Technologie.
3. Д-р Лидия Пашова Стоянова – Лекарствени форми
4. В.И. Ищенко – Промисленая технология лекарственных средств.
5. А.С.Гаврилов – Фармацевтическая технология. Изготовление лекарственных препаратов.
6. В.И.Чуешов, Е.В.Гладух, О.А.Ляпунова – Промышленная технология лекарств.
7. Ю.А. Полковникова, С.И. Провоторова – Лекарственные препараты промышленного производства.
8. Фирма Ramasol Willi Maeder AG, Швейцария – проспектни материали

## AUTOMATED SYSTEMS FOR THE PRODUCTION OF PHARMACEUTICAL FORMS

**B. Bahchevanov**

***Abstract:** This article discusses automated systems that are used in the production of various dosage forms. The main components constituting these systems and their specific requirements are defined, depending on the type of pharmaceutical form produced.*

### Данни за автора:

Боян Атанасов Бахчеванов, маг. инж., редовен докторант към катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: boyanbahchevanov@gmail.com



# КЛАСИФИКАЦИЯ НА ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ НА КАЧЕСТВОТО НА ПОВЪРХНИНТЕ НА ОПТИЧНИ ДЕТАЙЛИ, ОБРАБОТЕНИ ЧРЕЗ ДИАМАНТЕНО СТРУГОВАНЕ

И. Шопов, К. Георгиев, П. Кацарова

**Резюме:** В настоящата статия е направен анализ на процеса на диамантено струговане с цел да се определят и подредят факторите, влияещи върху качествените показатели. Оценено е влиянието върху процеса на всеки от тях. Определена е голяма съвкупност от влияещи фактори, която затруднява правилният подбор при провеждане на изследвания. С цел да се улесни избора на фактори, които да бъдат променяни в хода на експеримента е представена класификация на факторите, влияещи на качеството на повърхнините на оптични детайли, обработени чрез диамантено струговане.

**Ключови думи:** класификация, фактори, анализ, изследване, диамантено струговане.

## 1. Въведение

Диамантеното струговане с монокристал на диамант (SPDT) е една от най-важните и успешни технологии в областта на прецизното инженерство през последните няколко десетилетия. Това е така защото SPDT интегрира голям брой от най-съвременните технологии за прецизно инженерство, като дизайн на ултрапрецизни машинни инструменти, висока скорост на обработка и ултрапрецизен въздушен шпиндел, висока здравина и ултра прецизни хидростатични плъзгачи, многоосно серво компютърно програмно управление (CNC), монокристален диамантен режещ инструмент, прецизна метрология. Чисто информативно SPDT технологията вече е приложена в широк спектър от области на наука и технологии: за отбрана, енергетика, потребителски продукти [1]. Най-ранните сведения за диамантено струговане започват още в началото на 20 век, а по-късно и във Втората световна война от Frank Cook от Cook Optical и няколко други компании [2; 3; 4]. Най-важните години в развитието на диамантеното струговане са 60-те години на миналия век с нарастващите изисквания за части с висока точност, използвани в енергетиката, компютрите, електрониката и отбраната [3; 5; 6]. Основната работа по развитието е извършена от Y-12 (Union Carbide Nuclear Division, Oak Ridge, Тенеси) и от Националната лаборатория "Лорънс Ливърмор" (Lawrence Livermore National Laboratory, L.L.N.L. (Л.Л.Н.Л.)) и тези изследвания стават основата на ултрапрецизната технология на диамантеното струговане с монокристален диамант. От 60-те до 70-те, ултрапрецизната технология на диамантеното струговане е разработвана най-вече в националните лаборатории и няколко компании, а продуктите са използвани за напредъка на науки и технологии, като оптичните компоненти за космически телескопи на НАСА [7].

През 80-те години на миналия век, когато диамантеното струговане е било достъпно за комерсиални цели и все повече и по-сложни технологии са използвани за този процес, SPDT започва да се внедрява все по-често за индустриални и търговски цели. Въпреки, че теоретичният дизайн на това устройство се появява за пръв път през 1976 г. [9], първият доклад за реализацията му е през 1983 г. от Douglass [10], а по-късно устройството е реализирано от Patterson [11]. В тази епоха добре познатите продукти, произведени от SPDT, включват диск за компютърна памет (твърд диск), частите за скенера във фото копирните машини, както и много други сложни компоненти.



Фиг. 1 Свръхпрецизна специална стругова машина с ЦПУ СС013 за диамантно струговане на алуминиеви дискове за магнитни памети - България[8]



Фиг.2 - Машини за диамантено струговане [12]  
 А) – Nanoform 700 ultra; Б) – Nanotech 350 UPL

В последните 20 години технологията на SPDT се развива ускорено. Технологията SPDT бе бързо приета както в индустрията, така и в академичните среди. SPDT е скъп процес, който в началото на появата си е подходящ за производство на единични или малки количества. Когато се комбинира с масов производствен процес като шприцоване и формоване чрез компресия, SPDT става подходящ за висококачествени потребителски продукти с ниска цена и бързо се популяризира сред свързаните с тях индустрии. Понастоящем сложната многоосна контролна система осигурява на SPDT възможност за обработка на сложни форми, а не само на сферични и асферични повърхности, като и двете са осово симетрични. Въпреки бързото си развитие диамантеното струговане се влияе от множество фактори.

Факторите влияещи на процеса на диамантено струговане са разпределени в две групи: външни фактори и технологични фактори.

- Външни фактори - Към тази графа се отнасят: температура на въздуха, атмосферно налягане, температура на оператора, защита от вибрация, влажност и други. Поради високите изисквания за точност предявявани към оптичните детайли условията за оптимална обработка е необходимо външните фактори да бъдат поддържани в съответните



граница. В началото преди да започне работа, оператора е трябвало да премине през специално стая за темперирание; предявявани са изисквания към сградите да са с антивибрационни основи и покрития; предварително темперирание на детайлите преди да започне механичната обработка; поддържане на определени температура, влага и налягане в помещението. С напредването на технологията темпериранието на детайлите, антивибрационните изисквания са интегрирани в машините, което съкращава времето за подготовка преди обработката на детайла. Голяма част от гореспоменатите външни фактори с напредването на технологията са сведени до незначителни стойности или се поддържат в предписаните граници и могат да се пренебрегват в хода на изследването.

- Технологични фактори - В графата технологични фактори попадат : дълбочина на рязане, подаване и скорост на рязане, охлаждане на режещ инструмент и детайл[13].
- Дълбочина на рязане – това е разстоянието между обработената и обработваната повърхнини, измерено нормално към обработената повърхнина. В зависимост от направлението на измерване дълбочината на рязане бива радиална и тангенциална[13].
- Скорост на рязане – това е моментната скорост на разглеждана точка от режещия ръб на инструмента в направлението на рязане. При въртеливо движение на рязане е резултатна от периферната скорост на обработвания детайл или инструмента и скоростта на подаването. Приема се, че скоростта на рязане е равна на периферната скорост, тъй като скоростта на подаването е много малка и се определя по пътя който изминава инструмента или заготовката за единица време при реализиране на движението на рязане[13].
- Подаване – това е пътя изминат от инструмента или заготовката за едно пълно завъртане или един ход на движението на рязане[13].

Съвкупността от данни е много голяма, неподредена. В този си вид тя затруднява набелязването на перспективна посока за изследвания. Решението на проблема е в създаването на класификация на факторите, влияещи върху качеството на повърхнината при диамантено струговане.

### **2. Методът на класифицирането. Формулиране на задачата за класифициране на факторите.**

Класификация се нарича методът или процесът на организиране на обекти или концепции в категории [14]. Процесът се извършва съгласно свойствата на обектите / концепциите и някакъв метод (схема) на класификация. Крайният резултат, т.е. създаденото изображение на обекти в категории, също се нарича класификация. Когато се ползва термина класификация, най-често се има предвид таксономична класификация, в която категориите са подредени в йерархия, която може да се представи с (едно или повече) дървета[14].

- Таксономията е наука за класификация и номенклатура, включваща правилата, теорията, методите и приложението им. Под класификация се разбира подреждането на изследваните обекти по групи въз основата на определени признаци и критерии и обясняването на това подреждане. Всяка група, която е получена от приложението на определен метод, се нарича таксономична. Съществуват молекулна, йерархична, числена и други групи. Терминът често се използва като дял от биологията във връзка с класификацията на организмите, но почти всичко – одушевени и неодушевени предмети, места и събития – може да бъде класифицирано по някаква таксономична система[15].
- Йерархията е система от взаимни връзки и зависимости за ръководство (управление), и изпълнение (подчинение) на различни задачи, процеси, и функции. Йерархия съществува както в живата, така и в неживата природа. Йерархично организирани системи имат вертикална структура – едно или повече звена имат ръководни функции и се намират на по-висок порядък (ранг) в системата, а друго или повече звена имат изпълнителски функции и се намират на



по-нисък порядък (ранг). Науката, която изследва взаимовръзките между процесите за ръководство и изпълнение се нарича кибернетика.[16]

От представените данни за диамантеното струговане и факторите влияещи на процеса, проличава необходимостта от създаването на класификация на факторите, влияещи върху качеството на повърхнините, обработени чрез диамантено струговане.

### 3. Представяне на класификация

С цел да се определят ключовите проблеми, съпътстващи процеса на диамантено струговане са изработени класификация и оценка на технологичните фактори според произхода и влиянието им върху качествените показатели и систематизация на знанията за този процес.

На фиг. 3 е показана класификация на технологичните фактори, влияещи върху качествените показатели при диамантено струговане, като всеки технологичен фактор е оценен според влиянието му върху тези показатели. Представената класификация е от йерархичен тип, като влияещите на процеса на диамантено струговане фактори са разпределени по различни групи в зависимост от произхода си: машинни, от приспособленията, инструментални, от типа на детайла и външни фактори. Разпределението на технологичните фактори според тяхното влияние върху качествените показатели е направен на база на: изследвания от други учени, препоръчителните режими на рязане според вида на детайла и на база на опита на екипа на „Оптикс АД, гр. Панагюрище”. Като се има пред вид гореизложеното, факторите са подредени още по следния начин: от този с най-високо влияние към този с незначително влияние.

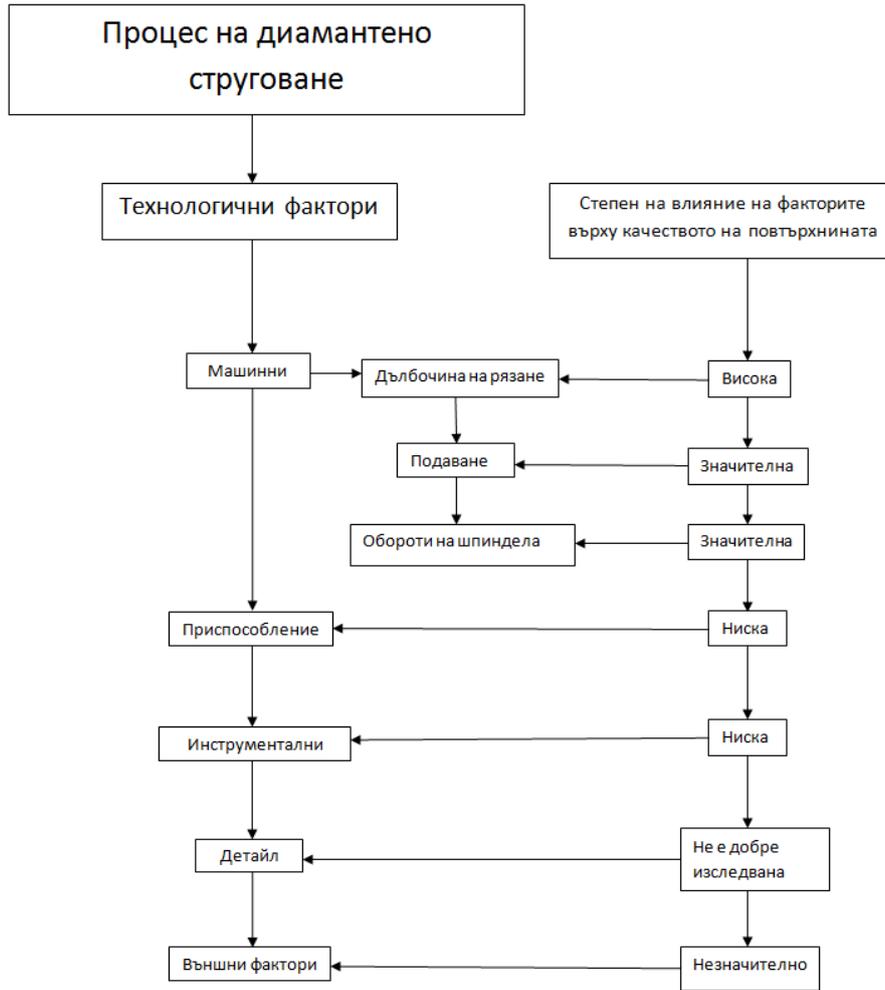
Според направените проучвания технологичните фактори с най-голямо влияние върху качествените показатели са машинните фактори. Към тях спадат: дълбочина на рязане(mm), подаване(mm/min) и обороти на вретеното (rev/min). Групата на машинните фактори се състои от три фактора, като всеки от тях има различно по значение влияние върху качеството на обработваната повърхнина. От машинните фактори, този с най – голямо значение за качествените показатели е дълбочината на рязане (mm), следващият фактор според влиянието му върху качествените показатели е подаването(mm/min). Факторът с най – малко влияние върху качеството на повърхнината е обороти на вретеното (rev/min).

Втората група фактори влияещи върху качествени показатели е групата на приспособленията. В тази категория влизат всички приспособления за базиране и закрепване (блокиране) на заготовката към шпиндела на машината. Приспособленията за блокиране са прецизно изработени и тяхното влияние върху качествените показатели е слабо.

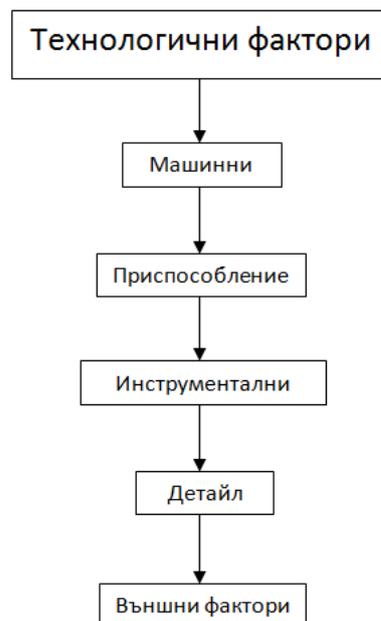
Инструментални фактори – към тази група спадат диамантените обработващи инструменти, които се подбират според типа заготовка и геометричните особености на обработвания детайл. Диамантеното струговане е процес, който позволява всички преходи (грубо струговане, чисто струговане и довършителна обработка) да се извършват с един и същи инструмент, поради тази причина влиянието им е оценено като „слабо”.

Детайл – в представената класификация тази група фактори е оценена като: „не добре изследвана”. За да се оцени адекватно влиянието на кристалната решетка на обработвания детайл върху качествените показатели е необходимо да се изследва съответната кристална решетка и влиянието и върху завършената повърхнина.

Външни фактори – към тази група фактори спадат: атмосферно налягане, температура на околната среда, температура на оператора, температура в работната зона, предварително темперирание на заготовка и режещ инструмент, антивибрационни покрития и други. Развитието на технологиите в последното десетилетие свежда влиянието на тези фактори до незначително.



Фиг. 3 Класификация на технологичните фактори според влиянието им върху качествените показатели при диамантено струговане



Фиг.4 Йерархично разпределение на технологичните фактори, според степента на влияние върху качествените показатели



### 4. Изводи:

- Анализирани са факторите влияещи върху процеса на диамантено струговане.
- Представена е теория за извършване на класификация и е поставена задача за изпълнение.
- Изработена е класификация на факторите влияещи върху диамантеното струговане на оптични детайли, която подрежда и изяснява факторите и степента им на влияние.
- Представената класификация спомага за правилния подбор на фактори, които да бъдат променени в процес на изследвания с цел достигане на оптимални резултати.

### Литература:

1. Lei Li, M.S. Graduate Program in Industrial and Systems Engineering, The Ohio State University, 2009, Investigation of the Optical Effects of Single Point Diamond Machined Surfaces and the Applications of Micro Machining
2. Application of precision diamond machining to the manufacture of micro-photonics components. Davies, M. A., et al. 2003, Proc. of SPIE 5183: Lithographic and Micromachining Techniques for Optical Component Fabrication II, pp. 94-108.
3. Machining of optics: an introduction. Saito, T. T. 8, 1975, Vol. 14, pp. 1773-1776.
4. Schaefer, J. P. Fundamentals of Single Point Diamond Turning. 2005. ASPE annual conference tutorial
5. Development of ultra-precision machining technology. Chiu, W.M. and Lee, W.B. 1997. Fifth International Conference on FACTORY 2000. pp. 486-490
6. Ultraprecision metal cutting - the past, the present and the future. Ikawa, N., et al. 1991, Annals of the CIRP, Vol. 40, pp. 587-594
7. L.L.N.L. The Large Optics Diamond Turning Machine. s.l. : Lawrence Livermore National Laboratory, 1983. 193195
8. <http://www.ugrinov.com/BGrazvitie/razvitie2.pdf>
9. Theoretical Tool Movement Required to Diamond Turn an Off-Axis Paraboloid on axis. Thompson, D. C. 1976. Advances in the Precision Machining of Optics, Proceedings of the SPIE. Vol. 93, pp. 23-29
10. Douglass, S. A machining system for turning nonaxis-symmetric surfaces. PhD dissertation. s.l., Knoxville : the University of Tennessee, 1983
11. Design and testing of a fast tool servo for diamond turning. Patterson, S. R. and Magrab, E. B. 1985, Precision Engineering, Vol. 7, pp. 123-126
12. XQ Zhang and KS Woon, Singapore Institute of Manufacturing Technology, Singapore M Rahman, National University of Singapore, Singapore, Diamond Turning
13. Т. Кузманов; Хр. Метев; Технология на машиностроенето; Основи на машиностроителните технологии, част 1
14. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F>
15. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%8F>
16. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%99%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D1%8F>



**CLASSIFICATION OF FACTORS INFLUENCING THE QUALITY OF SURFACE  
OPTICAL PARTS PROCESSED BY DIAMOND TURNING**

**I. Shopov, K. Georgiev, P. Katsarova**

***Abstract:** This article analyzes the diamond turning process in order to determine and rank the factors influencing the quality indicators. The impact on the process of each of them is assessed. A large set of influencing factors has been identified, making it difficult to make the right choice when conducting research. In order to facilitate the selection of factors to be changed in the course of the experiment, a classification of the factors influencing the quality of the surfaces of optical parts machined by diamond turning is presented*

**Данни за авторите:**

Климент Крумов Георгиев, маг. инж., докторант към катедра „Машиностроене и уредостроене” при ТУ – София, филиал Пловдив, Р. България, Пловдив, ул. "Цанко Дюстабанов" 25, тел.: 0888 53 57 47, e – mail: klimment\_plovdiv@abv.bg

Иван Николов Шопов, доцент доктор инж., катедра „Машиностроене и уредостроене” при ТУ – София, филиал Пловдив, Р. България, Пловдив, ул. "Цанко Дюстабанов" 25, тел.: (+359 32)659659 , e – mail: ivan\_chorov@abv.bg

Павлина Цанова Кацарова, доцент доктор инж., катедра „Машиностроене и уредостроене” при ТУ – София, филиал Пловдив, Р. България, Пловдив, ул. "Цанко Дюстабанов" 25, тел.: (+359 32) 659636 , e – mail: p\_katsarova@abv.bg

# ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БАЗОВИ РАЗМЕРИ ЗА РАЗЛИЧНИ ТИПОВЕ КОНСТРУКТИВНИ АЛУМИНИЕВИ ПРОФИЛИ

М. Севим, С. Николов

**Резюме:** Един от основните критерий за класифициране на конструктивните алуминиеви профили е формата на напречното им сечение. В настоящата статия са определени базовите размери за различните типове конструктивни алуминиеви профили, съгласно този критерий. Разгледани са възможностите за включване на тези размери в автоматизирана система за избор на конструктивни алуминиеви профили.

**Ключови думи:** типове конструктивни алуминиеви профили, базови размери, автоматизирани системи.

## 1. Въведение

Алуминиевите профили, използвани като елементи от конструкцията на различни машини са добили популярност, като конструктивни алуминиеви профили. Те се характеризират със здравина, висока устойчивост на корозия и ниско тегло. Формата на конструктивните алуминиеви профили позволява те да се използват, като градивни елементи в сложни конструкции за сглобяването, на които се използват специално разработени свързващи елементи, осигуряващи бърз и лесен монтаж фиг.1 [1].



Фиг. 1 Свързващи елементи за конструктивни алуминиеви профили

Тези качества на конструктивните алуминиеви профили, днес ги превръщат в стандартни компоненти за изграждане на машини, транспортни системи, предпазни ограждения, работни места, линейни модули с и без задвижване и др. В резултат на това в момента на пазара, от различни производители, се предлагат десетки конструктивни алуминиеви профили с различни форми на напречно сечение, определящо възможностите на тяхното приложение.

Съгласно разработената в [2] класификация, формата на напречното сечение на конструктивните алуминиеви профили е разделена в седем различни категории.

**Целта на настоящата работа** е да се определят базовите размери за различните категории конструктивни алуминиеви профили и възможното приложение на тези размери

при изграждане на автоматизирана система за избор на такива профили, при разработване на различни конструкции.

## 2. Анализ на конструкцията на различни типове конструктивни алуминиеви профили

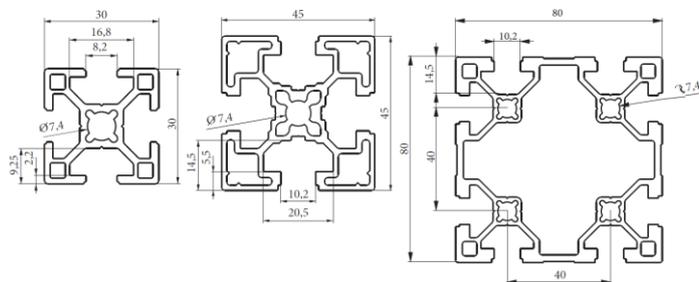
Съгласно разработената в [2] класификация, по формата на напречното си сечение конструктивните алуминиеви профили биват със следните сечения:

- **Квадратно**

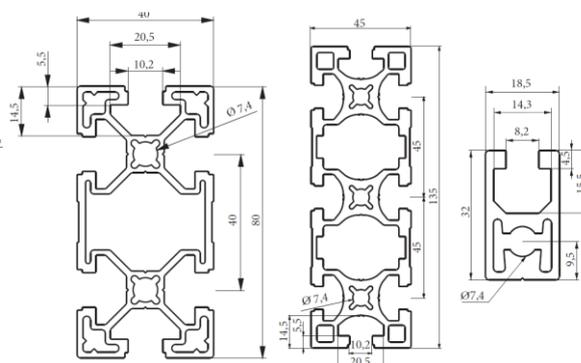
Конструктивни алуминиеви профили с такова напречно сечение предлагани от [3, 4, 5, 6] са показани на фиг.2. (тип 1).

- **Правоъгълно**

Конструктивни алуминиеви профили с такова напречно сечение предлагани от [3, 4, 5, 6] са показани на фиг.3 (тип 2).



Фиг. 2 Профили с квадратно сечение



Фиг. 3 Профили с правоъгълно сечение

- **Кръгло**

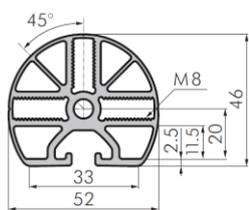
Конструктивни алуминиеви профили с такова напречно сечение предлагани от [3, 4, 5, 6] са показани на фиг.4 (тип 3).

- **Правилен многоъгълник**

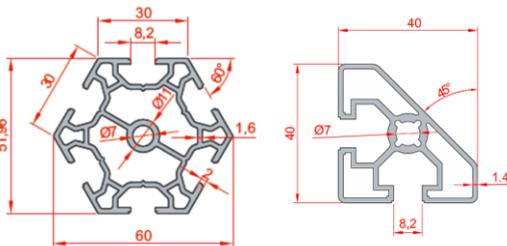
Конструктивни алуминиеви профили с такова напречно сечение предлагани от [3, 4, 5, 6] са показани на фиг.5 (тип 4).

- **Многоъгълник**

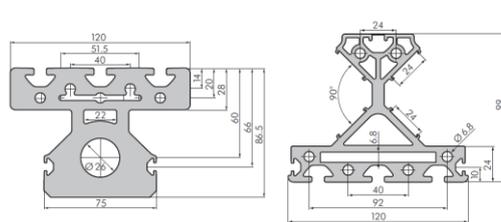
Конструктивни алуминиеви профили с такова напречно сечение предлагани от [3, 4, 5, 6] са показани на фиг.6 (тип 5).



Фиг. 4 Профили с кръгло сечение



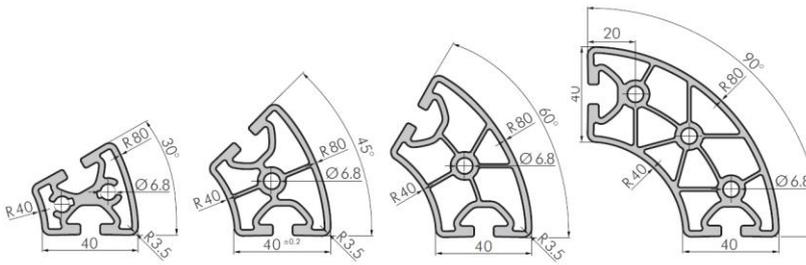
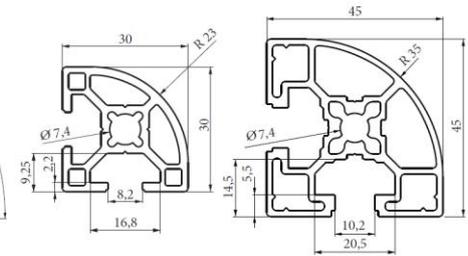
Фиг. 5 Профили със сечение правилен многоъгълник



Фиг. 6 Профили със сечение неправилен многоъгълник

- **Извит сферичен**

Конструктивни алуминиеви профили с такова напречно сечение предлагани от [3, 4, 5, 6] са показани на фиг.7 (тип 6).


**Фиг. 7 Профили с извито сферично сечение**

**Фиг. 8 Профили със сечение с радиус**

- **С радиус (сигма)**

Конструктивни алуминиеви профили с такова напречно сечение предлагани от [3, 4, 5, 6] са показани на фиг.8 (тип 7).

Анализът на конструкцията на напречното сечение на предлаганите на пазара конструктивни алуминиеви профили, показва, че определящите тяхната функционалност размери могат да се разделят на:

- външни - определящи габаритните размери на напречното сечение и каналите по околната повърхнина (при наличие на такива);
- вътрешни - определящи дебелината на стената, ребрата, размера на централния отвор и кукините в напречното сечение на профила;
- на формата и разположението - определящи взаимното разположение на каналите по околната повърхнина на профила (при наличие на такива), отворите и кукините в напречното му сечение.

### 3. Определяне на базовите размери

Въз основа на направения в точка 2 анализ са определени базовите размери за конструктивните алуминиеви профили с различни сечения. Получените резултати са дадени в табл.1.

Използваните в табл.1 кодове за определяне на принадлежността на определения основен размер към съответния тип на напречно сечение на конструктивните алуминиеви профили са както следва:

- 0** - за съответния тип напречно сечение, няма елемент, който да се оразмерява с този размер;
- 1** - за съответния тип напречно сечение, има елемент, който да се оразмерява с този размер;
- 2** - за съответния тип напречно сечение, има елемент, който да се оразмерява с този размер, а самият размер може да се определи с използване на размерите на останалите елементи на напречното сечение.

### 4. Приложение на определените базови размери

Определените в точка 3 базови размери за конструктивните алуминиеви профили с различно сечение, ще бъдат използвани за създаване на база данни, която ще бъде в основата на автоматизирана система за избор на такива профили. Определените базови размери намират приложение при:

- **Търсене на подходящ профил**

Търсенето на подходящ профил е свързано основно със следните критерии:

- подходящи физико механични свойства - трябва да осигурят необходимата стабилност и устойчивост на конструкциите, в които ще се използва профила;



- подходящи габаритни размери на напречното сечение - трябва да осигурят възможност за вграждане на профила в разработваната конструкция;
- подходящи присъединителни размери - трябва да осигурят възможност за свързване на профилите в желаната конструкция и възможност за монтиране на допълнителни възли и детайли в нея.

**Таблица 1 Основни размери за конструктивни алуминиеви профили с различно напречно сечение**

Основни размери		Тип на напречното сечение						
		Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5	Тип 6	Тип 7
<b>Външни</b>	Ширина	1	1	0	1	1	0	1
	Височина	2	1	0	1	1	0	2
	Дължина на страните	0	0	1	1	1	1	0
	Външен радиус/диаметър	0	0	1	0	0	1	2
	Вътрешен радиус/диаметър	0	0	0	0	0	1	0
	Централен ъгъл	0	0	0	0	0	1	1
	Ширина на каналите	1	1	1	1	1	1	1
<b>Вътрешни</b>	Дебелина на стената	1	1	1	1	1	1	1
	Дебелина на ребрата	2	2	2	2	2	2	2
	Диаметър на централния отвор	1	1	1	1	1	1	1
	Размери на кухините в профила	1	1	1	1	1	1	1
<b>На формата и разположението</b>	Размери определящи взаимното разположение на каналите по околната повърхнина	2	2	2	2	2	2	2
	Размери определящи взаимното разположение на централните отвори	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
	Размери определящи взаимното разположение на допълнителни отвори и кухини в напречното сечение на профила	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
	Размери на закръгления и други елементи определящи формата на напречното сечение	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

Отчитайки, незначителните разлики във физико механичните свойства на използваните за изработването на конструктивните алуминиеви профили материали и изброените по-горе критерии, определящи за търсенето на подходящ профил, са външните и част от вътрешните базови размери за различните типове профили, посочени в табл.1.

• **Генериране на 3D модел на търсения профил**

Генерирането на 3D модел на търсения профил, е следствие на извършеното търсене по зададени критерии. То може да се извърши по следните начини:

- генериране на частичен 3D модел - включва определените в табл.1 базови размери, като някои от размерите на формата и разположението, могат да не се използват, ако не са съществени за конкретния случай или за тях няма информация в базата данни;
- генериране на пълен 3D модел - включва всички определените в табл.1 базови размери.

В редица случаи производителите на конструктивни алуминиеви профили не предоставят данни за всички размери на формата и разположението на вътрешните за даден тип профил отвори и кухини. Тогава, частичният 3D модел може да осигури цялата необходима информация, за включването на избрания конструктивен алуминиев профил в разработваната конструкция, с възможност за провеждане на различни симулации и инженерни изследвания.



### Резултати:

Определените базови размери за различните типове конструктивни алуминиеви профили, позволяват създаване на база данни, която да залегне в основата на автоматизирана система за избор на конкретен профил.

Търсенето в базата данни може да се извърши по един или няколко от определените базови размери, като след намиране на желанния профил е възможно използването на останалите данни за него за генериране на негов пълен или частичен 3D модел, който да се вложи в разработваната конструкция.

### 5. Изводи:

- Определени са характерни базови размери за конструктивни алуминиеви профили с различен тип напречно сечение.
- Определени са възможностите за получаване на някои от базовите размери чрез връзката им с останалите.
- Дадени са възможностите за използване на определените базови размери при създаване на автоматизирана система за избор на конструктивни алуминиеви профили.
- Определени са базовите размери, които да се използват при автоматично генериране на пълни или частични 3D модели за избраните с помощта на автоматизираната система конструктивни алуминиеви профили.

### Литература:

1. Modular System, Catalogue LIPRO d.o.o., 2016
2. Севим М., Класификация на алуминиеви профили, „Българско списание за инженерно проектиране”, брой №37, октомври 2018 г. стр. 161 - 165, ISSN 1313-7530, 2018
3. <https://technokom.bg/catalog/view/43> - посетен 02.2019
4. <https://www.elega.lt/en/industrial-aluminium-profiles> - посетен 02.2019
5. <https://www.paletti.de/profile.htm> - посетен 02.2019
6. <http://www.doguskalip.com.tr/tr-TR/6-kanal-sigma-profiller/430/Category.aspx> - посетен на 02.2019

## DETERMINATION OF BASE DIMENSIONS FOR DIFFERENT TYPES OF STRUCTURAL ALUMINUM PROFILES

M. Sevim, S. Nikolov

***Abstract:** One of the main criteria for classification of structural aluminum profiles is the shape of their cross section. In present article the base dimensions for different types of structural aluminum profiles according to this criterion are determined. The possibilities are explored for inclusion of these dimensions in automated system for selection of structural aluminum profiles.*

### Данни за авторите:

Мелят Хюсеинова Севим, магистър инж., редовен докторант към катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел. 965 37 65, e-mail: melyat@abv.bg

Стилиян Николов Николов, доцент доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел. 965 37 65, e-mail: st\_nikolov2@tu-sofia.bg



**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 4**

**“ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ И  
РОБОТИЗИРАНИ КОМПЛЕКСИ”**

# ИЗБОР НА СТЬПКОВИ ДВИГАТЕЛИ ЗА РОБОТИ ПРИ ОТВОРЕНА СХЕМА НА УПРАВЛЕНИЕ

Р. Димитрова, В. Павлов

**Резюме:** Стьпковите двигатели са широко използвани в задвижвания, които изискват позиционна точност. Ефектът им е хардуерно и софтуерно подчертан при отворена схема на управление (без сензори за обратна връзка), която е изпълнима при наличие на определени условия. В настоящата работа са разгледани теоретични статични и динамични модели осигуряващи изпълнението на тези условия. Предложени са и инженерни решения за случаи на проектиране и изработка на модели за провеждане на експериментални изследвания. Решен е числен пример за избор на стъпкови двигатели на експериментален модел на робот аналог на структурата на Delta.

**Ключови думи:** Delta робот, стъпков двигател, отворена схема на управление.

## 1. Въведение

Стьпковите двигатели намират широко приложение при задвижвания, които изискват прецизно позициониране. Роботите са в тази група. Особено ефективно е тяхното използване когато е възможна отворена схема на управление, т.е. без използване на сензор за положение, който отразява прецизното изпълнение на подадения управляващ сигнал. В случай на неточност управлението подава допълнителен сигнал за корекция. Реализирането на тази схема изисква спазване на определени условия, които са обект на настоящата разработка. Отворена схема на управление е показана на фиг.1.



Фиг.1. Отворена схема на управление

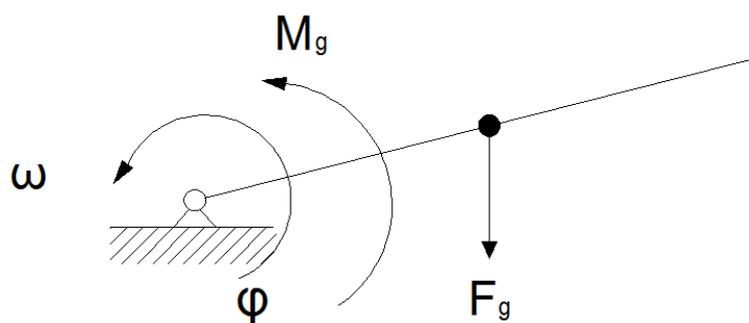
Управляващия блок, в изпълнение на определена програма насочва изискване към генератора на импулси. Импулсите съответстват на определен ъгъл на завъртане на стъпковия двигател през предавателните механизми до изпълнителните звена.

### 1.1. Избор на статичен момент

Както е известно момента при въртливо движение се определя от:

$$P = M \cdot \omega \leq P_D \quad (1)$$

$M$  е статичния момент, който двигателя трябва да преодолее, а  $\omega$  е ъгловата скорост. Ъгълът между  $M$  и  $\omega$  е нула, т.е.  $\cos \widehat{M\omega} = 1$  и числото е положително. По тези съображения  $\cos \widehat{M\omega}$  е пропуснат в (1).

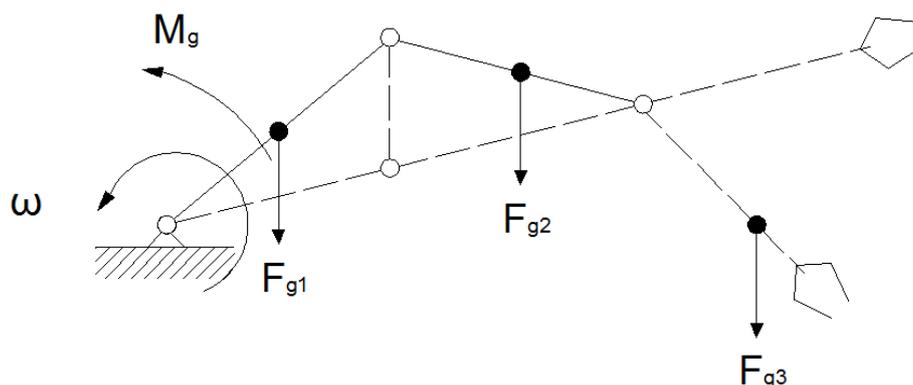


Фиг.2 Модел за задвижване на звено с масов център нележащ на оста на въртене

Моментът  $M$  е статичен и се определя за преодоляване на външно натоварване. За модела на фиг.2 това е гравитационната сила  $F_g$ . Очевидно  $M$  е променлив по големина и знак и при определяне на  $P$  се взема максималната положителна стойност [3].

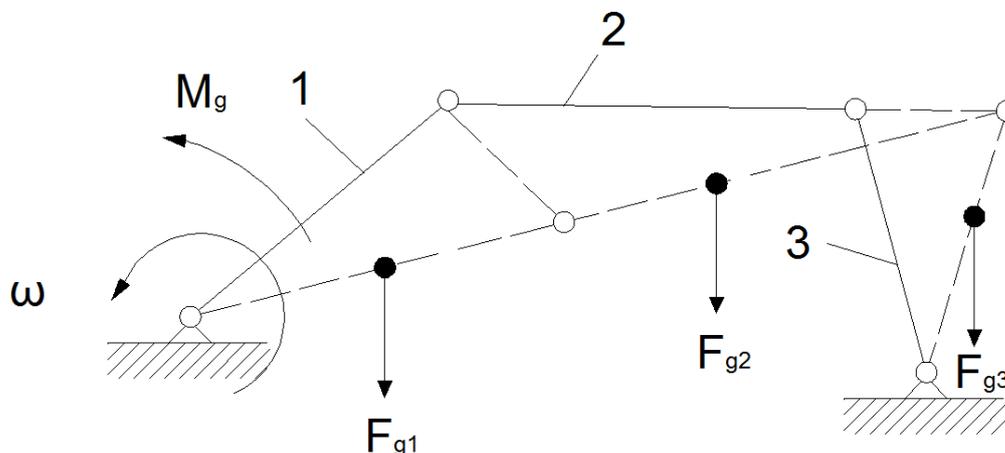
$$M = F_g \cdot l_g \cos \varphi \quad (2)$$

Ъгловата скорост е постоянна величина, определена от необходимата скорост на въртене.



Фиг.3 Модел на звено шарнирен четиризвненник изискващ успоредност на осите – грешките се компенсират от хлабините в кинематичните съединения

При задвижване на затворени структури се образува съпротивителен момент, който се получава от еластични сили, следствие на неточности при изработка и затвореност на контура. Изчисляването на тези сили и получените от тях съпротивителни моменти не са обект на това изследване [1, 2].



Фиг.4 Модел за задвижване на затворен контур



### 1.2. Избор на динамичен момент

За задвижванията при роботите, където старт-стопите са съпоставими със стационарност, избора на двигатели трябва да става на база на динамичните моменти. За целта се съставят динамични модели. Видът им зависи, както от конкретната конструкция, така и от вида на управлението в смисъл на последователно включване на двигателите или паралелно (работа на повече от един двигател едновременно).

За работи с паралелна топология, ползващи платформата на Стюърт, както и Delta работата са характерни и двата случая. По неблагоприятно за двигателите е когато действат поединично и това трябва да бъде определящо при избор на двигатели. От теоретична гледна точка използването на едно масови динамични модели за затворени структури на работи тип Delta не е коректно, но инженерно допустимо предвид относително ниските скорости и твърде много неопределеност в етапа на проектиране [1, 2, 3]. Така за модел с привеждане на силови и масови характеристики към оста на въртящ се двигател се използва:

$$M_{\text{пр}} = J_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

където:

$M_{\text{пр}}$  е приведения момент на всички сили и моменти.

$J_{\text{пр}}$  – приведен масов инерционен момент на подвижните звена.

Решаването на уравнение (3) дава изменението на ъгловата скорост във времето спрямо геометричния показател (най-често ъгъл на завъртане).

За стъпковите двигатели управлявани по т.н. отворена схема (без сензор за положение) съществено се явява условието:

$$J_{\text{пр}} \leq [J_{\text{пр}}] \quad (4)$$

където:  $[J_{\text{пр}}]$  е допустимата стойност за съответния двигател и се посочва в справочниците. Условието (4) е гаранция за това, че няма да се пропускат стъпки, които без сензор за позиция не могат да се отчитат от управлението.

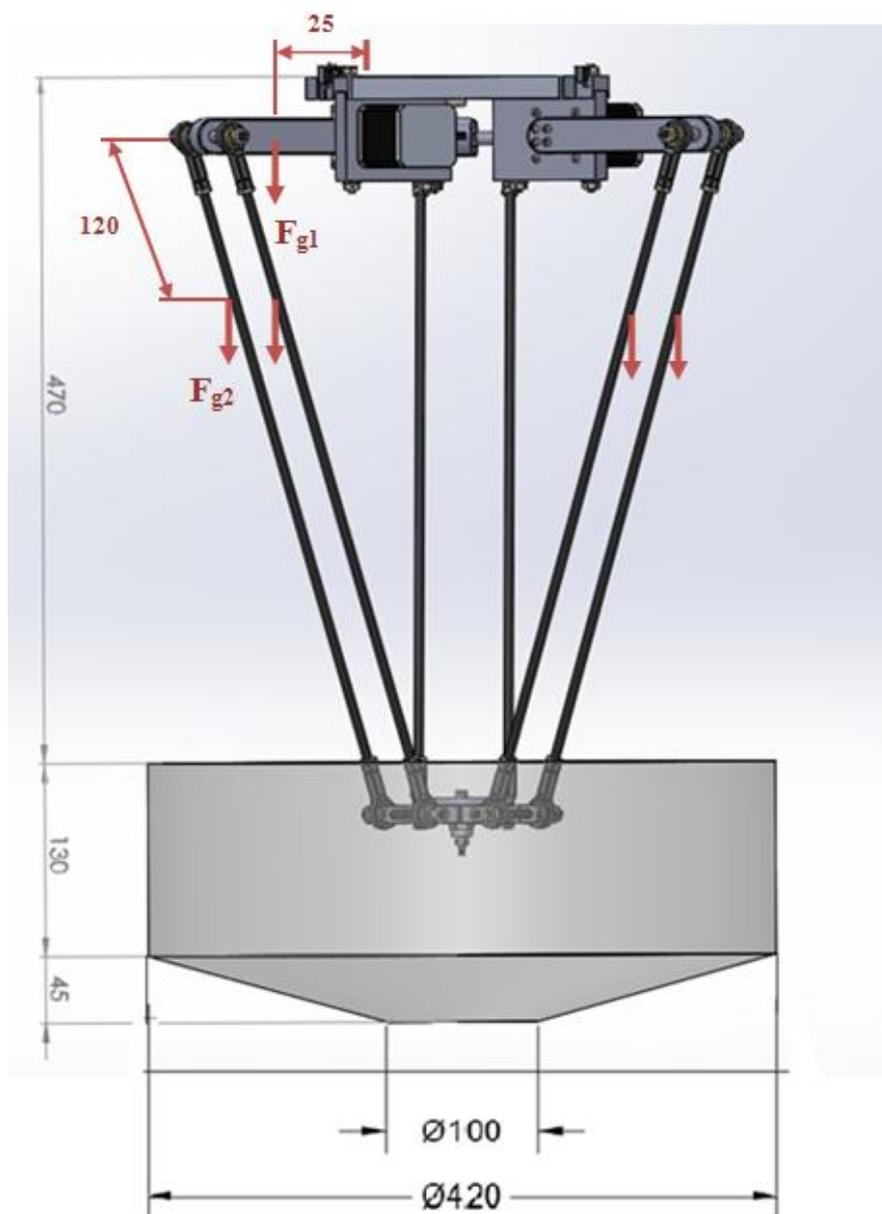
### 2. Инженерни изчисления за задвижване на робот Delta

Приведеният масов инерционен момент към оста на електродвигателя се получава от израза:

$$J_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n J_{si} \left( \frac{\omega_i}{\omega_d} \right)^2 + \sum_{i=1}^n m_i \left( \frac{\vartheta_{si}}{\omega_d} \right)^2 \quad (5)$$

където:  $n$  е броя на подвижните звена;  $J_{si}$  – масовия инерционен момент, спрямо масовия център на  $i$  – тото звено;  $\omega_i$  – ъгловата му скорост;  $\omega_d$  – ъгловата скорост на двигателя;  $m_i$  – масата на  $i$  – тото подвижно звено и  $\vartheta_{si}$  – скоростта на масовия му център.

Определящо за избора на стъпков двигател при отворена схема на управление е неравенство (4). Полученото число за  $J_{\text{пр}}$  от израза (5) служи за избор на стъпков двигател от каталог с по-голяма стойност и номинална ъглова скорост.



Фиг.5 Конструктивна схема на задвижване на робот Delta

Разгледаната теоретична постановка дава възможност за инженерно решение за конкретния пример. На фиг. 5 е показан робот проектиран и изработен по структурата на Delta. Ако се допусне, че пред стъпковите двигатели няма предавателен механизъм (редуктор), определящи за приведения инерционен момент са подвижните звена на затворената система.

За първото звено:

$$J_{s1} = 0,5ml_{s1}^2 = \dots [Nm^2]$$

Второто звено е паралел ограничен контур и за първия етап на проектиране с цел избор на двигател може да се допусне:

$$J_{s2} = 0,5m_s l_s^2 = \dots [Nm^2]$$

където:  $m_s$  е осреднената маса, а  $l_s$  – разстоянието до масовия център.

Инерционния момент на третото звено може да се пренебрегне, т.к. е малък спрямо останалите две, а също и ъгловата скорост е малка.



Ъгловата скорост на първото звено е равна с тази на двигателя (при допускане, че няма редуктор). За определяне на  $\omega_2$  трябва да се изследва затворения контур и лимитиращо ще бъде съотношението между дължината на звената. Тя е променлива в работния диапазон. За този етап на проектиране по експертна оценка ще се избере между два и три пъти по-малка  $(\omega_2 = \omega_d)^2$  или  $(\omega_2 = \omega_d)^3$ . Така на първо приближение за  $J_{пр}$  се получава:

$$J_{пр} = J_{s1} + 0,25J_{s2}$$

Прието е  $(\omega_2 = \omega_d)^2$ .

Стойностите за конкретния пример са:

- Дължина на звено 1,  $l_1 = 120$  [mm];
- Разстояние до масовия център,  $l_{s1} = 25$  [mm];
- Маса на звено 1,  $m_1 = 66$  [g];  $m_1 = 0,066$  [kg]
- Дължина на звено 2,  $l_2 = 480$  [mm];
- Разстояние до масовия център,  $l_{s2} = 100$  [mm];
- Маса на звено 2,  $m_2 = 100$  [g];  $m_2 = 0,1$  [kg].

Както бе отбелязано масовите параметри на звено 3 са пренебрегнати, поради това че са малки спрямо останалите и ъгловата скорост също е малка спрямо оста на привеждане (на двигателя). Добавката към приведения масов инерционен момент също е малка. За ъгловата стойност на звено 2 може да се приеме, че е  $\omega_2 = \frac{\omega_1}{5}$ . При тези данни и допускания за  $J_{пр}$  се получава:

$$J_{пр} = 66 \cdot 2,5^2 + \frac{100 \cdot 100}{25} = 812,5 \text{ [gr. sm}^2\text{]}$$

Избраният стъпков двигател има  $[J_d] = 82$  [gr. sm<sup>2</sup>],  $J_{пр} > [J_d]$ , което прави невъзможно използването на отворена схема на управление.

Направени са конструктивни промени на звено 1, което води до промяна на неговата маса  $m_1 = 53$  [g];  $m_1 = 0,053$  [kg]. При запазване на останалите параметри за  $J_{пр}$  се получава:

$$J_{пр} = 53 \cdot 2,5^2 + \frac{100 \cdot 100}{25} = 731,25 \text{ [gr. sm}^2\text{]}$$

Избраният втори стъпков двигател има  $[J_d] = 980$  [gr. sm<sup>2</sup>],  $J_{пр} < [J_d]$ , следователно може да се приложи отворена схема на управление.

### 3. Заключение

Изборът на стъпков двигател за задвижване на работи с отворена схема на управление е често срещана задача поради предимството което осигурява. Много често това предимство се губи поради несъответстващ избор на двигател. Настоящата разработка дава теоретичните основи за прецизен избор и за инженерни допустими отклонения при първи етап на проектиране, когато се създават модели за експериментални изследвания. Резултатите от планираните изследвания се използват за подобряване на техническите показатели, в това число прецизиране параметрите на двигателите.



**Литература:**

1. Димитрова Р., В. Павлов, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXIII, бр. 9/172, стр. (16-23), 2015 г.
2. Долчинков Р., Павлов, В., М. Колева, Систематизиране на схемите на задвижване на изпълнителни звена на работи с ограничен ъгъл на завъртане, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXV, бр. 2/217, стр. (181-186), 2017 г.
3. Павлов В., Учебник - Проектиране на промишлени работи, София, 1993 г.

## CHOOSING A STEPPER MOTORS FOR ROBOTS IN AN OPEN MANAGEMENT SCHEME

R. Dimitrova, V. Pavlov

*Summary: Stepper motors are widely used in drives that require positional accuracy. Their effect is hardware and software underlined with an open control circuit (without feedback sensors) that is feasible under certain conditions. In the present work we examine the theoretical static and dynamic models ensuring the fulfillment of these conditions. Engineering solutions have also been proposed for designing and manufacturing models for conducting experimental research. A numerical example of the stepwise engine selection of an experimental model of a robot analogue of the Delta structure has been proposed.*

**Данни за авторите:**

Ренета Димитрова, доцент д-р инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Веселин Илиев Павлов, професор д-р инж., Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, vpavlov@tu-sofia.bg

# ТЕЛЕ-УПРАВЛЕНИЕ НА ХОЛОНОМЕН МОБИЛЕН РОБОТ С МЕКАНУМ КОЛЕЛА

Н. Шиваров, Д. Чикуртев, Н. Шиваров

**Резюме:** В настоящата статия е разгледан холономен мобилен робот с меканум колела. Описан е хардуера за управление на робота. Представени са методи за дистанционно и автономно управление. Разработен е софтуер за изпълнение на описаните методи в мета операционната система за управление на роботи ROS. Проведени са експерименти за работата на навигационната система на мобилния робот в реално време. Представени са резултати от проведените експерименти.

**Ключови думи:** холономен мобилен робот, меканум колела, теле-управляем робот, автономна навигация, ROS.

## 1. Холономен мобилен робот с меканум колела

Холономния Мобилен Робот е с четири независимо задвижващи Меканум колела (фиг. 1). Неговото шаси е направено от алуминиеви детайли. Размерите на платформата са: 400mm x 360mm x 100mm. Меканум колелата дават възможност на робота да се движи във всяка посока и да се върти чрез промяна на посоката и скоростта на всяко колело [1, 2]. Предните колела на робота са монтирани на допълнителна платформата, така че конструкцията на окачването да гарантира, че всичките четири колела са в контакт с повърхността, дори когато тя е неравна. Хардуера на робота включва: микроконтролери Teensy и Rasp Barry Pi 3, четири 12V постояннотокови двигатели с енкодери и драйвери, четири ултразвукови сензори, сензор за ориентация MPU9250 и лазерен скенер RPLidar A3.



Фиг.1. Холономен мобилен робот с меканум колела

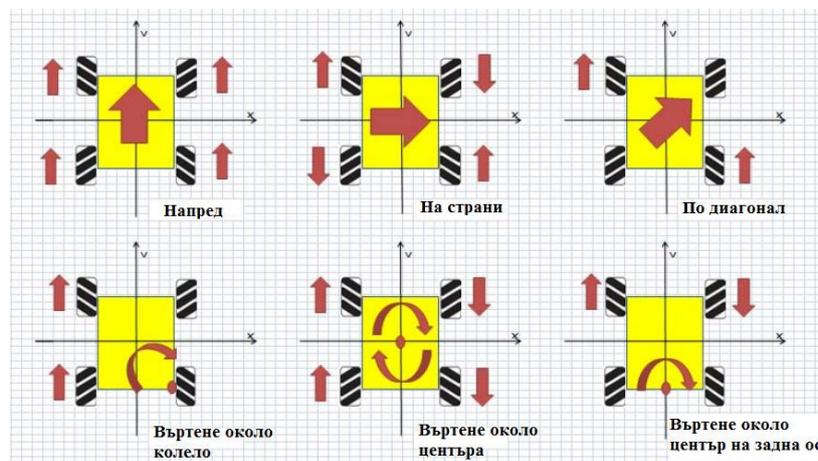
## 2. Теле -управление чрез джойстик

За теле-управлението на робота се използват възли на метаоперационната система Robot Operating System – ROS. За теле-управление на робота с клавиатура се използва пакета `teleop_twist_keyboard`, който изпраща `geometry_msgs/Twist` съобщения към контролера на платформата. За теле-управлението с джойстик, се използва пакета `teleop_twist_joy`, който преобразува сигналите от джойстик към `geometry_msgs/Twist` съобщения към контролера [3].

Съобщенията от тип `geometry_msgs/Twist` включват два вектора. Единия вектор е за представяне на линейно движение, а другия за ъглово [4]. Това изразява скорост в свободното пространство, разделена на линейни и ъглови части. Всеки вектор е съставен от три компонента –  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , които представляват променливи от тип `float64`.

Метода включва управление на робота по два критерия – транслационни движения и ротационни движения [5]. Транслациите включват движение в посоки напред/назад, наляво/надясно и по диагонал. Ротационните движения включват завъртане около центъра на платформата, завъртане около центъра на задната ос и завъртане около дадено колело. Поради сложния характер на управление на този тип платформа за да се реализира телеуправление с джойстик трябва да се обособят бутони за управление и съответните функции за трансформиране на командите от джойстика към контролера на робота [6].

Преместването на всичките четири колела в една и съща посока предизвиква движение напред/назад; движението на колелата наляво/надясно в противоположни посоки предизвиква въртене, а движението отпред и назад в противоположни посоки предизвиква странично движение (фиг. 2).

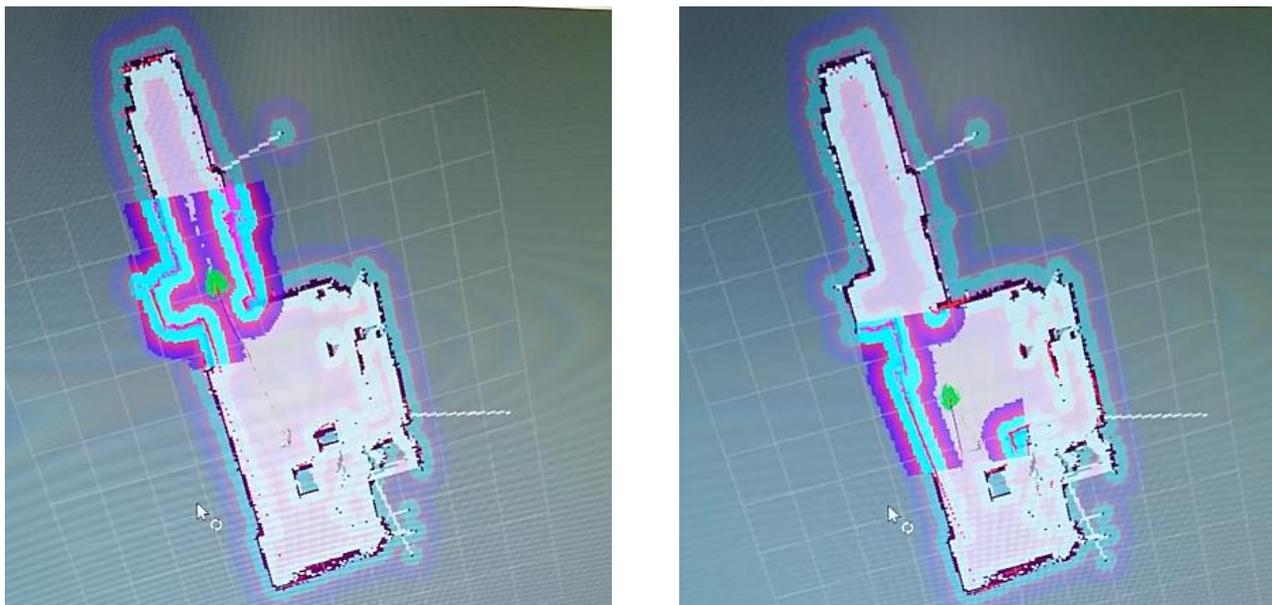


Фиг.2. Управление на меканум колелата за изпълнение на движения

### 3. Автономна навигация

Системата за навигация е реализирана върху операционната система за роботи – ROS. Разработения алгоритъм е добавен към пакетите на навигацията и реално е част от нея [7]. Навигационната система изисква наличието на определени сензори като лазерен скенер, дълбочинен сензор, сензор за ориентация. Трябва да се отбележи, че не е задължително наличието на всички изброени, но за да се постигне точност и успешна работа трябва да се използва поне един сензор за намиране на контурите в помещението. За постигане на оптимални резултати ние използваме комбинация от сканиране на 360 градуса с лазерен скенер и сензор за ориентация. Освен това за да работи коректно навигационната система се нуждае от данни относно завъртане на колелата, типа на мобилната платформа и описан модел на робота според изискванията на ROS [8]. Специфичните характеристиките на робота, като междусие, диаметър на активните колела и резолюция на енкодерите са добавени към пакетите на навигацията, за да може тя да работи коректно.

За да се проведат експерименти, предварително е направена карта на помещението, в което се намира робота (фигура 3). Това става в ръчен режим на телеуправление, като се обхожда помещението и лазерния сензор сканира, докато не се получи завършена карта на помещението.



Фиг.3. Работа на навигационната система в реално време

След като имаме готова карта, активираме навигационната система, тя намира локацията и ориентацията на робота, след което минава в режим на очакване на команди. Робота е показан като точка в горния ъгъл, а стрелките около него показват неговата ориентация. Оцветените повърхности около робота представляват разпознатите контури, които са в обхвата на локаната система за планиране на траектория. Планираната траектория се показва като линия започваща от центъра на робота и свършва там, до където е локално планиране. Желаните дестинации се посочват директно върху самата карта. Навигационната система трябва да придвижва робота от една точка до друга и с определена ориентация, без външна намеса [9].

## 4. Експерименти и резултати

### 4.1. Експерименти

Експеримент 1: Автономно движение с допълнителни обекти. При този експеримент робота трябва да се придвижи от точка А до точка Б. В помещението са поставени допълнителни обекти, които не съществуват на предварително направената карта. Тези обекти са поставени на произволни позиции, така че да има алтернативни пътища за преминаване покрай тях. Целта на този експеримент е системата за навигация да регистрира препятствията пред робота, да създаде алтернативен път и да закара робота до крайната цел.

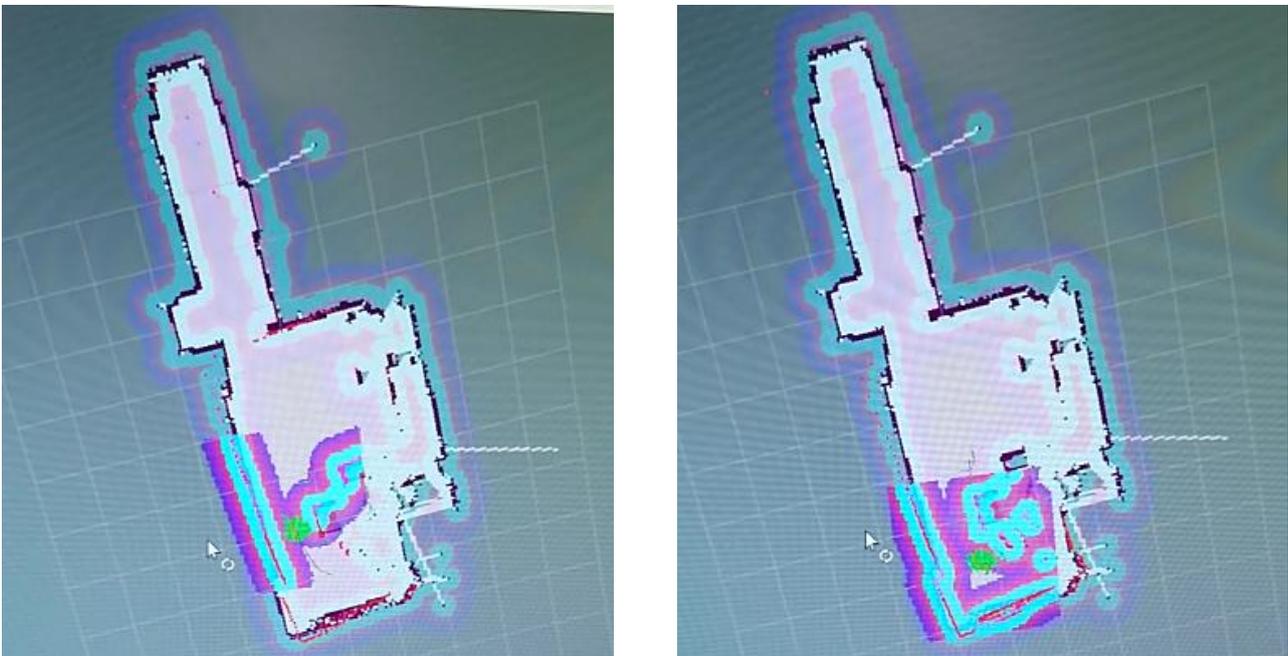
Експеримент 2: Автономно движение с допълнителни обекти и движещи се обекти. При този експеримент се повтаря обстановката от първия експеримент, но се добавя движещ се човек, който преминава пред робота. Целта е когато бъде засечен в близост до робота на разстояние по-малко от 20 см, системата за навигация да спре робота и да предотврати сблъсък. Алгоритъмът проверява дали обекта се движи или е статичен. Ако в период от 3 секунди няма регистрирано преместване, тогава се предприема действие по изчисляване на нов път до зададената цел. Ако обекта се движи, тогава робота изчаква той да излезе извън зоната на сблъсък, след това продължава движението си до целта.

### 4.2. Резултати

Получените експериментални данни са показани, чрез инструмента RVIZ. Това е пакет имплементиран в ROS, който се използва за визуализиране на данните от различни сензори в реално време. Може да се използва както за 2D, така и за 3D визуализация. В нашия случай визуализираме картата на помещението и данните от измерванията на лазерния скенер.

При изпълнение на първия експеримент бяха поставени допълнителни обекти в средата на стаята, както се вижда на фигура 4. Роботът успешно регистрира тези обекти и ги поставя на съответните им позиции върху картата. Системата за навигация намира и преизчислява нов път до зададената дестинация, след което робота я достига. В този случай желаната позиция е долу в центъра на стаята. Навигационната система изчислява, че робота може да премина между обектите, той преминава между тях и достига до крайната точка. Когато робота се приближи прекалено близо до някой от обектите се активира алгоритъма за избягване на препятствия, тогава навигацията е принудена да възпроизведе алтернативен път до крайната цел.

При изпълнение на втория експеримент, робота успешно регистрира появилите се движещи обекти пред него и успява да спре. Докато обекта е в обхвата на зоната на сблъсък, системата за навигация изчаква докато се освободи пътя. Ако обекта остане статичен, тогава навигацията започва да търси и да преизчислява нов път ако е възможен такъв. Когато няма алтернативен път робота остава на място и изчаква докато обекта не освободи пътя или намеса на оператор.



**Фиг.4. Резултати от проведените експерименти**

## **5. Изводи:**

Използването на холономен мобилен робот с меканум колела дава възможност за прецизно движение във всички посоки на робота в малки пространства. Предимствата на този тип платформа дават възможност за приложението ѝ в роботите за подпомагане на възрастни хора и инвалиди в техните домове, където се налага точно позициониране, движение в тесни пространства и адаптивна манипулация с обекти. Проведените експерименти и получените резултати показват, че е възможно постигане на точно позициониране, движение в тесни пространства и заобикаляне на препятствия при използване на автономна навигация в реално време.

Като бъдеща работа се предвижда на базата на мобилния робот с меканум колела да се разработи и изследва сервизен робот „РОБКО 20“ за подпомагане на възрастни хора и инвалиди в техните домове.



### Благодарности:

Това изследване е реализирано като част от изпълнението на проект „Теле-управляеми Сервизни Роботи Повишаващи Качеството на Живот на Възрастни Хора и Инвалиди, № ДН 07/23 – 15.12.2016“, финансиран от Фонд Научни Изследвания.

### Литература:

1. <https://www.nexusrobot.com/product/4wd-100mm-mecanum-wheel-learning-arduino-kit10009.html>
2. Kyung-Lyong Han, Oh-Kyu Choi, Jinwook Kim, Hyosin Kim and J. S. Lee, "Design and control of mobile robot with Mecanum wheel," 2009 ICCAS-SICE, Fukuoka, 2009, pp. 2932-2937.
3. M. Nuri AlmaliKenan GürçamAtilla BayramAtilla Bayram, "Wireless Remote Control of a Mobile Robot", International Journal of Scientific Research in Information Systems and Engineering (IJSRISE), Volume 1, Issue 2, December-2015. ISSN 2380-8128
4. [http://docs.ros.org/api/geometry\\_msgs/html/msg/Twist.html](http://docs.ros.org/api/geometry_msgs/html/msg/Twist.html)
5. Christof Röhrig, Daniel Heß, Frank Künemund, "Motion Controller Design for a Mecanum Wheeled Mobile Manipulator", IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA 2017) August 27-30, 2017. Kohala Coast, Hawai'i, USA
6. B. Chu, "Performance Evaluation of Mecanum Wheeled Omni-directional Mobile Robot", The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014).
7. D. Chikurtev, Indoor Navigation for Service Mobile Robots Using Robot Operating System (ROS), PROBLEMS OF ENGINEERING CYBERNETICS AND ROBOTICS, Vol 67, Sofia, 2016, p. 61-70, ISSN 0204-9848.
8. Nayden Chivarov, Denis Chikurtev, Kaloyan Yovchev, Stefan Shivarov - Cost-Oriented Mobile Robot Assistant for Disabled Care; TECIS 2015, 16th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, Sozopol, Bulgaria, 24-27 September 2015, SJR – 0.263
9. Nayden Chivarov, Denis Chikurtev, Ivaylo Rangelov, Aleksandar Gigov, Nedko Shivarov - SENSOR SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF OBSTACLES FOR SERVICE MOBILE ROBOTS, Proceedings of the Technical University of Sofia, Volume 67, Issue 2, 2017, p. 71-80, ISSN 1311-0829.

## TELECONTROL OF HOLONOMIC MOBILE ROBOT WITH MECANUM WHEELS

N. Chivarov, D. Chikurtev, N. Shivarov

**Abstract:** *This article discusses a holonomic mobile robot with mecanum wheels. Described is the robot control hardware. There are presented methods for remote and autonomous control. Software has been developed to implement the described methods for managing the ROS operating system. Experiments have been conducted to run and test the mobile robot's navigation system in real time. The results of the experiments are presented.*

### Данни за авторите:

Nayden Chivarov – ИКТ-BAS & EPU, Pernik, nshivarov@code.bg

Denis Chikurtev – ИКТ-BAS & EPU, Pernik, dchikurtev@abv.bg

Nedko Shivarov –EPU, Pernik, nedko@code.bg



# ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ НА ИЗКУСТВЕНИЯ ИНТЕЛЕКТ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА СЕРВИЗНИ РОБОТИ

Е. Марков, Н. Шиваров, Д. Чикуртев

**Резюме:** Сервизните работи имат приложение в различни области от ежедневието на хората. Широкото им приложение налага роботите да могат да изпълняват разнообразни задачи. В статията се разглеждат множество методи за управление на сервизен робот, като се обръща внимание на физическата и информационна сигурност, в контекста на приложение на робота за подпомагане на възрастни хора и инвалиди. Методите за управление са: ръчно управление, разпознаване на гласови команди, разпознаване на жестове и автономна навигация. Изследвана е система за многоканално управление на робота и приоритизиране на различните канали за управление.

**Ключови думи:** сервизен робот, интелигентно управление, изкуствен интелект, взаимодействие човек-робот.

## 1. Въведение

Застаряването на населението е често срещан проблем в съвременните общества и бързото застаряване на населението и намаляването на раждаемостта са станали по-сериозни през последните години. Например недостигът на работна сила в болниците и в старческите домове доведе до влошаване на качеството на живот на възрастните хора [1]. Технологиите на роботите се очаква да играе важна роля за развитието на здравословно и устойчиво общество. По-специално, ежедневно подпомагане на възрастните хора и инвалиди в болниците и хосписи е едно от най-неотложните и обещаващи приложения за сервизни работи.

Помощните работи представляват бъдеща алтернатива на социални помощници и асистенти [2]. Значително предимство при използването на такива работи е, че пациентите са в състояние да дават команди на роботите, без да се притесняват от неудобството на техните човешки помощници. Ето защо е много важно да се разработят интерфейси, от които хората с тежки увреждания могат да работят с високо интелигентни работи.

За хора с тежки увреждания вече са разработени редица интерфейси между хора и работи. Тези интерфейси обаче са разработени на базата на сложни и скъпи технологии, които не са приложими в масовото производство. Поради това се търсят фундаментални решения на проблемите с интерфейсите, които да бъдат лесно достъпни за обществото.

Мерки за безопасност се разделят на два класа – мерки за физическа безопасност и мерки за информационна сигурност. Физическата безопасност е от първостепенно значение при работа с възрастни хора и инвалиди. За гарантиране на физическа безопасност са осигурени три независими канала за защита от сблъсъци. Като допълнителна мярка е добавен джойстик, който по всяко време позволява ръчно преместване на робота.

Едно от предназначенията на робота е да осигури теле-връзка между възрастните хора и техните близки. За осигуряване на високо ниво на сигурност и защита на личното пространство на ползвателите на робота са предвидени следните мерки: криптиране на комуникациите през SSL сертификат, поддържане на две нива на теле-достъп. Първото ниво позволява дистанционно управление на робота. За достъп до първо ниво е необходимо наличието на предварително регистриран потребител със сертификат с еквивалентно ниво на



сигурност. Второ ниво осигурява единствено теке-връзка (видео и глас), като за осъществяване на връзката е необходимо разрешение от страна на ползвателя.

### **2. Интерфейси за комуникация и управление на работа**

Интерфейсите за комуникация са много важен инструмент за интегриране на роботите сред хората [3]. Тяхната роля е да прескочат бариерата между хората и машините [4]. Основната идея е хората да могат да управляват директно роботите или да им задават команди, които да изпълнят.

Директното управление обикновено е трудно и рисково, когато се извършва от възрастен човек или инвалид. Поради това се въвежда полу-автономното управление. Човека задава задача на робота, след което робота самостоятелно или с частична помощ от човека изпълнява заданието. При това управление човека не е натоварен със задачата да движи робота с джойстик или бутони, а може да задава команди чрез различни методи – говор, жестове, навигация и др.

За да се реализира подобен контрол, трябва да се разработят средства и методи за комуникация и контрол. Основен компонент е потребителският интерфейс. Той обикновено е под формата на приложение, което може да се използва от телефон, таблет, лаптоп. В потребителския интерфейс могат да се вградят различни методи за управление на робота. Например може да има бутони за директно управление или бутони за изпълнение на определена задача. Може да се следят някои от данните на робота, или да се използва навигационната система на робота, ако той притежава такава. Потребителският интерфейс може да се персонализира според индивидуалните нужди и желания на възрастните или инвалидите.

Говорът е най-естествения метод за комуникация. Поради това хората се адаптират най-лесно, когато общуват чрез говор. Този тип интерфейс позволява на хората да говорят с робота. Те могат да задават гласови команди, а робота да им отговаря. Програмират се определени готови команди, които да се разпознават от робота и се изгради сложна система от невронни мрежи, базирана на изкуствения интелект, която да генерира автоматично отговори от робота. Също така може предварително да се направят асоциации на определени гласови команди с конкретни задачи за изпълнение.

Друг метод за комуникация са жестовете. Обикновено хората със проблеми в слуха и говора си общуват по този начин. Тук се разработват видео системи за разпознаване на движенията на ръцете, тялото, главата, очите или други части от тялото. По този начин може да се създаде система за разпознаване на жестове, която да се вгради в робота и съответно да може да общуваме с него. Ако се запаметят предварително определени жестове и те се свържат с определени задачи, можем спокойно да управляваме робота подобно на гласовия интерфейс.

### **3. Приложение и приоритизиране на методите за управление.**

Интерфейсите за управление, които се прилагат са следните: управление с джойстик, управление със глас, управление с жестове и управление през уеб базиран потребителски интерфейс [6].

Управлението със глас е базирано на Google API и е безплатно, до определен брой разпознати думи и фрази. Това управление допълнително е вградено към потребителския интерфейс, където може да се използва. Управлението с гласови команди се активира или посредством произнасяне на определена ключова дума или посредством активиране чрез някой от интерфейсите за локално управление на робота. Поддържаните гласови команди са: „напред“, „назад“, „стоп“, „наляво“, „надясно“, „бързо“, „бавно“, „донеси“, „вода“, „храна“, „лекарство“, „помощ“, „следи“.



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

Управлението чрез жестове е разделено на два типа: управление с цяла ръка и управление с китка. Управлението чрез цялата ръка е реализирано чрез разпознаване на скелетона на човека и следене на позицията на ръцете. Използваното устройство е Кинект. Той е евтин и разпознава сравнително добре. Освен това може да работи в два режима: прав човек или седнал човек.

Управлението с китка работи на принципа на разпознаване на положението на китката. Използва се устройството Leap Motion. Това устройство разпознава китката и пръстите. Измерва разстоянието до китката, както и дава координатите по x, y и z. Друга възможност, която има Leap Motion е разпознаване на разперена китка или свит юмрук. Всички тези възможности се използват за да се управлява мобилната платформа или ръката.

Уеб интерфейса за управление на робота е реализиран като виртуален джойстик, като целта е човек от вън да може да поеме контрол над робота и да го управлява като получава достъп до образа на камерата на робота, както и до вградения микрофон.

Реализирани са следните видове управляващи канали:

Таблица 1. Видове канали за управление.

№	Канал	Приоритет
0	Сезори за предотвратяване на колизии	1
1	Джойстик	2
2	Приложение за мобилен телефон или компютър	2
3	Уеб интерфейс за управление	3
4	Управление с гласови команди	4
5	Управление с жестове посредством сензор Kinect	5
6	Управление с жестове посредством сензор LeapMotion	6
7	Полу/автономен режим за извършване на прости задачи	6
8	Автономен режим за следене на човек	7
9	Управление на манипулатора на робота	8

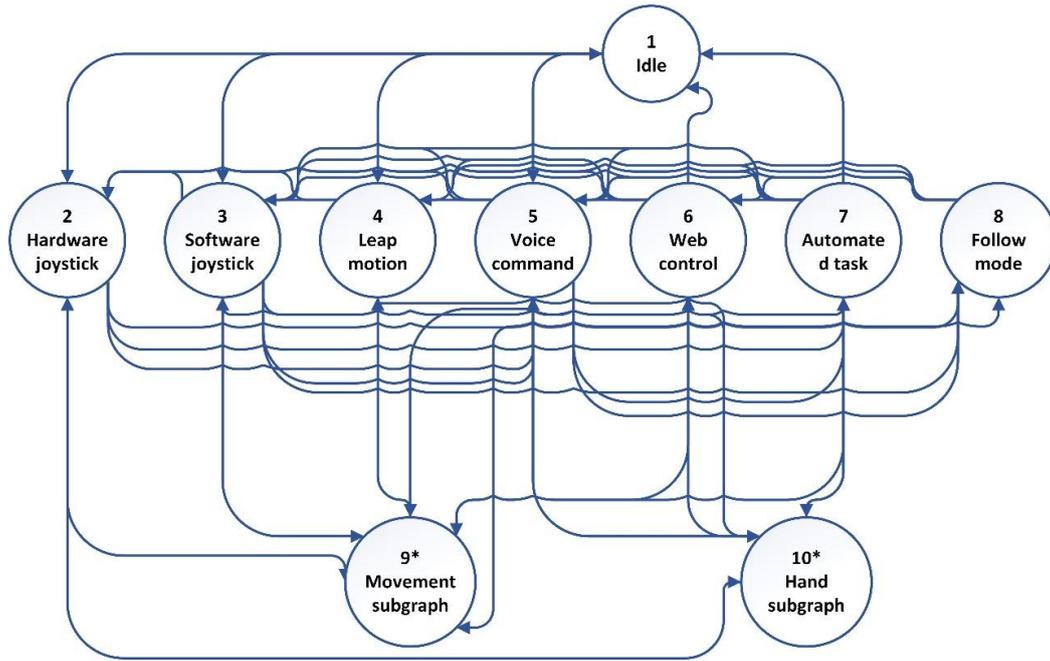
На компютъра на робота е инсталирана мета-операционната система Robot Operating System - ROS, като всички канали за управление се синхронизират и управляват от ядрото на ROS [7]. Поради големия брой налични канали е необходимо да се определи приоритет на управляващите сигнали, така че да не се допуска неконсистентно поведение на робота [8].

С най-голям приоритет са зададените алгоритми за предотвратяване на сблъсъци, като в случай че на пътя на робота се появи препятствие, неговото движение се прекратява автоматично.

Следващ приоритет имат командите подавани към робота по презумпция от човек имащ пряка видимост към движенията му, посредством джойстик или специализирано приложение за мобилен телефон/таблет/компютър, работещо в локалната мрежа на робота.

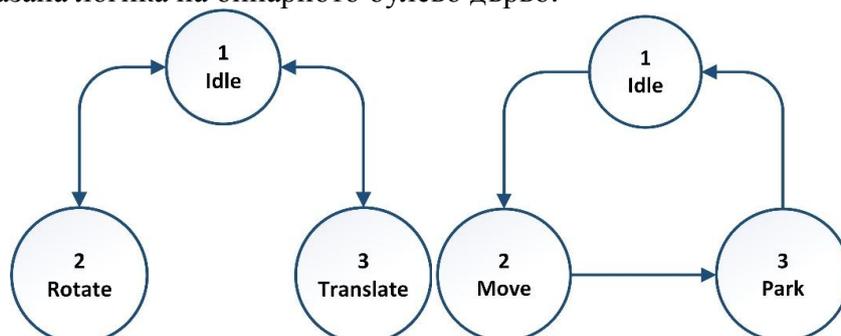
#### 4. Приложение на методите на изкуствения интелект

Автоматен граф на робота. Управлението на робота е реализирано като комплексен автомат на Мур. След изпълнението на действието заложен в текущото състояние на графа се извършва оценка на възможните преходи, като условията за извършване на преход са представени като двоично булево дърво. На фигура 1 е представен графа на преходите между различните канали за управление на робота [5].



Фиг. 1. Граф на връзките между каналите за управление

За опростяване на визуализацията графът е разбит с два подграфа (състояния 9\* и 10\*), като състоянието на графа при преход към някои от тези подграфи задължително се връща към състоянието от което е извършен прехода, след изпълнението на подграфа. Частите на графа управляващи движението на робота и управлението на ръката са изнесени в отделни графи, тъй като тяхното поведение е аналогично независимо от канала от който постъпват команди. Каналите за управление са приоритизирани, т.е. постъпване на команда от канал с по-висок приоритет ще доведе до спиране на текущо изпълняваната команда. Приоритетите на състоянията на графа съответстват на номерата на състоянието (по-малък номер – по висок приоритет). С най-висок приоритет са каналите за управление на робота тип дистанционно – хардуерния и софтуерния джойстик. След тях са каналите за управление посредством жестове и глас. С най-нисък приоритет от каналите за директно управление е управлението през Web интерфейс предполагащ отдалечен достъп до робота. Състоянията в които робота изпълнява автоматизирана предварително дефинирана задача – преместване от една точка до друга или движение на ръката са с най-нисък приоритет. Канала за управление на графа, както е показано на фигурата, може да бъде сменен от канал с по-висок приоритет по всяко време. Изключение прави състоянието за управление на ръката, където смяната на управляващия канал се предхожда от гарантирано паркиране на манипулатора. На фигури 2 са показани графите съответно за движение на робота и за движение на манипулатора, а в таблица 2 е показана логика на бинарното булево дърво.



Фиг. 2. Графи за движението мобилната платформа и на ръката на робота.



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

В двоичното булево дърво (Binary Decision Tree – BDT) описано в таблицата са заложиени условията за преминаване на автоматния граф на работа от едно състояние в друго. Значенията на колоните в таблицата са следните:

- BDT № - номер на възел от дървото
- State – номер на състоянието от графа (само за удобство при четене)
- Condition – условие което се проверява с резултат истина (true) или лъжа
- Transition on condition true – в случай че проверяваното условие е истина се извършва преход към друг възел на BDT, ако условието е не терминално или преход към друго състояние на графа ако условието е терминално.
- Terminal/ Non Terminal – вид преход в BDT
- Transition on condition false - в случай че проверяваното условие е лъжа се извършва преход към друг възел на BDT, ако условието е не терминално или преход към друго състояние на графа ако условието е терминално.
- Terminal/Non Terminal - вид преход в BDT.
- State name – име на състоянието в графа (за удобство).

Оценяването на BDT продължава докато не се достигне до условие с терминален преход. Ако прехода е терминален автоматния граф преминава в посоченото от терминалния преход състояние.

Таблица 2. Логика на бинарното булево дърво

BDT №	State	Condition	Transition on condition true	Terminal/ Non Terminal	Transition on condition false	Terminal/ Non Terminal
1	1	Hardware Joystick active	6	T	2	N
2	1	Software Joystick active	10	T	3	N
3	1	Leap motion joystick active	15	T	4	N
4	1	Voice commands active	21	T	5	N
5	1	Web joystick active	27	T	1	T
6	2	Movement commands graph	M	T	7	N
7	2	Voice commands active	21	T	8	N
8	2	Follow mode	40	T	9	N
9	2	Movement graph	H	T	6	T
10	2	Preset hand	H	T	6	T

Автоматния граф се изпълнява като се изпълнят действията зададени в конкретното състояние в което той се намира, а след това се извърши оценка на BDT и се изчисли кое ще бъде следващото състояние. BDT е изградено по такъв начин, че се допуска оставането на графа в определени състояния неограничен брой пъти, до настъпването на външни условия които да предизвикат преход. Например, работа ще остане в състояние следване на човек, докато не получи команда да премине в друг режим.



### 5. Изводи

Използването на различни методи и интерфейси за управление и комуникация със сервизните роботи позволява на потребителите много лесно да се адаптират и да възприемат роботите като техни персонални робо-асистенти.

Приложените методи на изкуствения интелект за приоритизиране на методите за управление предоставят необходимата сигурност и безопасност при работа на сервизните роботи. Това ги прави по-удобни за употреба и работа с потребителите при изпълнение на различни задачи от ежедневието.

### Благодарности:

Това изследване е реализирано като част от изпълнението на проект „Теле-управляеми Сервизни Роботи Повишаващи Качеството на Живот на Възрастни Хора и Инвалиди, № ДН 07/23 – 15.12.2016“, финансиран от Фонд Научни Изследвания.

### Литература:

1. D. Feil-Seifer and M. J. Mataric, "Defining socially assistive robotics," 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005, pp. 465-468.
2. K. Yamazaki *et al.*, "Home-Assistant Robot for an Aging Society," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 8, pp. 2429-2441, Aug. 2012
3. Mast, M., Burmester, M., Graf, B., Weisshardt, F., Arbeiter, G., Španěl, M., et al. (2015). "Design of the human-robot interaction for a semi-autonomous service robot to assist elderly people," in *Ambient Assisted Living*, eds R. Wichert and H. Klausing (Berlin, Heidelberg: Springer), 15–29
4. Waldherr, S., Romero, R. & Thrun, A *Gesture-Based Interface for Human-Robot Interaction*, *Autonomous Robots* (2000), Volume 9, pp 151-173
5. Nayden Chivarov, Denis Chikurtev, Emanuil Markov, Stefan Chivarov, Peter Kopacek, *Cost Oriented Tele-Controlled Service Robot for Increasing the Quality of Life of Elderly and Disabled - ROBCO 18*, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 51, Issue 30, 2018, Pages 192-197, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.285>.
6. N. Chivarov, **D. Chikurtev**, M. Pleva and S. Ondas, "Exploring Human-Robot Interfaces for Service Mobile Robots," *2018 World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines (DISA)*, Kosice, 2018, pp. 337-342.
7. Eduardo Munera, Jose-Luis Poza-Lujan, Juan-Luis Posadas-Yague, Jose Simo, J. Francisco Blanes Noguera, *Distributed Real-time Control Architecture for ROS-based Modular Robots*, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 50, Issue 1, 2017, Pages 11233-11238.
8. Yoonseok Pyo, Kouhei Nakashima, Shunya Kuwahata, Ryo Kurazume, Tokuo Tsuji, Ken'ichi Morooka, Tsutomu Hasegawa, (2015), *Service robot system with an informationally structured environment*, *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 74, Part A, Pages 148-165.



**APPLICATION OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR  
INTELLIGENT CONTROL OF SERVICE ROBOTS**

**E. Markov, N. Chivarov, D. Chikurtev**

***Abstract:** Serving robots are used in various areas of everyday life. Their widespread application forces the robots to perform a variety of tasks. This article explores a variety of robot control methods, focusing on physical and information security in the context of the robot application to help elderly and disabled people. Control methods are: manual control, voice commands recognition, gesture recognition and autonomous navigation. We have investigated a multi-channel robot management system and prioritization of the various control channels.*

**Данни за авторите:**

Emanuil Markov – EPU, Pernik, [emospy@gmail.com](mailto:emospy@gmail.com)

Nayden Chivarov – ИКТ-BAS & EPU, Pernik, [nshivarov@code.bg](mailto:nshivarov@code.bg)

Denis Chikurtev – ИКТ-BAS & EPU, Pernik, [dchikurtev@abv.bg](mailto:dchikurtev@abv.bg)



## ИНТЕЛИГЕНТНА РОБОТИКА В УМНИТЕ ЗАВОДИ ПРЕЗ ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ

Д. Авишай, В. Павлов, Г. Павлова, Г. Каши

**Резюме:** Прилагането на интелигентните и колаборативните роботи има свое място в еволюиралата индустриализация. Това са умните заводи и фабрики. Оказва се недостатъчно да се залага на съвременната бърза и точна автоматизация и роботика. Днес науката обръща поглед към формите на управление на производството. Там се намират резервите за подобряване на качеството на производство при намалени финансови разходи, време и енергии. Сигурността, стабилността и безопасността на производството се устремяват към желани върхове, недостижими до днес. За да се осъществи всичко това са необходими подходящи гъвкави технологични схеми, съобразени със спецификата на производство. В настоящата работа е разгледан подходящ за универсализиране и интелектуализиране модел, съобразен с последните научни, дигитални и технологични открития, човешката биология и машинното обучение и самообучение.

**Ключови думи:** робот, роботика, изкуствен интелект, управление на производството, умни заводи, интелигентни технологични схеми, индустриална революция 4.0.

### 1. Увод

За да може да бъде разгледана задачата по-широко е необходимо да се бъдат отчетени две глобални величини:

- Историческата натрупаност и даденост за момента. Разбира се не трябва да се пропуска световно натрупаният инженерно-технологичен и управленчески опит.
- Физико-биологичните дадености, наложени ни от природата. В това число влизат физическите и биологическите възможности на човешкия и животинския свят с неговите особености и причудливи възможности.

Автоматизацията и роботиката напълно са изпълнили задачите си по време на третата индустриална революция. Ролята на логистиката в производството е изчерпена. Използвани са и последните резерви на умното човешкото управление. Интелигентното управление с помощта на изкуствен интелект в индустрията става наложителен. Този вид ново управление е задължително да се разглежда от съществуващия в настоящето конфликт между човешкият и изкуственият интелекти. Къде в съвременното автоматизирано, умно производство е най-бързо и безконфликтно да се приложи изкуствения интелект?

- Интелигентният маркетинг.
- Интелигентен дизайн и интелигентна производствена технология.
- Интелигентното снабдяване на наличност.
- Интелигентна подготовка на производство (подсигуряване на непрекъсваем процес).
- Интелигентно производство, съобразяване на резервите.
- Интелигентно подсигуряване и поддържане на производствения процес.
- Интелигентно определяне и управление на качеството.
- Интелигентно оформяне и опаковане на крайния продукт.
- Интелигентно съхранение в интелигентно организирани междини складове.
- Интелигентно доставяне в търговската мрежа.
- Интелигентен пълен отчет на производствено-снабдителския процес и актуализиране на системите.



- Кръговрат на процеса с интелигентни промени в повтарящите се цикли.
- Интелигентен анализ на цялостния процес - от маркетинга до пристигането на продукта до клиента, съобразяване на резервите.
- Интелигентни предложения за експлоатация и ликвидация на продукта когато вече не е нужен.

Разбира се навсякъде тук думата интелигентно може да се замести с умно. Всъщност машинната интелигенция претендира за по-високо ниво на действие, подобно на човешкото съзнание, душа или религия на автоматизираното производство. За да може всяко ново понятие да застане на полагащото му се място е необходимо да бъде направено още едно пояснение. Интелигентното или умно производство е функция на умните заводи. Умните заводи от своя страна се създават, за да покрият необходимостта от пълното оползотворяване на резервите при тотално производство, с минимални загуби на материали и енергии, незамърсяващи природата, без излишно натрупване и създаване на технологични конфликти. Това означава, че абсолютно всички дейности от администрирането и проектантската дейности до продажбата и доставянето на продукта, са подчинени на логистичен, умен алгоритъм, приложен като изкуствен интелект.[1]

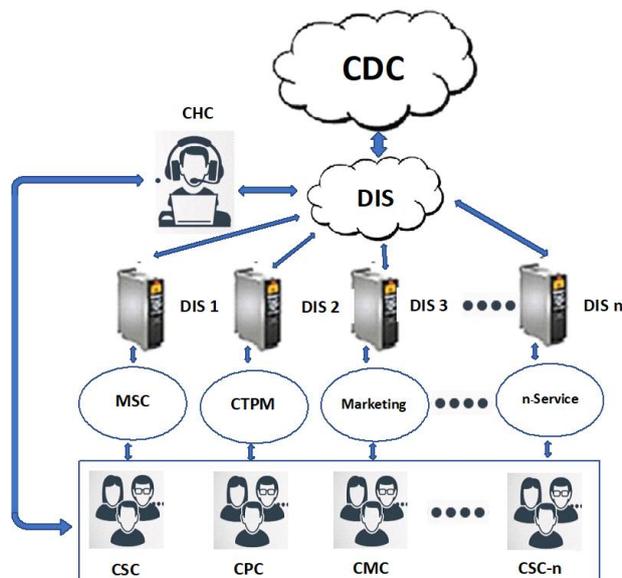
### 2. Универсална схема на система за умно производство

С предложената универсална схема за система (SOFI), ангажираща и отговаряща за производството в умни и заредени с интелигентна логистика производствени предприятия (заводи), се цели повишена ефективност при минимум физически разходи (Фиг.1). Тази схема притежава гъвкавост, универсалност и завършеност. Изградена е на базата на изследването на различни други схеми, разработвани и прилагани в световната практика [2].

Универсалната схема **SOFI** (Smart Organization Factory in Industry) е изградена от: **CDC** - Cloud Data Cluster (облачна банка с данни); **DIS** - Differential Intelligent Service (диференциално интелигентно обслужване); **CHC** - Collaborative Human Control (колаборативен човешки контрол); **MSC** - Manufacturing Service Control (контрол на подпомагането на производствения процес); **CTPM** - Clean Technological Process of Manufacturing (чист технологичен производствен процес); **CSC** - Collaborative Support for Production (колаборативен контрол на подпомагането на производството); **CPC** - Collaborative Production Control (колаборативен контрол на производството); **MC** - Collaborative Marketing Control (колаборативен контрол на маркетинга); **CSC** - Collaborative Service Control (колаборативен контрол на всичко друго, което подпомага и поддържа производствения процес); **IWS** - Integrated Work System (интегрирана работна система); **CIWS** - Collaborative Integrated Work System (колаборативна интегрирана работна система).

Приложимостта и в различни области на производството и обслужващи предприятия я прави универсална, а това че дава възможност за прибавяне и изваждане от схемата на отделни фактори и придава гъвкавостта. Възможността и за пряко прилагане я прави доста завършена. Особено важно място заема гъвкавостта в **DIS** (диференциално интелигентно обслужване), позволяващо преместване и съгласуване на необходимата и специфична за самото производство информация. Схемата е разработена в съобразност с биологичния строеж на човешкото тяло, позволяващо функционирането на управляващите логистични операции от специфични органи. Мозъкът на човека управлява със своите команди всичко, което се случва в организма и е подпомогнат от други управляващи органи, намиращи се на различни места в организма, които карат организма да извършва специфични дейности - движение, храносмилане, действие на определени жлези, сексуална активност, отделителна система, покой и други.

Така и в предложената система има **CDC**, който е главен информационен и управляващ орган. Той разпределя функциите по помощни информационно-управляващи органи **DIS**, които се намират под постоянен колаборативен контрол на дейността си **CHC**.



Фиг.1 Универсална схема за система (SOFI)



Фиг.2

От своя страна **DIS** предава команди и логистични решения на отделните процеси, съставляващи производството (**MSC**, **CTPM**, **Marketing** и др.), които също са подложени на разделен колаборативен контрол (**CSC**, **CPC**, **CMC** и др.). Така се получава постоянен информационен и контролен поток във всички посоки, без да се създават конфликти помежду им. Старайки се постигане на крайната цел, без наличието на субективни пречки, се използва прогресивен, логистичен и контролируем изкуствен интелект.

### 3. Меките умения

Меките умения е съвременно понятие, което стабилизира позицията на образованието, способностите и знанията на съвременникът, ползващ дигиталните технологии (Фиг.2). Всички несвързани с конкретната специалност умения като лидерство, комуникативност, умение за работа в екип, умение за избягване и разрешаване на конфликти, изграждане на доверие, управление на времето, вземане на решения, умения за преговори и т.н. се наричат меки умения. Тези умения са по-трудни за измерване, но за сметка на това не изискват задължителни специални качества, отговарящи на човешкият талант и е по лесно да се заменят от машинен изкуствен интелект. За всички, които работят в групи, те имат голямо значение. Замяната на хората с роботи, притежаващи интелект и меки умения, е особено подходящо при повтарящи се задачи, цикли, отговаряне на въпроси с помощта на бот машини, вземане на решения на базата на натрупана информация, избягване на конфликтни ситуации и колаборативна работа. Концентрацията на информация в мощните съвременни сървъри, както и нейното прегрупиране, може напълно да покрие нуждата от меки умения за производствения процес с помощта на подходящо работещ интелигентен софтуер.

### 4. Научен подход – Причина и следствие

В книгата си „Проучване на истината: Никога повече няма да се страхувате от рак“ [3] проф. Давид Хаят разкрива причините за появата на ракови клетки в човешкият организъм и как да се управлява организма така, че да се самосправя със ситуацията, и разбира се да изпълнява крайната си цел - по-дълъг и здравословен живот. Според проф. Хаят, човешката микрофлора при неправилно функциониране е заплашена да произведе повече бактерии, отколкото клетки. За правилното функциониране работи имунната ни система, която произвежда антитела (протеини, произведени от левкоцитите, разпространяващи се с помощта на кръвоносната система).



За да действат правилно антителита се нуждаят от информация за вида на заплахата. Тази гениална имунотерапия е напълно приложима в съвременното умно производство и тук е мястото на изкуствения интелект със съответната си интелектуална тежест. Банки с необходимата информация (облачната технология) могат да зареждат при необходимост програмните „антитела“, откриващи отклонения в технологичния процес и да съобщават за това на самообучаващия се контрол на процеса. Липсата на субективност при такава процедура допринася за качествената контролно-изпълнителна дейност. При осъществяването на тези действия могат да се следват принципите, посочени от проф. Хаят. В човешкия организъм има клетки, наречени макрофаги, които получили съответната информация задействат системата за сигурност, на която служат. Макрофаргите действат като полиция на диктаторски режим. Изискват документите за самоличност на всички клетки и паролата за идентичност. Тези, които не познават паролата, биват разкъсвани от макрофарга и след това той обявява тревога на лимфоцитите. Такава програмирана проверка и атака е приложима също така в процес, управляван от изкуствен интелект.

Въпреки тази стройна и ефективна система на диктаторски контрол, все пак раковите клетки се изплъзват в човешкия организъм, ползвайки хитрости, базирани в клетъчната интелигентност. Такава интелигентна маскировка е възможна и в най-стройно организираната система за производство. Тук вече може да се прецени нивото на интелектуална тежест на програмата с изкуствен интелект. Ако тя успее да намери и изолира грешките, тогава и ползването на резервите ще е успешно и пълноценно. Тук трябва да се търси умното приложение. Интелигентните грешки ще се самообучават и ще трупат опит. Те ще се научат да приспиват дебнещите ги програмни „макрофарги“ и да вилнеят в неконтролируема среда. Ето причината за самоконтрол и допълнителен външен контрол. Това точно е задачата на колаборативния човешки контрол от схемата SOFI. За по-пълна ефективност, колаборативният контрол се извършва на хоризонтално ниво за всяка отделна дейност на производството и като цяло допълнително се осъществява контрол на този контрол от по-висш колаборативен орган на по-високо ниво. Тук важна роля играе интелектуалният опит, а не опитът от натрупани знания и навици.

### **5. Роботи с интелигентно машинно съзнание**

В генетично отношение човека и животните са много близки и в някои идентификации дори еднакви, затова резултатите от изследванията върху животни могат да се приложат при човека в различни области - от създаването на лекарства и забавяне на остаряването, до формите за групово управление (стадо, ято). Много важно при изкуствените организми, вградени в съвременните роботи, е да се изследва и отчете остаряването на ползваните материали, което е много по-бързо от това на биологично живите организми. Умората на материала настъпва много бързо, дори в някои случаи мигновено. Причина е, че не може да се развива за получаване на по-добро качество или за запазване на настоящото (човек може да спортува) и че не може да съобщи предварително за предстоящо нарушение на дейността си (те не боледуват, на изпитват болки). За състоянието им съдим по някои външни или вътрешни признаци и се разчита на опита. В следващо ниво това е програмирането на интелигентното машинно съзнание в роботите. Тук последните изследвания и експерименти предлагат невронна мрежа и алгоритъм за търсене, притежаващ модул за логистично търсене в система на силно разклонено дърво на възможностите. Тук с най-успялото предложение засега е това на фирмата „Deep Mind“, продукта „Alpha Zero”[4]. В началото невронната мрежа е доста глупава. Тя прави предсказанията си на базата на случайности.

Гениалността на програмата е, че се самообучава, ползвайки достъп до различни информационни банки (облаци) и се „образова” много бързо. Това е преимущество на съвместната производствена дейност без да се нарушават принципите на конкуренция. Всъщност, общата производствена невронна система предполага подпомагане на всяко ниво



и следене на диференцираните задачи, водещи до единната цел. Следствие на това заключение е, че за да се създаде умен завод е необходимо планиране и проектиране на коренно различно от ползваното досега технологично оборудване, мрежи и подготвен персонал.

### **6. Как Индустрия 4.0 може да повиши производителността с помощта на работи с изкуствен интелект**

В основата на автоматизираното производство по времето на третата индустриална революция са промишлените работи. В четвъртата те остават като важен фактор, но дейността им се променя от вида на новата функционалност. В началото ползването на колаборативните работи-помощници ще се котира до момента, в който ще се задейства сигурна и стабилна интернет мрежа. Когато тя подsigури действието на системата интернет на нещата, основните функции ще се поемат от самоуправляващи се работи, ползващи изкуствен интелект. Интернет на нещата от своя страна ще дава и необходимата информация, получена от търговското наблюдение на пазара, което ще подобри интелигентно процеса на производство и минимизира резервите.

Как да се използват тези предимства за подобряване на процеса на производство? В световната научна литература се използват нови понятия [5]:

- OPE – Overall Production Effectiveness (обща ефективност на производството)
- OEE – Overall Equipment Effectiveness (обща ефективност на оборудването)
- OLE – Overall Line Effectiveness (обща ефективност на линията)
- SMT– Surface-mount Technology (технология за повърхностен монтаж)
- KPI – Key Performance Indicator (ключов показател за ефективност)

Как да се определи, кога има готовност за организиране на умно производство? Въпреки, че очакваните резултати имат завидно положително значение за качеството на продукцията и на обслужващия персонал, не би било ефективно подобно производство, ако то не е проектирано умно. А за да е ефективно е необходимо да отговаря на следното равенство:

$$\text{OPE} = [\text{наличност на оборудването}] \times [\text{показателя за изпълнение на качеството}]$$

Например за едно от най-модерните съвременни производства - на печатни платки (SMT) - целият производствен процес се характеризира от показателите за OPE и OEE. За разлика от OEE и OLE, общата ефективност OPE разглежда целия производствен процес, включително несвързани процеси, които могат да бъдат обхванати на ниво машина или линия. Ако се въведе понятието KPI за наличното производствено оборудване, закъсненията и причините за тях се записват директно във формуляр в паметта на машината или системата. Колоборативният оператор (човек или машина) може да определи в коя категория е грешката и да въведе коментар. Така натрупаната информация се обработва от логистичния производствен изкуствен интелект, който взема решение за постигане на възможната ефективност на всичките машини. Цялостната машинна обработка дава изключително реалистична картина на реалното състояние на оборудването и съкращава до минимум времето за вземане на управленско решение. KPI за ефективност на качеството може да се определи чрез противопоставянето на емпирично натрупаните данни за производствените времена, на реалните времена. Натрупаната информация може директно да се използва като основа на бъдещи инвестиционни решения.

При прилагането на емпирично изследователския метод за събирането на информация е приложим цикъла на Адриан де Гроот (Фиг.3). При него се извършва **Наблюдение** - събирането и организирането на емпиричните факти, формиране на хипотеза; **Индукция** - формулиране на хипотеза; **Дедукция** - умозаклучения относно последствията от хипотезата

под формата на проверяеми прогнози; **Проверка** -тестване на хипотезата с нов емпиричен материал и **Оценка** - оценяване на резултатите от проверката



Фиг.3 Цикъл на Адриан де Гроот



Фиг.4

Отличителното на научния метод за добиване на познание, е че той е систематичен и обоснован. Обосноваването на научното знание става чрез емпиричния метод на добиването му, т.е. посредством заключения за верността на една теория, основани на доказателства (факти). В случая става въпрос за добиване на реални информационни данни.

Ефективността от действително реализиран проект за умен завод е действително много важна, но за достигането и е необходимо да се вземат предвид и други параметри и тяхното влияние върху процеса:

- TypeAI – Type Artificial Intelligence (вид на ползвания изкуствен интелект)
- MI – Machine learning (машинно обучение)
- II - Initial Investment (първоначална инвестиция)
- Hc Human control Factor (човешкият контролен фактор)
- OpSt – Open Standard (отворени стандарти)
- cIss – coordination Issues (координация на действията между отделните звена)
- Hr – Human resources (подготвени кадри)
- Is – Information security (информационната сигурност)

Като участници в математически модел тези параметри изглеждат както следва:

**sF** – Smart Factory (умен завод)

$$sF = \frac{TypeAI + MI + II + Hc}{cIss + Hr + Is}$$

Създаването на ефективен умен завод зависи от положителното приложени вид на изкуствения интелект, машинно оборудване, първоначалното инвестиране и контрол от човешкия фактор (колоборативност). От друга страна пречките, които трябва да се отстраняват динамично (в движение) са координацията между производствените звена, липсата на подготвени човешки кадри и информационната несигурност.

Информационната несигурност е най-капризният елемент, защото е трудно контролируем. Има несигурност в стабилността му на работа. Всяко прекъсване или намаляване на скоростта му може да доведе до невъзможност за производство. Трансформираната мощ на технологията се сравнява с преломни събития като повсеместната електрификация. Достигането на стабилна електроснабдителна система е взело на човечеството десетки години. От друга страна рисковете от навлизане на фалшива информация са много големи. В проекта за създаване на умен завод в тази област трябва да се работи систематично и ползвайки най-новите технологични открития.



### 7. Приближава ли Industry 5.0

Човешката креативност винаги ще бъде фактор, но все пак промените трябва да бъдат съпоставени с популяризираните иновации. Образованието към момента не е адекватно на очакваното технологично бъдеще. Това нелицеприятно заключение е на статистиците от целия свят. Стремглавото развитие на изкуствения интелект и навлизането му във все повече житейски области ще изиска ново оборудване, програмно осигуряване и мрежи. Това от друга страна засилва предизвикателството пред човека да бъде новообразован и психологически готов да приеме и понесе капризите и удоволствията на близкото бъдеще, обладано от изкуствен интелект. Автономен транспорт, дигитално контролиране на използването на енергиите, роботизиране на лекарския и учителския труд и др. ще стоят в основата на следващата технологична революция. Но най-важното прилагане на изкуствения интелект ще се усети в индустрията, която ще бъде принудена според изискванията на новото време да произвежда по-бързо, по-точно, по-качествено, с по малко разходи. От друга страна, пътят на изделието от производител до клиент ще преминава по път, обслужван от машини, комисионите суми ще се премахнат и цените ще се намалят драстично. Амплитудата в цената между машинно-интелектуалното индустриално производство и ръчно-творческите продукти ще бъде много чувствителна. Всъщност хората ще се интересуват от дигитално-интелектуалния труд и неговата продукция, базираща се на информация от облачните технологии (Фиг 4).

### 8. Приложимостта на SOFI

SOFI е вертикален проект, съставен от няколко хоризонтални проекти, които се развиват на различните нива от схемата (фиг.1). Това означава, че схемата е действаща ако са изпълнени няколко условия:

- В схемата работи умен алгоритъм (умна логистична технологична последователност) -свкупности от правила, които се задават на компютърните програми и те трябва да ги следват безпрекословно.
- Приложим изкуствен интелект с частна ориентация - най-общо казано това е интелигентност, която е създадена изкуствено и е специализирана за частния вид производство. Не е необходимо да се универсализира и прекалява с посоки за решения извън специфичния вид производствен процес.
- Дълбоко обучение - машинно обучение, проектирано да притежава повече слоеве и нюанси, е предназначено да работи на принципа на човешкия мозък. Дълбокото обучение става възможно благодарение на две ключови технологични постижения - повече данни (информация) и по-мошен хардуер.
- Машинно обучение - следващият етап на програмирането на софтуера и хардуера, в който машините могат да се самообучават.
- Невронни мрежи - имитация на процесите в човешкия мозък, тясно обвързани с идеята за дълбоко обучение. Развитието на невронните мрежи през последните години става възможно благодарение на процесорите от висок клас.

Наличието на горепосочените условия водят до състояние на **технологична импликация**, което означава, че всичко, което е посочено в схемата, става възможно когато условията за него са се случили и обстановката е напълно узряла за реализация. Всъщност е изпълнено условието за прилагане на схемата на подходящото място (завода, фабриката, предприятие), в подходящото време (обществото и науката са узрели за следващата революция).

В допълнение ще се увеличи информационната стабилност и скорост, ползвайки ново поколение безжични мобилни схеми 5G, което ще подсили експлоатацията и обслужване от разстояние, от дома или дори от далечно място в света.



### 9. Заключение

Умният завод не е този, на чело на който стои умен директор или притежава умно управление. За индустрия 4.0 това е крайно недостатъчно. Всъщност комбинация от различни технологии и решения, които ако бъдат внедрени заедно в производствена екосистема, резултатът е интелигентно производство. Това е първата крачка към умните заводи. В случая ролята на екосистема се изпълнява от Индустриалния Интернет на Нещата (IIoT – Industrial Internet of Things). Много важен фактор е изкуствения интелект. Повсеместното търсене и прилагане има своите привърженици и противници. Затова не може да се гледа на него еднозначно. Бил Гейтс сравнява изкуствения интелект с ядрената енергия и ядрените оръжия, и как едно и също нещо може да бъде и добро за обществото, и опасно за него. Гейтс смята, че изкуственият интелект може да помогне много в здравеопазването и образованието. Технологично е приложим и в индустриалните производствени процеси, което пък води до приложимостта на умните заводи в съвремието.

### Литература:

1. д-р.Д. Авишай проф.В. Павлов д-р.Г. Павлова д-р.Б. Петров д-р. Н. Димитров; „Индустрия 4.0 – работи с разпределена мобилност и елементи на интелект“ – март 2019
2. д-р.Д. Авишай проф.В. Павлов д-р.Г. Павлова д-р.Г. Каши; „Индустрия 4.0 – нови качества на роботите с изкуствен интелект“ - юни 2018
3. Prof. d-r David Khayat; „L'Enquête vérité: Vous n'aurez plus jamais peur du cancer” – September 2018.
4. prof. Gary Marcus; „Innateness, AlphaZero, and Artificial Intelligence“, New York University, 2018
5. Alessandro Bonara; „Calculating basic performance indicators for the smart factory: Overall Production Effectiveness (OPE)“ – December 2016.

## INTELLIGENT ROBOTICS IN SMART PLANTS DURING THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION

**D. Avishay, V. Pavlov, G. Pavlova, G. Kashi**

**Abstract:** *The application of intelligent and colubrious robots has its own place in evolved industrialization. These are smart factories and plants. It seems insufficient to rely on modern fast and accurate automation and robotics. Today, science looks at the forms of production management. There are reserves to improve the quality of production, with reduced financial costs, time and energy. The security, stability and safety of production are set to desirable peaks that are unattainable today. To achieve this, appropriate flexible production schemes are needed, tailored to the specifics of production. In the present work, a model suitable for universalization and intellectualization is considered according to the latest scientific, digital, technological, discoveries, human biology and machine training and self-learning.*

### Данни за авторите:

Давид Авишай, д-р, Афека, академичен инженерен колеж в Тел Авив, катедра Машинно инженерство, ул. Бней Ефраим No 218 - Израел

Веселин Павлов, проф. д-р, Технически университет – София, Факултет Автоматизация, бул. „Кл.Охридски“ No8 - София, България

Галя Павлова, д-р, Технически университет – София, Факултет Компютърни системи и технологии, бул. „Кл. Охридски“ No8 - София, България

Гай Каши, д-р, Азриели, академичен колеж по инженерство от Йерусалим, катедра „Индустриален мениджмънт и инженерство, ул. Ялов Шрайбом 26, Йерусалим



## ПРОЕКТИРАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАНИ СЪОРЪЖЕНИЯ И ЛИНИИ ЗА МАЛКИ И СРЕДНИ МЕБЕЛНИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Х. Шехтов

***Резюме:** Малките и средни, най-често частни, мебелни предприятия имат специфични особености, различаващи ги от големите (държавни) такива и комбинатите, характерни у нас за времето преди 1990 година. Те са с ограничени, неголеми производствени площи и осъществяването в тях на различните технологични процеси изисква и подходящи технически решения. Тук се разглеждат две, разработени от нас за целта, автоматизирани съоръжения и линии – едното, за палетизиране на дървени детайли с правоъгълно сечение след извършване на определена технологична обработка, и другото – за нанасяне на лак върху плочести мебелни детайли и последващото му изсушаване.*

**Ключови думи:** автоматизирани линии, захранващи, свързващи транспортни устройства (манипулатори), палетизиращо устройство, сушилня с периодично действие, система за автоматично управление.

### 1. Въведение и общи сведения.

Мебелната промишленост е била в миналото, и сега е, ще бъде и за напред във времето от съществено значение за хората, свързано с осигуряването им с уют в жилищата и комфорт в работните им офиси и кабинети.

В периода преди 1990 година тя се осъществяваше у нас в големи държавни мебелни заводи и комбинати, в които техническият прогрес се реализираше чрез поточни автоматизирани линии. Наш работен колектив разработи и внедри тогава във всеки от наличните 26 мебелни заводи по две линии – едната, за извършване на т.нар. втора машинна обработка на плочести детайли и другата, за тяхното едностранно, по необходимост и двустранно шлифоване. Внедрени бяха и наши автоматизирани линии за сортиране на дъски и плочи, както и линия за формиране на пакети от дъски (пакетоформираща машина), системи за автоматично регулиране на сушилни процеси на дъски и фурнир и др. В наши мебелни заводи работеха и съвременни автоматизирани линии за нанасяне на лак върху плочести детайли с последващото му изсушаване, както и автоматизирани линии с друго предназначение – всички, произвеждани от световно известни за времето си западни фирми.

Днес мебелните предприятия у нас са предимно частни малки или среден тип, в които класическите задължителни технологични операции се изпълняват в налични малки помещения и цехове, често пъти с голямо участие на ръчен труд. Въвеждането на по-висока степен на автоматизация в тях е възможно и целесъобразно, но тя трябва да бъде съобразена с конкретните производствени условия. Автоматизираните съоръжения и линии трябва да са малогабаритни и в тях следва да се изпълнява възможният брой технологични операции, в повечето случаи, по-малък от този в големите автоматизирани линии от недалечното минало. Това означава, че броят на включените в тях технологични машини ще е по-малък от този в големите автоматизирани линии. В отделни случаи в линията може да е включена само една технологична машина, освен която в нея да има още два манипулатора – захранващо и стифиращо устройства, от типа на описаните в [2], както и свързващо транспортно устройство, евентуално едно от разгледаните в [3].

**2. Принципно описание на предлаганите за внедряване в малки и средни мебелни предприятия технически решения.**

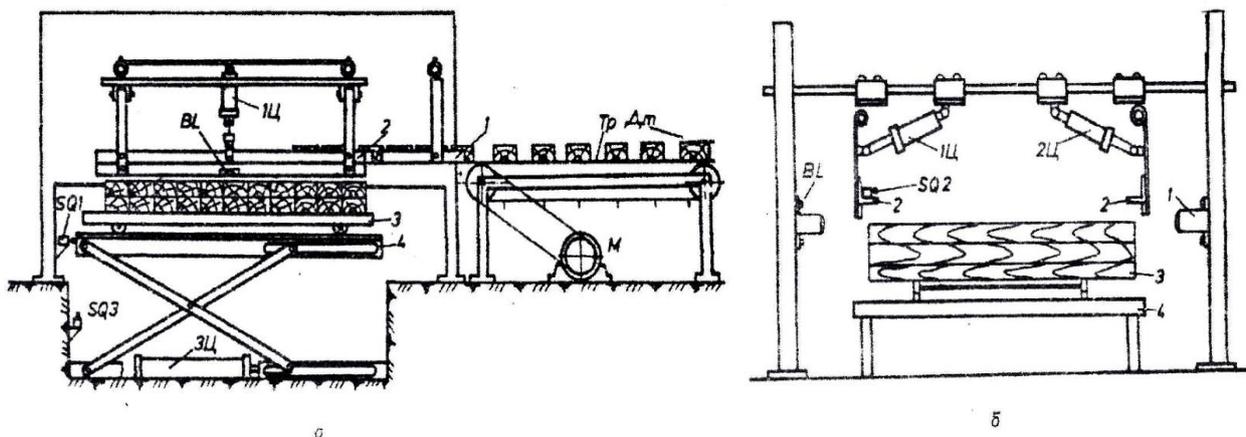
Първото предлагано решение се отнася до реализиране на автоматизирана линия, чието предназначение е да подрежда в палети мебелни детайли с правоъгълно сечение след целесъобразното им механично обработване (двустранно обрязване – крайчване, шлифование или оформяне на един или друг тип сглобки). Тя заменя нашата едрогабаритна и многофункционална линия за пакетиране на дъски, включваща още и контрол на размерите им и изчисляване на обема на формирания пакет – линия, чието управление е описано в публикация [4]. В структурата на предлаганата тук автоматизирана линия за малко или средно мебелно предприятие участва само една технологична машина, извършваща конкретния вид операция от посочените по-горе, т.е., един или друг вид обработка на крайщата на детайлите с правоъгълно сечение. Структурата на линията се допълва с подходящ тип захранващо устройство – манипулатор от посочените в [2], предхождащ технологичната машина и, след нея, верижен транспортър от посочените в [3], както и манипулатор, подреждащ детайлите в ситуирана върху хидравлична платформа палета. Принципната структурна блокова схема на линията е показана на фиг.1.



**Фиг.1. Структурна блокова схема на автоматизирана линия за палетизиране на мебелни детайли с правоъгълно сечение след тяхната технологична обработка:**

1 – захранващо устройство – манипулатор, 2 – технологична машина, обработваща крайщата на детайлите, 3 – верижен транспортър, 4 – манипулатор, подреждащ детайлите в палети.

Конструкцията на самия палетизиращ манипулатор и тази на подаващия му детайлите транспортър са показани на фиг.2а. На фиг.2б е показан и друг изглед на манипулатора, показващ по-ясно неговото действие. На фиг.2а не е показана конструкцията на технологичната машина, тъй като тя е различна за различните обработващи крайщата на детайлите машини.



**Фиг.2. Общ вид на линията за подреждане на детайлите в палети:**

а) Част от линията, включваща подвеждащия транспортър и палетизиращия манипулатор; б) Втори изглед на палетизиращия манипулатор



На фиг.2 се виждат и някои от сензорите и изпълнителните двигатели, които са част от системата за автоматично управление на линията. Самата САУ, изградена със съвременни електронни и микропроцесорни елементи и устройства, не се описва тук. Важно за случая е да се очертае идеята (алгоритъмът) на осъществяване на заключителната и специфична за линията операция – подреждане на детайлите в редове и палети. На фиг.2б се вижда, че детайлите постъпват в зоната на манипулатора с два винкелни носачи един след друг и с избутване на предходния (или на предходните) детайли от следващия, преместван от „палците“ на верижния транспортър, се формира ред от плътно допрени един до друг детайли. След попълване на целия ред с детайли, маркирано от индикатора в системата за управление, носачите се „отварят“ и той пада върху хидравличната платформа (ако е първият формиран ред) или върху предходния положен ред, ако е някой от следващите редове. Запазването на целостта на редовете от детайли в палетата се гарантира от полагането им след отварянето на носачите от малко разстояние до положението на предходния ред. То е за всеки нов ред еднакво с това за предходните, тъй като след всеки положен в палетата ред, хидравличната платформа се спуска надолу на разстояние, отговарящо на дебелината на детайлите (а и на реда от такива). След запълване на палетата с детайли, подаването на нов ред от такива се спира, за да може тя да бъде изведена от зоната на линията. Нейната работа продължава едва след като хидравличната платформа с новата празна палета е позиционирана на подходяща височина.

Второто предлагано решение се отнася до реализиране на автоматизирана линия за нанасяне на лаково покритие върху плочести мебелни детайли с последващото му изсушаване в термокамера. В държавните мебелни заводи у нас в миналото работеха голямогабаритни автоматизирани линии, произвеждани от водещи, световно известни фирми, предимно от ФРГ. Габаритите на линиите бяха изключително големи поради факта, че използваните в тях сушилни бяха от тунелен тип и изсушаването на лаковото покритие на детайлите протичаше без тяхното спиране, т.е., по време на движението им. С голямата дължина на сушилнята (от порядъка на няколко десетки метри) се гарантираше стифиране на детайлите в пакети, без залепването им един към друг. В предлаганото тук решение сушилната камера е с малки габарити. Позиционираните в нея детайли (един голям, или два със средна дължина, респ., три къси) престояват определено време при подходящ за пълното изсушаване на лаковото покритие топлинен режим. Той се поддържа от включен в системата за управление на линията терморегулатор. Принципната структурна блокова схема на линията е показана на фиг.3.



**Фиг.3. Структурна блокова линия за нанасяне на лаково покритие върху плочести мебелни детайли с последващото му изсушаване:**

1 – захранващо устройство – манипулатор, 2 – лакозаливна машина, 3 – проходна сушилна камера тактов тип, 4 – стифиращо устройство – манипулатор.

Лакозаливната машина, добре позната у нас и от миналото, има свой транспортър за подвеждане на детайлите към зоната за нанасяне на лаковото покритие върху тях и изнасянето (отвеждането) им след нея. Самото лаково покритие се нанася чрез т.нар. лакова „завеса“, дебелината на която се настройва с отчитане на вида на лака, транспортната скорост на преместване на детайлите, както и на желаното качество на лаковото покритие. Това води до получаване на лаков слой с подходяща дебелина. Типът на захранващото, респ., на стифиращото устройства се избира от разгледаните в [2] такива манипулатори.



В системата за автоматично управление на линията се използва пакетен превключвател, който обслужващият работата на линията работник поставя в една от трите позиции: за малки (къси), за средни или за дълги детайли. Системата за управление отчита този факт и осигурява работата на линията чрез зареждане на камерата съответно с три, два или един детайли. Предвидено е спиране подаването на лак, т.е., прекъсване на лаковата завеса за времето на изсушаване на лаковото покритие на намиращия се (или на намиращите се) в сушилната детайл (детайли). Камерата е проходен тип, т.е., с вход и изход, през които детайлите се пропускат през отворените (установени в горно крайно положение) метални „врати“. Алгоритъмът на управление, заложен в автоматичната система, е следният: В началото входната „врата“ на камерата е отворена, задната – затворена. Захранването устройство, в съответствие с установения режим на работа на линията подава към нея по три, по два или по един детайл. Лакозаливната машина нанася върху тях (или върху него) нужното покритие, следва запълване на сушилната камера с детайли или детайл. Следва изключване на работата на лакозаливната машина, преди това и на захранващото устройство, входната „врата“ на камерата се затваря, ако не е затворена задната „врата“, затваря се и тя и започва „отброяването“ на зададеното време за изсушаването на лаковото покритие. След изтичането му, двете „врати“ на камерата се отварят, детайлите (детайлът) с изсушено лаково покритие я напускат (напуска) и стифиращото устройство осъществява формирането на пакета. Работата на линията продължава по описания вече начин. За осъществяване на автоматичното ѝ управление се използват съвременни електронни елементи, както и микропроцесорен контролер. В случай, че производствената площ на предприятието позволява ползването на по-голямогабаритна сушилна камера, в нея едновременно може да се изсушава лаковото покритие не на един, два или три детайла, а, примерно на два дълги, четири със средна дължина и шест къси детайли, което осигурява по-висока производителност на линията.

### 3. Заключение

Предлаганите технически решения на автоматизирани съоръжения и линии за два характерни за мебелното производство технологични участъци са лесно осъществими и подходящи за типичните в днешно време у нас малки или средни предприятия. Управлението им със съвременни електронни и микропроцесорни технически средства не изисква големи инвестиции. Те, както и разходите на финансови средства за закупуване на самите съоръжения, се оправдават напълно от ефекта – социален и икономически, който би се реализирал с внедряването им в производството.

### Литература:

1. Шехтов, Хр., Нашият опит в разработването и внедряването на системи за управление на автоматизирани манипулатори и линии със съвременни за времето на тяхното създаване технически средства, МНТК „АДП - 2018“.
2. Шехтов, Хр., Захранващи и стифиращи манипулатори към единични агрегатни машини и автоматизирани линии за механично обработване на плочести мебелни детайли, МНТК „АДП-2016“.
3. Шехтов, Хр., Свързващи манипулатори на агрегатни машини и съоръжения в автоматизирани линии за механично обработване на плочести мебелни детайли, МНТК „АДП-2016“.
4. Шехтов, Хр., Система за автоматично управление на работата на пакетоформиращо съоръжение – манипулатор, МНТК „АДП-2017“.



## ОПТИМИЗАЦИЯ НА ВЕРИЖНО-ЛОПАТКОВИ УСТРОЙСТВА

П. Райков

***Резюме:** В статията са представени основните резултати от изследванията на верижни линейни преобразуватели, приложими за извличане на енергия от бавно движещи се води. Дадени основните предимства на предложения принципно нов подход за изграждане на този тип устройства. На тази основа е проектирано устройство, на което са направени флуидни симулации за оптимизиране на накланяне на лопатките спрямо скоростта на водния поток. Въз основа тези симулации са изведени стойностите на очакваната енергийна ефективност на устройството.*

**Ключови думи:** моделиране, линейни верижни турбини, флуидни изследвания.

### 1. Въведение

Голяма част от енергията, която използваме, се произвежда в големи електроцентрали. Тази енергия се извлича от различни източници, като въглища, природен газ, петрол и т.н., и след това я преобразуват в енергия по избор, обикновено електричество, тъй като по-късно тази енергия може лесно да бъде транспортирана там, където е необходима [1].

Водата е най-използваният възобновяем енергиен източник и в България, въпреки интереса към оползотворяване на слънчевата, вятърната, геотермалната енергия и енергията, извличана от биомасата. Съществуват различни видове конструкции на такива централи като всички те преобразуват хидрокинетичната енергия (енергията на течащата вода) в електрическа или механична енергия. Съществува разработка на централа която използва енергия на течаща вода за добиване на водород.

Този вид водна енергия се счита за екологично чиста, което означава, че водата, преминаваща през преобразувателя, се насочва обратно в потока, с относително незначително въздействие върху околната среда. Предимството за изграждането на този вид централи е и дългият период на експлоатация на съоръженията и ниските разходи, свързани с производството и поддръжката.

Има многото направления за създаване на водни турбини, но от първостепенно значение за добиването на енергия е добрата им ефективност, дълъг работен цикъл, разходи при изграждането и надеждност при работа.

В последно време ВЕЦ с малка мощност привличат все по-голям интерес с възможностите си за поставяни на трудно достъпни места, и там, където изграждането на електрически централи е необосновано финансово и енергийно.

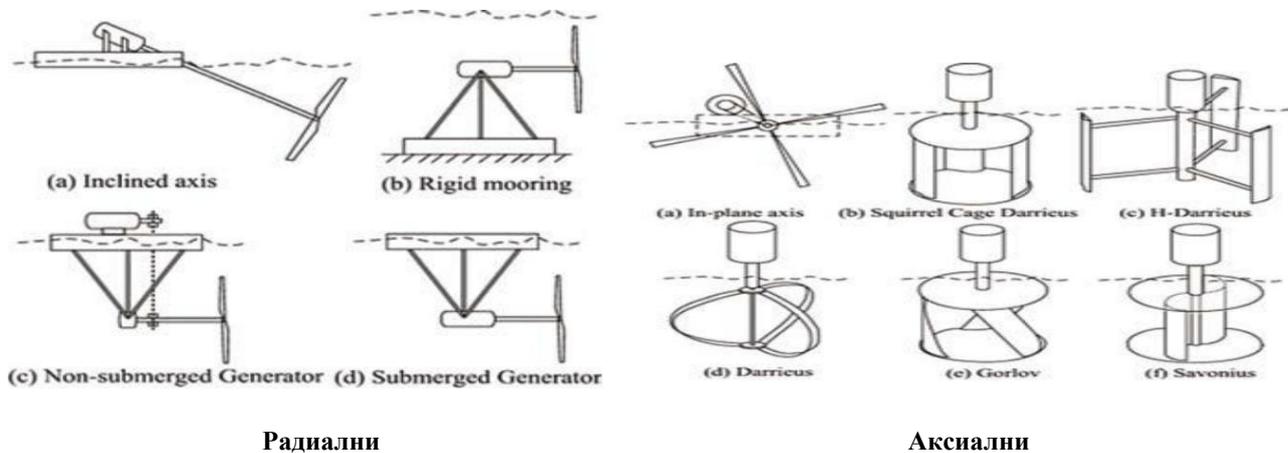
Такива водни централи могат да се инсталират във всеки поток със скорост по-голяма от 1 m/sec. Поради ниските инвестиционни разходи и таксите за поддръжка, тази технология за извличане на енергия от водни потоци с ниска скорост на оттичане става все по-рентабилна в сравнение с други технологии.

Друга възможност е и възможността за инсталацията на места, където падовете на водата са от сравнително малка височина като от преливници на малки язовири. Конструктивната им разработка дава възможност на част от тях за работа в силно абразивни водни среди, каквито са горните течения на повечето реки.

Така устроените малки ВЕЦ използват енергията на водни течения работят без да се променя естествен път на речното течение. Те не изискват отклоняване на вода чрез канали, предизвикани от човешката дейност, промени на корита на реки или изграждането на тръбопроводи за ускоряване и насочване на водата към роторните турбини.

## 2. Обзор на разработки на съществуващи водни електроцентрали, използващи енергията водни течения.

Видовете турбини се делят на два вида в зависимост от положението си спрямо водния поток, както е показано на фиг.1. Това са турбини, чиято ос е разположена по посоката на движение на водата течение или перпендикулярно на него



Фиг. 1. Общ вид на разположението на турбините, спрямо движението на водния поток

Основен тип устройства тип водно” колело”, които извличат енергия от бавно течеши води и приливно отливни течения са линейно-верижните устройства. Изградени са на базата на две или повече въртящи се зъбни колела, свързани с вериги, върху които е монтирана система от фиксирани лопатки. Лопатките, респ. веригите, се движат със скорост, по-малка от скоростта на водния поток и съответно тази разликата създава тягов момент, който посредством генератор се преобразува в електроенергия. Такива решения са известни още от средата на 20-те години и с малки различия съответстват на основния принцип за поставяне на различни по форма и вид лопатки едно след друго, с цел добиване на по-голяма мощност. Първият патентован представител на такава турбина е Патент DE368564 на Armin Tetetleni от 1923 г.

Като типични представители на този клас хидроцентрали могат да бъдат посочени: US 1449426 A, 27.03.1923. US 5134305 A, 2.07.1992. и др.

**Основни предимства**, на базата на които е започната работата за оптимизация на верижно-лопаткови преобразуватели, се свеждат до:

- Всички верижно-лопаткови преобразуватели не увреждат околната среда и при необходимост могат да бъдат демонтирани изключително бързо без на мястото, където са били разположени да остават следи от престоя им;
- Друго основно предимство при изграждането на верижно-лопаткови преобразуватели на бавно течащи води е и дългият период на експлоатация и ниските разходи, свързани с производството и поддръжката им;
- Разполагането на верижно-лопаткови речни ВЕЦ върху понтон гарантира независимост от сезонните или други (напр. приливно-отливни) колебания на водното ниво;
- Не се инвестира в земя и прилежаща инфраструктура, минимизират се редица рискове (от земетресение, наводнение и т.н.) и съответно намаляват застрахователните разходи, не се дължат данъци и такси, присъщи на недвижимите имоти;
- Възможна е мобилност на верижно-лопатковите преобразуватели до конкретен потребител;



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

- Възможно е модулно увеличаване на мощността на верижно-лопатковите преобразуватели (ВПЛ), чрез присъединяване на следващ понтон преди дифузора;
- Ускоряването на естествения воден поток, посредством съпътстващи устройства, позволява получаването на висока мощност от верижно-лопатковите преобразуватели, тъй като изходящата мощност на преобразувателя е пропорционална на площта на работещите лопати и квадрата на скоростта на водния поток в работния канал;
- По протежение на работния канал на определено разстояние могат да се монтират повече от един преобразуватели, използващи общ енерго-блок и система за дистанционен контрол, което означава многократно използване на едно и също количество вода, без да се влошават енергийните му характеристики;
- Не ползва изкопаеми ресурси и с това може да бъде причислено към категорията на възобновяемите източници на енергия.

### **Екологични предимства:**

- Използва се възобновяема работна среда, което нарежда този вид на производство на електрическа енергия към типа Green energy, което е един от главните приоритети на Европейската общност;
- Не се изграждат баражи, стени и други преградни съоръжения на пътя на водното течение;
- Не се изразходва земя за завиряване, за строителство и за инфраструктура;
- Не се нарушава средата на водните обитатели;
- При преминаването на водата през съоръжението е налице ефект на самопречистване и увеличаване нивото на разтворения кислород.

### **Предимства от гледна точка на експлоатационния риск:**

- Елиминира се рискът от заливане и катастрофални наводнения при повреди и разрушаване на преградните съоръжения, както е при конвенционалните ВЕЦ;
- Самата понтонна ВЕЦ не е подложена на риск от земетресения, наводнения, пожари и други бедствия на сушата;
- Евентуалните технически проблеми при отделни възли или агрегати на понтонната ВЕЦ са бързо и лесно отстраними и не носят риск за цялото съоръжение.

### **Инвестиционни предимства:**

- Понтонният ВПЛ дава възможност, да бъдат композирани в N-броя верижно-лопаткови преобразуватели в големи енергийни паркове (в редици, колони или в друг строй);
- Размерът на инвестициите за понтонната ВЕЦ е няколко пъти по-малък от този за конвенционалните ВЕЦ;
- Срокът за откупуване на инвестициите за понтонният ВПЛ (при действащите в момента изкупни цени на ДКЕВР за руслови ВЕЦ – 200 лв за мегаватчас) е изключително кратък
- Понтонната ВЕЦ се изгражда изцяло в заводски условия и се буксира с кораб до предварително определеното местоположение за закотвяне или отделните възли се монтират на място при ВЕЦ, която е предназначена да извлича енергия от напоителни и отводнителни канали;
- Срокът за изграждане на понтонният вариант на верижно-лопаткови преобразуватели е не повече от 1 година
- Разходите за експлоатация и текущи и капитални ремонти на ВПЛ са значително по-малки от тези при изграждане на конвенционалните ВЕЦ;

### 3. Флуидни симулации върху системата от лопатки.

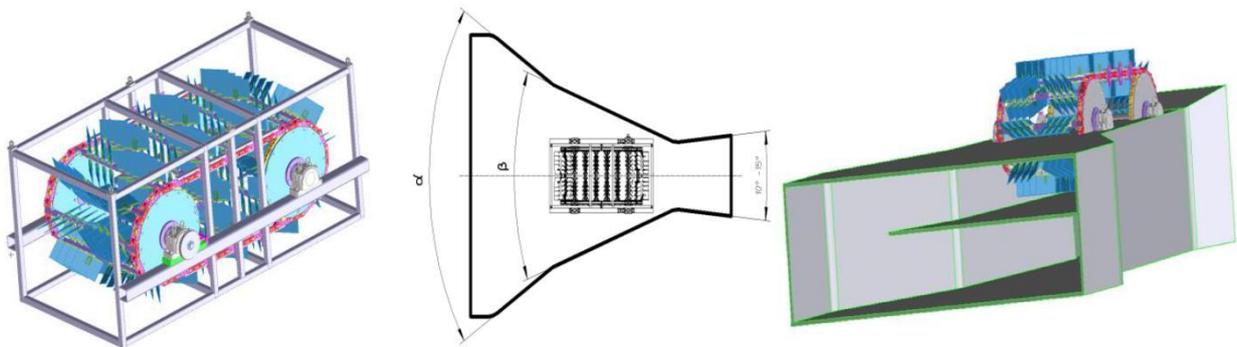
Върху създаден CAD модел е направена симулация на обтичане на всеки от моделите с флуид [2] (вода) като се следи изменението на параметрите на потока при преминаването му през модела. Целта е да се изследва силата, упражнявана от водния поток върху лопатките на преобразувателя. Изследвани са най-перспективните конструкции като за всеки от тях е разработен CAD модел с различни геометрични параметри,

Като най-ефективен от тях е моделът с хоризонтално разположен ротор с наклонено дъно и втори конфузорен участък на страничните стени. Максималната сила получена при този модел е между четири и пет пъти по-голяма от получената от останалите, и поради тази причина по нататъшното изследване е съсредоточено върху оптимизиране на характеристиките му

Моделът се състои от странични стени с начален прав участък и последващ ускоряващ канал с ъгъл  $\alpha$  – средната фигура на фиг.2. Проведени са симулации с цел да се установи оптималния ъгъл при входа на преобразувателя, даващ най-голямо ускорение на водния поток. При лопатките правият участък е заменен конфузорна част с ъгъл  $\beta$ , което спомага за насочване на потока към задните лопатки. Под лопатките дъното е с наклон съответно  $6^\circ$ - $8^\circ$  и чрез което се постига допълнителен положителен резултат. Като закръглим ръбовете на зоните на свиване на сечението на потока, то могат да се преодолеят част от загубите от евентуалното турбулизиране на потока.

### 4. Изследване на зависимостта между ъгъла на завъртане на лопатките и силата упражнена от водата върху тях

Оптимизирания модел са проведени компютърни симулации с използване на модула SolidWorks Flow Simulation с цел да бъде установена зависимостта между скоростта на течение на водата и силата, която тя упражнява върху лопатките.

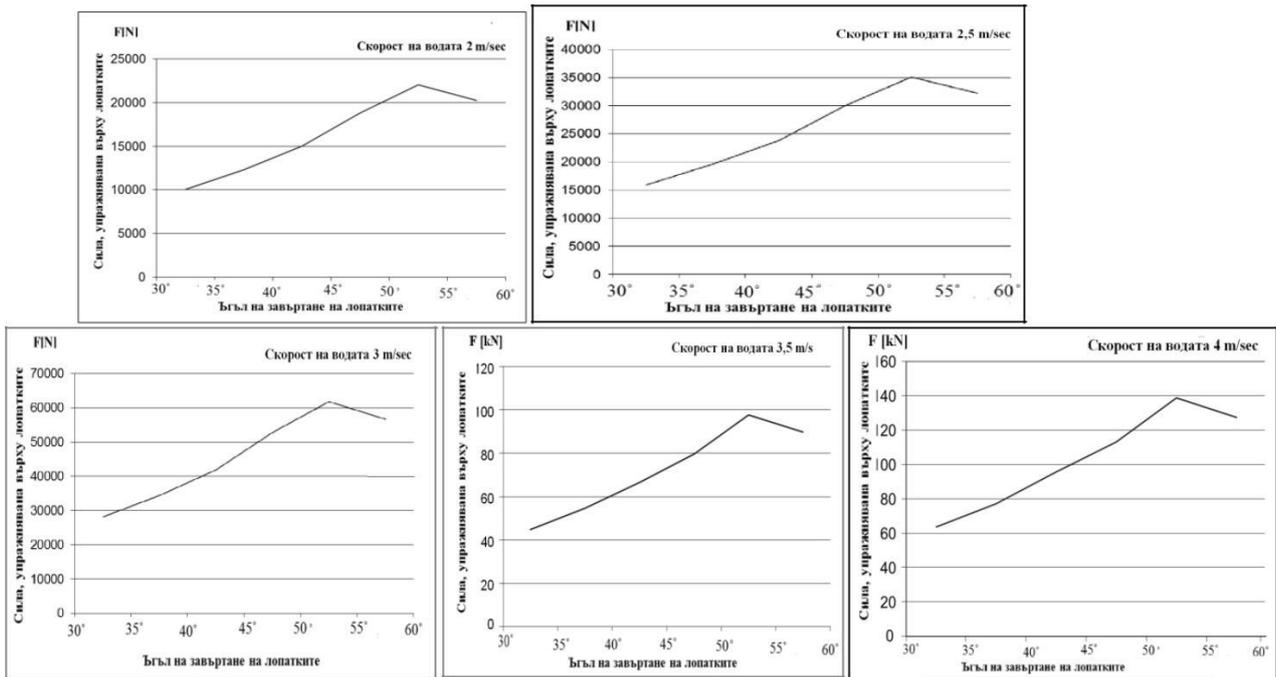


**Фиг.2. CAD модел на преобразувателя, оптимален модел на устройството и флуиден модели**

Същевременно е разгледана и зависимостта между ъгъла на завъртане на лопатките и силата, упражнена от скоростта на водата, върху тях с цел допълнително оптимизиране на преобразувателя.

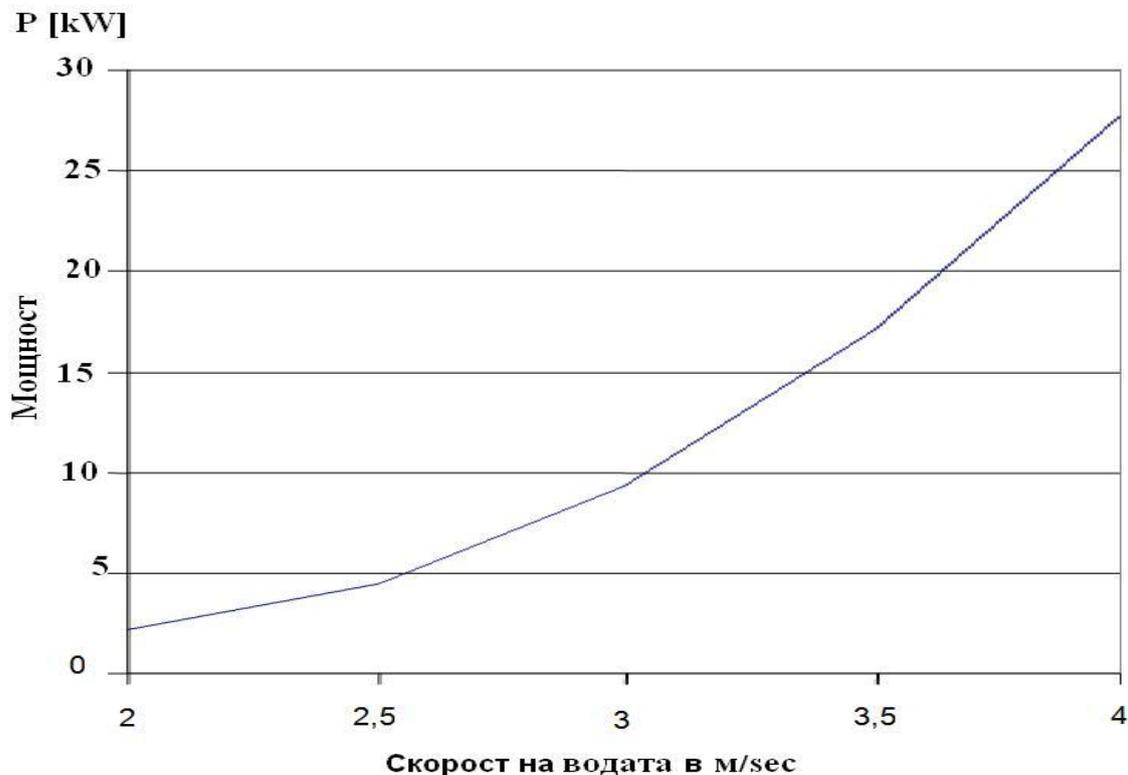
На тази база са формулирани етапите за разработване на симулационни модели за изследване работата, параметрите в зависимост от промяна на геометрията на работните лопатки, при което беше постигната с ефективност до 30% по-голяма от съществуващите подобни устройства.

Получените резултати от симулирането са използвани при определяне на оптималните стойности на мощността и ефективността на този тип устройства [3].



Фиг.3. Сумарна сила върху всички лопатки при различни ъгли, при скорости на водния поток

Окончателния модел на ВПЛ, предназначено за речни течения, може бъде изработено като катамаранен тип, позволяващ му да плува над водата, както и да поддържа хоризонталното си положение, което е необходимо за оптималното обтичане на лопатките на преобазувателя.



Фиг.4. Мощност на устройството при ъгъл на лопатките 55°



#### 4. Заключение

Изяснени са теоретичните въпроси, свързани с проектирането и възможностите на верижно-лопаткови устройства за добиване на енергия от бавно течащи води. Формулирани са етапите за разработване на симулационни модели за изследване на кинетостатичните параметри в зависимост от промяна на геометрията на работните лопатки спрямо посоката на водния поток. В заключение, използването на симулирани компютърни модели, по конкретно кинематична симулация комбинирана с флуидна симулация, предоставя възможност за изследване на физическите процеси и извеждане на конкретни стойности на желаните величини на преобразувателя на понтонна ВЕЦ.

#### Литература:

1. Hansen M. Aerodynamics of Wind Turbines EARTHSCAN, London, 2008.
2. Концептуално проектиране на понтонна ВЕЦ с използване на симулирани компютърни модели. Доклад ISO9001:2000, Cert № 781005214.
3. Regheb M., A. Redgeb. Wind Turbines Theory – The Betz equation and optimal rotor tip-speed ratio. Engineering » Energy Engineering » "Fundamental and Advanced Topics in Wind Power", book edited by Rupp Carriveau, ISBN 978-953-307-508-2, Published: July 5, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0

### OPTIMIZATION OF VERTICAL-LOOPED DEVICES

P. Raykov

***Abstract:** The article presents the main results of the studies of chain link devices applicable for extraction of energy from slow moving waters. The main advantages of the proposed new approach to building conversion devices are given. On this basis, a device is designed and fluid simulations are made to optimize tilting of the blades relative to the water flow stream. Based on these simulations the value of the expected energy efficiency of the device is presented.*

#### Данни за автора:

Пламен Райков, Доцент, доктор, инженер, Ръководител секция “РиМИС”, Институт по Роботика - БАН София 1113, ул. „Ак. Г.Бончев”, Бл.1, E-mail: Plamen.Raykov@abv.bg



**DESIGN OF AUTOMATED EQUIPMENT AND LINES FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES**

**H. Shehtov**

***Abstract:** Small and medium-sized furniture enterprises have specific features which differ them from the big state-owned ones as well as from works which were typical for Bulgaria up to 1990. They have small, limited production areas and the implementation of different technological processes require appropriate technical solutions. Two automated lines and equipment, worked out by us for the purpose, are discussed in the article. The first one is for palletizing of wood details with rectangular cross-section after their respective technological processing, and the second one – for polishing of particle board furniture details and their subsequent drying.*

**Данни за автора:**

Христо Константинов Шехтов, доктор на техническите науки, професор, GSM 0886981224, e-mail: hr.shehtov@mail.bg



# USING OF ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS OF HUMAN UPPER LIMB MUSCLES FOR CONTROL OF REHABILITATION TECHNICAL DEVICES

R. Raikova, I. Veneva, S. Angelova

**Abstract:** *Technical devices helping disable people to move their upper arms are often used. Less of them are controlled by suitable processed electromyographic (EMG) signals from adequate surface muscles. Results from previous experimental investigations of post-stroke patients show that their upper arm muscles induce enough clear and strong EMG signals to be used as control variable in an orthosis. The question is which muscles can be used for different motions in the joints. Experiments with six healthy volunteers were performed with a NORAXON DTS EMG system. EMG signals from 8 muscles of the upper right arm performing the main motions in the shoulder and elbow joints were registered and processed. Six motor tasks were performed without and with an exoskeleton with 4 DOF. Since the EMG signal of the muscle pectoralis major was noised by the electrical activity of the heart first this signal was filtered using recently created dynamic filter. After filtration, normalization according to specially performed maximal isometric tasks was performed. Rectification and suitable smoothing give a signal suitable for proportional control. From other case, setting different constants for maximal EMG amplitude levels, on/off control was simulated.*

**Key words:** upper arm orthosis, EMG signals, muscles, control

## 1. Introduction

The rehabilitation of post-stroke survivors can be conservative, passive, with a help of physiotherapist, performing different self-dependent exercises or different technical devices can be used. There are good and comprehensively survey on such devices in Maciejasz et al., (2014), Benitez et al. (2013) and Islam et al., (2017). The devices can be active or passive orthosis, active exoskeletons, robots (Islam et al., 2017). They can have from one to 7 degrees of freedom (DOF) (Ogce and Qzyalcin, 2000; Goputa et al., 2009). The question of interest is which muscle's EMG signals have to be used and how to process these signals. Son et al. (2009) use EMG signals from the muscles biceps brachii and triceps brachii to control flexion/extension in the elbow joint. They filter the signal by Butterworth filter to delete frequencies below 1 Hz and convert this signal to torque of the electrical motor. Phyto et al., (2016) made similar device (RS-6) but they did not mentioned from which muscles are taken the EMG signals. They briefly wrote that the EMG signals (bio-feedback signals) are amplified and processed. Similarly in Ogce and Ozyalcin (2000), where a myoelectrically controlled shoulder-elbow orthosis is described, it is only mentioned that electrodes are placed on the flexor and extensor muscles – nothing was writing about the way of processing of the EMG signals. Andreasen et al. (2005) described an exoskeleton for assistance of pronation/supination motion in the elbow by using EMG signals from the muscles pronator teres, supinator and biceps brachii. They used calculated mean absolute value of the signal and this value is evaluated every 30 ms interval. No information about type of electrodes, frequency for analog-to-digital converting, information about amplification and filtration (this lack is commonly observed in many paper describing active technical devices for rehabilitation). Much more attention is paid on the EMG signal processing in Lenzi et al., (2011) and Lenzi et al. (2012). They use bipolar surface electrodes to register EMG signal from the muscles biceps brachii and triceps brachii, filter the signals and obtain linear envelope. For so obtained envelope of the two muscles they calculate two constants to recognize properly flexion from extension motion. Besides envelope an often used method for making noise-like EMG signal suitable for using as control signal is calculating of root mean square (RMS) for some time interval or smoothing number of samples (Rahman et al., 2015).

## 2. Results from experiments with post-stroke patients

An ischemic or hemorrhagic stroke destroys the main control functions of human limb generated in brain, preserving the spine nerve pathway and the muscle-nerve complex of the limb unaffected. The damage is predominantly in the limb movement control. The estimation of the limb motor deficit can be successfully noninvasively investigated using surface electromyographic signals. Results from experimental investigation of 10 post-stroke survivors and 15 healthy volunteers are systematized (Raikova et al., 2014; 2016). The experiments were performed using a telemetric Noraxon system (Telemyo 2400 G2 – 8 channel electromyography measuring system) and Ag/AgCl surface circle electrodes. EMG signals from six surface muscles of the upper arms were recorded and processed using self-made in MATLAB computer program – Fig.1. 10 different motor tasks were performed with both limbs. The processing of data consists of filtering, rectification, normalization, smoothing and Furie analysis (Angelova et al., 2017; 2018).

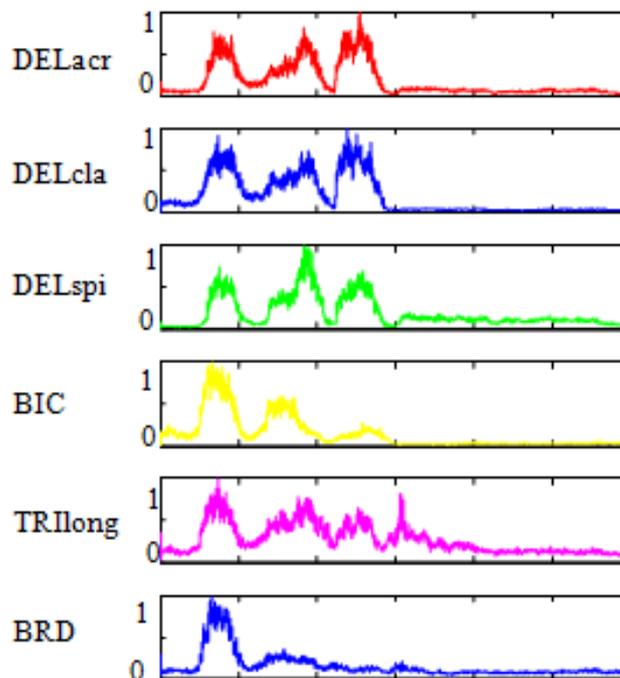


Fig.1. Processed EMG signals of 6 muscles during 3 maximal isometric tasks in shoulder and elbow joints – filtering and normalization

## 3. Experiments with an exoskeleton with 4 DOF

After a detailed survey of the anatomical literature the main muscles performing the motions in the shoulder and elbow joints were selected (Raikova, 1992). The main requirement was to find surface situated big muscles, predominantly main performers of the motions in the two joints. For each direction of the respective rotation one muscle (prime mover) is chosen (for abbreviation see in Raikova, 1992): **DELcla** performs shoulder flexion; **DELspi** – shoulder extension; **DELacr** – shoulder abduction; **PMJ** – shoulder adduction; **BIC** – elbow flexion; **TRI** caput longum – elbow extension; **PRO** – elbow pronation; **SUP** – elbow supination. It is also visible from the biomechanical considerations that many of the chosen muscles take participation in more than one motion – so they are synergistic or antagonistic with some other muscles which make difficult to juxtapose only one muscle to only one motion. **DELcla** and **DELspi** help in shoulder abduction, caput breve of the muscle **BIC** takes participation in the shoulder flexion and with the common proximal part performs elbow supination; caput longum of the muscle **TRI** takes participation in the shoulder extension and so on.



**Fig.2. Exoskeleton design**

The rehabilitation exoskeleton is shown in Fig.2 (Veneva et al., 2018). During the experiments it was detached from the pneumatic driving system, so only the construction weight and friction of the artificial joints affect the motion of the experimental subject (volunteer). Six volunteers participated in the experiments, students, all in good physical condition. The purpose of the experiments was to examine the possibility for obtaining good useful signals from the chosen 8 muscles and to test the programs for processing the data aiming to obtain suitable control signals. The 8-channel telemetric Noraxon DTS EMG system was used for online monitoring and saving the experiment data for further processing. The surface EMG signals from the chosen 8 muscles was taken by bipolar Ag/AgCl circle electrodes “Skintact-Premier” F-3010. The sampling frequency was 1500 Hz. Hellige EMG conductive gel for better skin-to-electrode contact was used. The electrode locations were determined according to the international guidance (SENIAM project – <http://seniam.org/>). The EMG signals were preprocessed by the program Biomechanical Analysis Software MR 3.8 of Noraxon Inc. The experimental procedure was the following: (1) reference position (**REF**) – the arm is voluntary relaxed down in the sagittal plane; (2) maximal voluntary isometric contractions aiming to calculate maximal EMG signal for all chosen muscles for further normalization: **MAX1** – for the muscles **BIC**, **TRI**, **PRO** and **SUP** and **MAX2** for the muscles **DEL** and **PMJ**; (3) three trials of shoulder flexion/extension (till to  $90^0$ ) in the sagittal plane starting from the reference position, the thumb points is forward (**FIExSh**); (4) three trials of abduction/adduction in the shoulder joint starting from reference position (**AbAdSh**); (5) three trials of rotation interna/externa in the shoulder joint (**RotSh**) – the initial position of the upper limb is in the horizontal plane – palm is downward; (6) three trials of maximal flexion/extension in the elbow joint in the sagittal plane (**FIExEI**), initial position - reference one. First the experiments were performed without exoskeleton, with placed sensors for EMG, after that carefully, without shifting them, the exoskeleton was put on. All the movements (steps 3, 4, 5 and 6) were performed with the right limb with the exoskeleton, so we have 4 more movements abbreviated **FIExShEXO**, **AbAdShEXO**, **RotShEXO** and **FIExEIEXO** respective.

Since the EMG signal of the muscle **PMJ** is noised by the electrical activity of the heart, first this EMG signal was filtered using recently created filter (Christov et al., 2018) and a custom made program written in MATLAB. The maximal values of the EMG amplitude of all muscles during the maximal isometric tasks **MAX1** and **MAX2** (Fig.3) were calculated and these were the coefficients for normalization. All the EMG signals from the performed movements with and without exoskeleton were normalized according to these coefficients. The signals are rectified and smoothed with different time constants (Fig.4A). The on-off control was simulated (Fig.4B). For the shown example in Fig.4 the number of samples for smoothing is 10 and the level for “off” signal is 0.3 for every muscle.

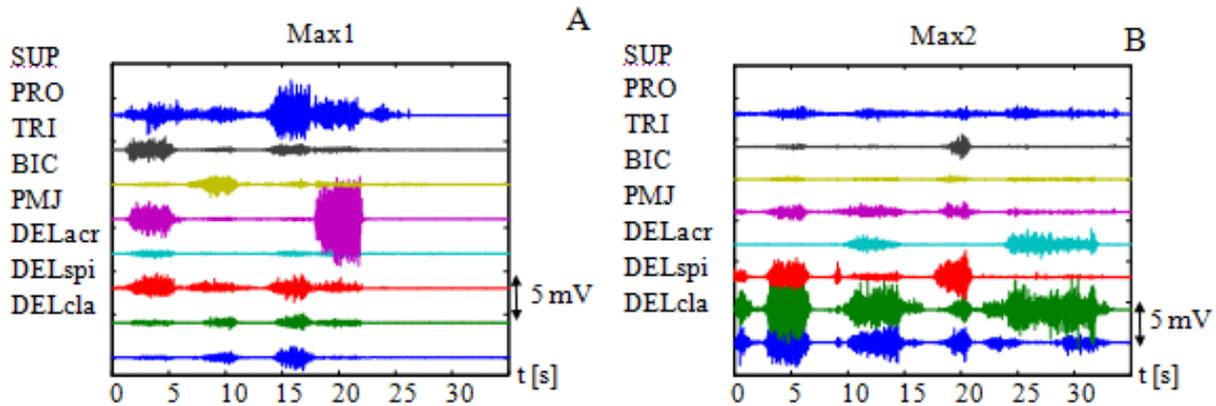


Fig.3. Row EMG data of the experiments MAX1 and MAX2 of one subject

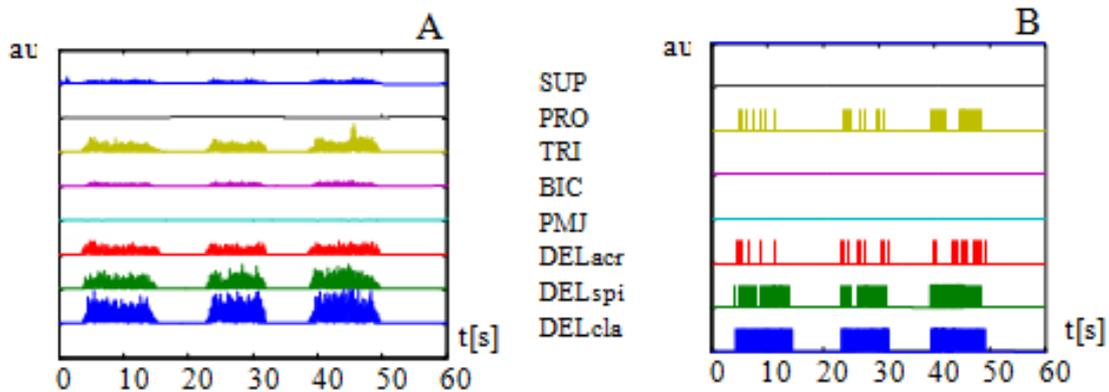


Fig.4. Three trials of the motion abduction-adduction in the shoulder joint with exoskeleton.

A. Filtered, normalized, rectified and smoothed EMG signals of the 8 muscles. B. Illustration of on/off control – if the signal is higher than 0.3 au the control signal is 1 if not – it is zero.

#### 4. Conclusions:

- The EMG signals from muscles of the injured upper limb of post stroke patients are enough strong and clear and can be used as control variables for orthotic devices after suitable processing.
- The frequency spectrum of the muscles of the injured and collateral limb is not significantly different, so there is no need to prepare special programs for processing of EMG signals of patients.
- Before using surface EMG signals as control variable, filtering which removes frequencies between 0 and 20 Hz of the signal is necessary for removing noise and movement artifacts.



- Each person has its specific characteristics of the skin and muscles influencing on the EMG amplitudes. So, normalization of the signals is absolutely necessary. The isometric tasks during which the maximal isometric force will be evoked have to be carefully selected especially for disabled people. So, the main conclusion is that the control of an orthetic device must be strictly personalized. The same refers to the levels of the muscle activity used for on/off control.

### References:

1. Angelova S., Ribagin S., Raikova R., Veneva I. (2017) Power frequency spectrum analysis of surface EMG signals of upper limb muscles during elbow flexion – a comparison between healthy subjects and stroke survivors. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 38 , 7-16.
2. Angelova S., Veneva I., Raikova R., Ribagin S. (2018) In: Proc. of the XXVII International Scientific and Technical Conference “Automation of Discret Production Engineering”, ADP 2018, Sozopol, June , 208-212.
3. Andreasen D.S., Allen S.K., Backus D.A. (2005) Exoskeleton with EMG based active assistance for rehabilitation. In: Proceedings of the 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, June 28- July 1, 2005, Chicago, IL, USA , 333-336.
4. Benitez L.M.V., Tabie M., Will N., Schmidt S., Jordan M, Kirchner E.A. (2013) Exoskeleton technology in rehabilitation: towards an EMG-based orthosis system for upper limb neuromotor rehabilitation. *Journal of Robotics*, Article ID 610589, 13 pages.
5. Christov I., Raikova R., Angelova S. (2018) Separation of electrocardiographic from electromyographic signals using dynamic filtration. *Med Eng Phys.* , 57, 1-10.
6. Gopura R.A.R.C., Kiguchi K., Li Y. (2009) SUEFUL-7: A 7DOF upper limb exoskeleton robot with muscle-model-oriented EMG-based control. In: IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and System. St. Louis, 1126-1131.
7. Islam R., Spiewak C., Rahman M.K., Fared R. (2017) A brief review on robotic exoskeletons for upper extremity rehabilitation to find the gap between research prototype and commercial type. *Advances in Robotics & Automation*, 6 (3), 1-12.
8. Lenzi T., De Rossi S.M.M., Vitiello N., Carrozza M.C. (2011) Proportional EMG control for upper limb powered exoskeletons. In: Proc. of the 33th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Boston, Massachusetts , USA, August 30- September 3., 628-631.
9. Lenzi T., De Rossi S.M.M., Vitiello N., Carrozza M.C. (2012) Intention-based EMG control for powered exoskeletons. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 59(8) 2180-2190.
10. Maciajasz P., Eschweiler J., Gerlach-Hahn K., Jansen-Troy A., Leonhardt S. (2014) A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11:13.
11. Ogce F., Ozyalcin H. (2000) A myoelectrically controlled shoulder-elbow orthosis for unrecovered brachial plexus injury. *Prosthetics and Orthotics International*, 24, 252-255.
12. Phyto S.T., Kheng L.K., Kumar S. (2016) Design and development of robotic rehabilitation device for post stroke therapy. *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*, 5(1), 31-37.
13. Rahman M.H., Ochoa-Luna C., Saad M., Achambault P. (2015) EMG based control of a robotic exoskeleton for shoulder and elbow motion assist. *Journal of Automation and Control Engineering*, 3 (4), 270-276.
14. Raikova R. (1992) A general approach for modelling and mathematical investigation of the human upper limb. *J Biomech.*, 25(8), 857-867.
15. Raikova R., Angelova S., Chakarov V., Krastev D.S. (2014) An approach for experimental investigation of muscle activities of the upper limbs (right versus left arm)



- of healthy subjects and post-stroke patients - a preliminary study. *International Journal Bioautomation*, 18(2):101-110.
16. Raikova R., Angelova S. Ribagin, S (2016) Changes in EMG activities of upper arm muscles and in shoulder joint angles in post-stroke patients. *International Journal Bioautomation*, 20 (3), 389-406.
  17. Son J.S., Kim J.Y., Hwang S.J., Kim Y. (2009) The development of an EMG-based upper extremity rehabilitation training system for hemiplegic patients. In: Lim C.T., Goh J.C.H. (eds) 13th International Conference on Biomedical Engineering. IFMBE Proceedings, vol 23. Springer, Berlin, Heidelberg.
  18. Veneva I., Chakarov D., Venev P., Zlatanov E. , Tsveov M., Trifonov D., Navaro X. (2018) Exoskeleton for rehabilitation. *Problems of Engineering Cybernetics and Robotics*, Bulgarian Academy of Sciences, 69, 30-39.

**Acknowledgements:**

This paper is supported by the Bulgarian National Science Fund, Grant no ДН07/9.

**Data authors:**

Rositsa Raikova, Prof., Sci.Dr., Dep. Biomechanics and Control of Movements, Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, BAS, Acad.G.Bonchev str. bl.105, tel: 979 36 54, Email: rosi.raikova@biomed.bas.bg

Ivanka Veneva, Assoc. Prof., Dep. of Mechatronics, Institute of Mechanics, BAS, Acad. G.Bonchev Str. bl.4, tel. 979 6427, Email: veneva@imbm.bas.bg

Silvija Angelova, Ph.D student, Dep. Biomechanics and Control of Movements, Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, BAS, Acad.G.Bonchev str. bl.105, tel: 979 36 10, Email: sis21@abv.bg



# MECHANICAL DESIGN OF AN ACTIVE ELBOW ORTHOSIS PROTOTYPE

S. Ribagin, P. Raykov, R. Raykova

**Abstract:** *Advances in the material sciences, 3D printing technology, biopotential sensors and microprocessor technologies, have led to appearance of orthotic devices with promising functional capabilities, in order to assist physically disabled or elderly people, to increase the limbs' strength and for self-rehabilitation purposes. Although great progress has been made in the field of rehabilitation robotics and bio-mechatronics, there are many factors that continue to limit the mechanical interface and performance of active orthotic devices. This paper presents a CAD model of an active elbow orthosis, which will allow the development of a future prototype.*

**Keywords:** Active elbow orthosis, CAD model, Elbow biomechanics.

## 1. Introduction

There is a big variety nowadays of active orthotic devices with different structures and performances. In contrast to the passive orthoses, the active ones have a capacity to increase and in the same time to sustain muscle force of the limb, helping the rehabilitation process. Another thing that distinguishes them from other orthoses is the potential to control active the motions in the joints of the devices, opposite to simple mechanical coupling, common to the passive orthoses. According to [1], an orthosis is a mechanical device applied to the body in order to support a body segment, correct anatomical alignment, protect a body part, or assist motion to improve body function. The orthosis will allow functional capacity and posture independence that is not possible without it. The main function of an active orthosis is to support the limb and to assist actively patient movements. Active devices provide active motion assistance and possess at least one actuator, thus they are able to produce movement of upper limb. Such assistance is required if patient is too weak to perform specific exercises. Although great progress has been made in the field of rehabilitation robotics and bio-mechatronics, there are many factors that continue to limit the mechanical interface and performance of active orthotic devices. This paper presents a possible design of an active elbow orthosis, a modified CAD model which will permit the development of a future prototype. For the purpose of the present study, a brief biomechanical analysis of the elbow joint is made and some essential requirements of the mechanical design of the prototype are considered.

## 2. A short biomechanical analysis of the elbow joint

The upper extremity consists of a linked system between the shoulder, elbow, wrist, and hand. The elbow joint is a complex structure that provides an important function as the mechanical link between the shoulder girdle, hand and wrist. The elbow joint articulation is classified as a trochoginglymoid joint [2]. Together with the shoulder, the elbow acts to position the hand in space. Compared to the shoulder, which has a large range of motion in all three axes of rotation, elbow range of motion is relatively constrained. The main movements at the joint are flexion, extension, pronation and supination. The flexion/extension motion of the elbow has been described as a “sloppy hinge” because the axis of rotation moves up to 3–4° and 2.5 mm when ranging from a fully extended to a fully flexed position. This is due to obliquity in the trochlear groove and corresponding sigmoid notch [2]. Normal elbow joint range of motion is from 0° of extension to 150° of flexion and from 75° of pronation to 85° of supination. Classically it has been suggested that only 30° of extension and 130° of flexion are necessary for activities of daily living [3]. It is very essential to identify the exact kinematics of the elbow to be able to construct an adequate active elbow orthosis which imitates the natural elbow joint.

Full extension is defined as  $0^\circ$  of flexion (i.e. the flexion angle is measured with respect to the vertical axis and is not the angle between the forearm and the upper arm). Neutral ( $0^\circ$  of pronation or supination) is defined as having the radial styloid directly over the ulnar styloid with the elbow at  $90^\circ$  of flexion. The major muscles crossing the elbow joint are: m. biceps brachii, m. brachialis, m. brachioradialis, m. extensor carpi radialis longus, m. triceps brachii, m. flexor carpi radialis and m. anconeus. The main flexors of the elbow are the brachialis and the biceps. The m. brachioradialis and m. pronator teres are the accessory flexors. There is an intricate interplay and wide range of participation of the elbow flexors. The brachialis is the main flexor and is active at any rotational position of the forearm and during any speed, with or without load applied to the flexing forearm. It is also active in flexed elbow posture or during extension of the forearm; it then acts as an antigravity muscle.

The biceps is a flexor of the supine forearm, and its activity is evident as soon as slight resistance is applied. Deactivation occurs when the forearm is pronated unless significant resistance is applied to the pronated flexing forearm. The biceps is minimally active as an antigravity muscle or in maintaining a static flexed position. The brachioradialis is active when the forearm is flexing rapidly at any rotational position. It is also a reserve flexor during flexion against resistance, especially in neutral rotation of the forearm [4]. The pronator teres does not participate as a flexor unless resistance is encountered during flexion.

The extensor of the elbow is the m. triceps brachii assisted by the small m. anconeus. The main worker during extension is the medial head of the m. triceps. Without load being applied, the long head is not active, whereas the lateral head is minimally active. These last two heads reserving extension come into play when resistance is applied during extension. [5]

Classically, 40 % of axial loads across the elbow are transferred across the ulnohumeral joint and 60 % across the radiohumeral joint. However, load transfer is sensitive to a variety of factors. The elbow axis of rotation is at the centre of the capitellum and trochlear segments of the distal humerus. Studies have shown that the centre of rotation is an area 2-3 mm in diameter in the centre of the trochlea [6]. The sum of all force moments and forces, (including joint reaction force) (Fig.1) during flexion and extension movements must be zero. During flexion the force produced by the muscles (Force M) acts at a distance of 5 cm from the centre of rotation axis (marked in Fig.1 with a black dot). The force of the weight of the forearm (Force W), acts at a distance approximately of 13 cm from the centre of rotation [7]. The muscle action is usually shown diagrammatically as only supplied by the biceps and its tension. The moment of this force is the value of the force in N multiplied to the distance in m from its line of action to the elbow centre of rotation. This flexing moment in (Nm) opposes the extending moment of the weight in the hand [8] and eventually of moment of an additional force P in the hand.

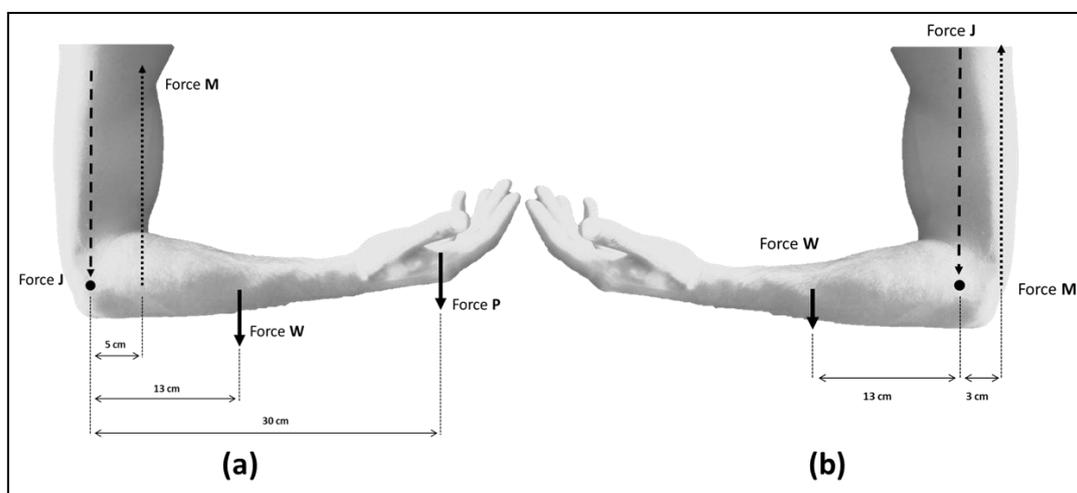


Fig. 1 The joint forces during flexion (a) and extension (b) in the elbow

### 3. Mechanical design of an active elbow orthosis

As it was mentioned in the previous section, structurally and functionally the joint is classed as a hinge joint so single – axis joint model can be used to mimic the elbow flexion and extension movement. From the anthropometric data corresponding to 95% of the population according to [9] and [10] the average length of the upper arm (m) is 0.389 0.358, lower arm + hand length (m) is 0.517 0.458, lower arm + hand mass (kg) is 2.29 1.74, distance for the lower arm + hand centre of mass from distal (%) is 0.318.

The orthosis should be able to manipulate with load mass, lower arm + hand mass and its own mass. To calculate required torque (T) the following equation can be used:

$$T = M \times g \times L$$

where, M is the total manipulated mass, which consists of load mass, lower arm + hand mass and device mass,  $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$  and L distance between the application point of these forces and the rotation axes. It was approximately calculated that an electrical motor should produce more than 5 Nm. But during every-day activity a person can make complex movements, so total torque should be increased up to 6 Nm and this value will be considered as a minimum parameter for the motor torque. This approximate actuator torque can be transmitted to the joint through several transmission systems to provide the desired speed and final torque. In general, there are gears with parallel axis and gears with nonparallel axis. We have chosen a belt gear which will transmit torque on the parallel axis. The actuator and transmission system delivers power to joint and manipulates movements of the limb, so it should be quite precise and have to have enough power to obtain required torque. Electric motors are the most commonly used actuators, because they easily provide a relatively high power and high precise. There is a wide selection of commercially available electric actuators, however, more of them are heavy and with a sizable transmission system construction. We have chosen a programmable and networkable smart servo actuator with 9.80665 Nm stall torque and with proper for the purpose size and weight.

The CAD model (Fig.2) of the elbow orthosis is presented below. The servo motor placed in the motor holder provides the system with the required torque. The proposed joint model consists of upper arm and lower arm parts and bearing assembly. The upper arm of the device will be used as housing for electronic components.

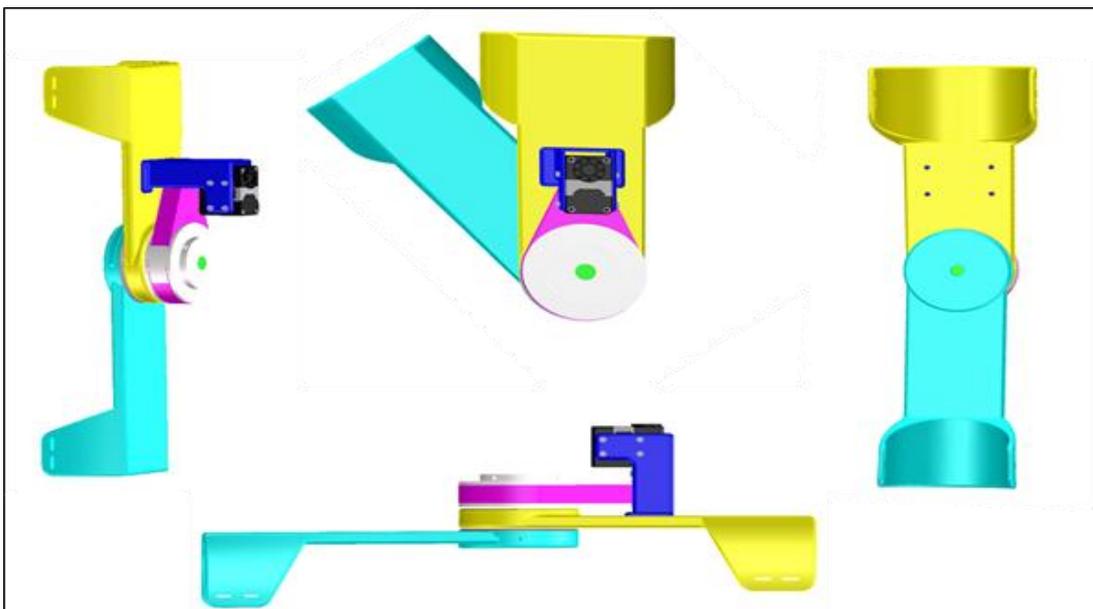


Fig. 2 The CAD model of an active elbow orthosis



**Main results:** Based on background, literature review and the biomechanical analysis of the elbow, requirements to the orthosis were formulated. According to these requirements the best solution for each part of the future prototype, including actuation system was found and a CAD model of the orthosis was designed.

#### 4. Conclusions

- Relatively simple and reliable mechanical construction of the future prototype device which provides one degree of freedom in the sagittal plane for the elbow joint is proposed.
- Some further considerations about the size adjustability and safety during usage are needed.

#### References:

1. Bunch, W., Atlas of orthotics: biomechanical principles and application, Mosby, St Louis, MO, 1985
2. Steindler, A., Kinesiology of the human body, ed 5, Springfield, IL, Charles C Thomas, 1977
3. An, KN, Zobitz ME, Morrey BF. Biomechanics of the elbow. In: Morrey BF, editor. The elbow and its disorders. 4th ed. Amsterdam: Elsevier, p. 39–63, 2009.
4. Shahan K. Sarrafian, M.D., Kinesiology and Functional Characteristics of the Upper Limb, In: Atlas of Limb Prosthetics: Surgical, Prosthetic, and Rehabilitation Principles, Mosby Inc; Subsequent edition, 1992
5. Travil, AA, Electromyographic study of the extensor apparatus of the forearm, Anat Rec, 1962
6. Chen, NC, Julka, A., Hinged external fixation of the elbow, Hand Clin, 26:423-433, 2010
7. Nordin M., Frankel, VH, Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System, Lippincott Williams & Wilkins, 2001
8. Razak, NAA, Osman, NAA, Gholizadeh, H., Ali S., Biomechanics principle of elbow joint for transhumeral prostheses: comparison of normal hand, body-powered, myoelectric & air splint prostheses, Biomed Eng Online, 13: 134, 2014
9. Huston, R., Principles of Biomechanics, CRC Press, p. 442, ISBN: 9781420018400, 2008
10. Herman, I. P., Physics of the Human Body, Biological and Med. Physics, Biomed. Eng., Springer Science & Business Media, ISBN: 9783540296041, 2007

#### Data authors:

Assoc. Prof. **Simeon Ribagin**, PhD, Medical College of Burgas University “Prof. Dr. Asen Zlatarov” 69 “St. Stambolov” Blv., Department of “Health and social care” and Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 105, 1113 Sofia, Bulgaria, E-mail: sim\_ribagin@mail.bg

Plamen Raykov, Assoc. Professor, Ph.D, engineer, Head of Department “RAMIS”, Institute of Robotics – BAS, Sofia 1113, Acad. G. Bonchev str., Bl.1, E-mail: plamen.raykov@abv.bg

Rositsa Raikova, Prof., Sci.Dr., Dep. Biomechanics and Control of Movements, Institute of Biophysics and Biomedical Engineering, BAS, Acad.G.Bonchev str. bl.105, tel: 979 36 54, Email: rosi.raikova@biomed.bas.bg



# ACTIVE ORTHOSES OF THE LOWER LIMBS.SURVEY AND PRELIMINARY INVESTIGATIONS

S. Simeonov, I. Veneva

**Abstract:** *The aim of this paper is to provide an overview of lower extremity exoskeletons and active orthoses that have been developed so far and have a wide range of possible applications. The fields of application form three main groups of powered lower-limb devices: rehabilitative, assistive, and empowering devices.*

*In this paper, the assistive lower extremities exoskeletons are described. The technology is used to enable people who ordinarily cannot walk by their own means to walk. Assisting movement is beneficial for rehabilitation, for providing soldiers and nurses with increased strength to improve job performance, and for aiding people who have repetitive jobs, such as factory workers, to prevent injury.*

**Кључови думи:** Active lower limb orthoses, assisted movement, exoskeleton.

## 1. Introduction

What is an active orthosis and how does it differ from an exoskeleton? Active, or powered, orthoses differ from exoskeletons in that orthoses generally refer to assistive devices to help people with disabilities to walk. Exoskeletons typically refer to devices intended to augment an otherwise healthy individual's movements. However, the terms "active orthosis" and "exoskeleton" are often used interchangeably.

Exoskeleton by definition is essentially a hard outer structure that provides protection or support. From an engineering standpoint, specifically mechatronics, exoskeletons are electromechanical wearable devices intended for human use in order to enhance the physical capacity of the human wearer. Exoskeletons in general may be categorised into performance-augmenting and rehabilitation robots, in which the former enhances the capabilities of a healthy user whilst the latter is an assistive device for a patient with a motor pathology and is often referred to as active orthoses. Both forms of exoskeletons are very similar in terms of functional level, nonetheless the human interfaces as well as control objectives are different from each other [1].

In this paper, works concerning the lower extremities and active orthoses are described. The research conducted and commercially available devices, their actuation and hardware are presented.

## 2. Exoskeletons: History and Development

The development of robotic orthotics began in the 1970s, when Miomir Vukobratovic of the Mihailo Pupin Institute in Belgrade constructed the active assistive lower limb exoskeleton. This hydraulic exoskeleton provided actuated flexion/extension of the hip, the knee and the ankle, as well as hip abduction/ adduction. During the same time, Seireg and Grundman at the University of Wisconsin designed and implemented an exoskeleton to facilitate walking forward, sitting down, standing up, and walking up and down stairs. This exoskeleton was also hydraulic. Furthermore, it had active joints at the hips and the knees to support flexion/extension. The rest of the DoFs were either passive or controlled by springs. The desired motion was chosen by the patient by using switches on a control board. The final trajectory of a movement was preprogrammed on the basis of the trajectory of a healthy subject [2].

Kawamoto and Sankai et al. began developing the exoskeleton HAL (Hybrid Assistive Leg) in the mid 1990s. Their first prototype had active joints with 1 DoF at the hips and the knees, as well as a passive joint at the ankles. This model was followed by other versions of HAL. The most recent commercially available is version HAL-5 (Cyberdyne Inc., Japan) which is intended for wearing on



only one side of the body and the ankle dorsi-plantar flexion is driven also. Control is achieved by means of two cooperative systems: one triggers the activity of the actuators, and the other stores the operator's walking patterns in the memory. The functioning of the control system is based on data obtained from EMG sensors, GRF sensors, potentiometers, gyroscopes, and accelerometers. For a summary and comparison device see Table 1.

Argo Medical Technologies (Israel) presented the assistive exoskeleton ReWalk in 2008. ReWalk actuates the knee and hip flexion/extension. Patients must use crutches to maintain their balance. Sensors located on the chest determine the angle of the torso and measure the patient's shift in gravity and upper body movements. The use of this exoskeleton is limited to patients who meet certain height and weight criteria. ReWalk™-I, which is intended for use in institutions, is currently commercially available for rehabilitation centers and hospitals in Europe and the USA.

The exoskeleton Rex (Robotic EXoskeleton) which is manufactured by Rex Bionics (New Zealand) does not require any additional supportive aids such as crutches. A pair of robotic limbs controlled by a joystick allows sitting-to-standing, walking on level ground, and walking up/down stairs. Rehab Rex (2012) has the ability to be rapidly adjusted for multiple users who may vary in height, weight, and medical needs.

In 2010, Berkeley Bionics (USA) presented eLEGS, an assistive device that enables people with paralysis to stand up and walk. eLEGS actively supports the knee and hip flexion/extension and is largely based on HULC. Hip abduction/adduction is loaded with a stiff elastic component to minimize the unnatural posture that the patient experiences, and the ankle is spring-loaded to reduce toe drop. The system uses a number of sensing modalities for control: pressure sensors under the soles, potentiometers, and an accelerometer/gyroscope board on the torso to measure the angle of the torso in the sagittal plane. The use of crutches is required with eLEGS.

An exoskeleton powered by the control of the lower limbs for patients with spinal cord injuries was developed and tested at Vanderbilt University (USA). This active orthosis provides active assistance in the sagittal plane at both the hips and knees. It is intended to be worn in conjunction with a standard AFO (ankle foot orthosis) that provides support at the ankle and prevents foot drop during the swinging of the legs. Joints are controlled by trajectory commands from a finite state machine that has twelve states, each of which is defined by a set of trajectories. The transitions between states are based on the position of the center of the mass projection on the ground plane. In this way, the operator is able to control the orthosis with his torso. In addition to walking, this orthosis also allows sitting and standing movements. In an experimental implementation, a paraplegic operator demonstrated the ability to walk within a set of parallel bars at an average speed of 0.8 km/h. Moreover, this exoskeleton provides repeatable knee and hip joint angles during walking, which reflect the joint trajectory shapes and amplitudes that characterize healthy walking.

Table 1

Device	Hip DoF	Knee DoF	Ankle DoF	Actuation	Status
HAL	A-U-U	A	A-U-U	Motor	C
ReWalk	A-U-U	A	U-U-U	Motor	C
eLegs	A-U-U	A	U-U-U	Motor	C
Rex	A-A-U	A	A-A-U	Motor	C
Vanderbilt Univ	A-U-U	A		Motor	R
Human movement	3 rotations: flexion/extension ab/adduction rotation	1 rotation: flexion/extension	3 rotations: plantar/dorsal flexion in/e-version pro/supination		

Note: DoF: A, actuated; U, unactuated; Stage: R, research stage; C, commercially available.

The ankle is a complex joint, where the axes of motion are not simply the three Euclidian axes.



Exoskeletons may be distinguished into either for performance augmentation or rehabilitation purpose. BLEEX which was funded by the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) falls under the first category by allowing additional payload to be carried [1]. Other notable DARPA funded exoskeleton research were the Sarcos Research Corporation WEAR (Wearable Energetically Autonomous Robot) and the MIT exoskeleton. Nanyang Technological University also developed their own lower extremity exoskeleton dubbed NTU-LEE which is similar to BLEEX. Hybrid Assistive Limb (HAL-3) was developed by University of Tsukuba with the same intent focusing on lower extremity.

Rehabilitation exoskeletons may be further classified into treadmill-based (Lokomat, LOPES and ALEX), over-ground (WalkTrainer and NTU’s NaTUre-gaits) and mobile medical exoskeletons (eLEGS, REX and ReWalk). Portable mobile medical exoskeleton requires the patient to balance themselves which is in contrast to rehabilitation robots which are often equipped with a body weight support system.

Most of considered projects apply pneumatic artificial muscles. The focus areas are the control of the actuators including sensors, the detection of the user’s intended motion, human-machine-interaction providing the actuation itself, user’s comfort, safety or prototype’s and weight.

Although there are other robotic devices that provide partial lower limb assistance, they are not described in this paper. There are now however, more than 50 active knee orthoses known to be commercially available and/or part of a current research project. Table 2 shows 11 active knee orthosis projects which provided elderly and/or muscle weakened people assisted movement in stair climbing or getting up from a chair [3]. The target groups identified for this study are elderly (E) and people with muscle weakness (MW). The assistive movements provided by the active knee orthoses were identified as stair climbing (STC), sit-to-stand (STS), and walking (W).

Table 2.

Manufacturer/University	Country	Stage	Target Group	Assisted Movement
B-TEMIA Inc	CAN	CA	MW	W,STC
Instituto Italiano di Tecnologia	ITA	RP	MW	STS
Meiji University Graduate School Meiji University Graduate School	JAP	RP	MW	W,STC
National Tsing Hua University	TWN	RP	MW,E	W,STC
Peking University	CHN	RP		W,STC
Technische Universität Darmstadt	GER	RP	MW,E	W,STS,STC
The University of Tokyo	JAP	RP	MW,E	W,STS
Universite Paris-Est Creteil	FRA	RP	MW	STS
University of Alabama	USA	RP	MW,E,R	W,STS,STC
University of Canterbury	NZL	RP	MW	STC
Vrije Universiteit Brussel	BEL	RP	MW	STS,W

Elderly (E), people with muscle weakness (MW); Stairclimbing (STC), Sit-to-Stand (STS), Walking (W); Commercially available (CA), Research Project (RP).

### 3. Design Considerations

In the development of lower extremity exoskeletons, the following design considerations must be taken into account [1]: The understanding of human lower limb biomechanics especially the

kinematics and functionality of hip, knee and ankle joints; Human machine physical interface as it responses for transmission of mechanical power from the exoskeleton to human, in which improper design may result severe injury; Human machine interaction which entails the control of the exoskeleton due to the users intention; The design of the power source, actuator and actuation mechanism of the actuation system; Clinical considerations.

A general overview on essential biomechanics with regard to gait rehabilitation is apt prior to discussing further on the clinical considerations. Amongst common motions considered in gait rehabilitation are walking as well as raising to standing motions. Walking motions are mainly divided into two basic phases, namely the stance or support phase and the swing phase along the sagittal plane. The Rancho Los Amigos gait analysis committee suggests that within the two basic phases, there are further eight gait phases viz. for the stance phase are the initial contact, loading response, mid-stance, terminal stance and pre-swing phases, whilst for the swing phase include initial swing, mid-swing and terminal swing. Fig. 1 illustrates these phases.

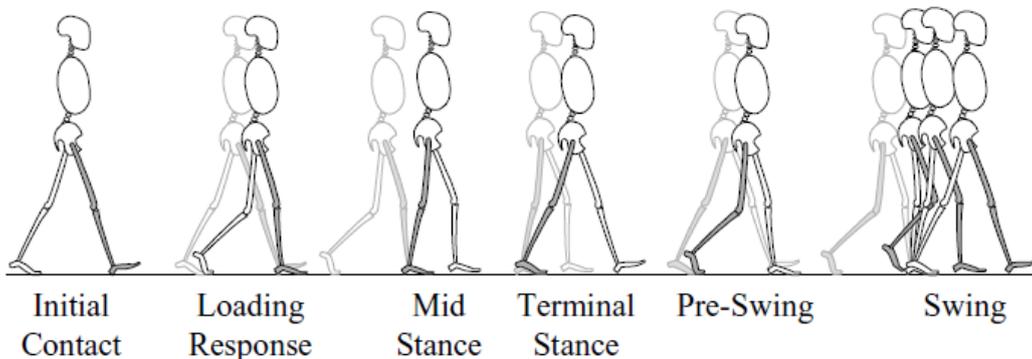


Fig.1. Gait phases along the sagittal plane for normal gait [1]

The typical biological limb’s degree of freedom (DOF), range of motion (ROM) and torque is tabulated in Table 3.

Table 3. Biomechanical Properties of Human Lower Limb.

Properties	Joints	Biological Limb
Degrees of Freedom	Pelvis	6
	Hip	3
	Knee	2
	Ankle & Foot	4
Range of Motion (°)	Hip	140/15 (a) 40/30-35 (b) 15-30/60 (c)
	Knee	120-140/0-10 (a)
	Ankle & Foot	40-50/20 (a) 30-35/15-20
Torque (Nm)	Hip	140/120 (a)
	Knee	140/15 (a)
	Ankle & Foot	b (a)

(a) Flexion/Extension (b) Adduction/Abduction (c) Internal/External

#### 4. Discussion

When designing an exoskeleton, the power requirements of each joint must be understood. This is where gait analysis is very useful to provide us with an insight on how power varies across the hip, knee, and ankle joints. How the power is dispersed across these joints changes greatly depending on how fast the person is walking, if they are walking on a hill or if they are climbing stairs.



A challenge with powering the user is knowing how much power that particular person requires, and at what precise moment does he/she need that power activated. Too much or too little power will make the technology useless, but making it just right for the wearer means customizing each device.

Design considerations such as the understanding of human lower limb biomechanics, human machine physical interface, human machine interaction, and power source design and actuation system are essential in the development of an exoskeleton. Clinical considerations in the design phase of rehabilitation robots are also vital as advances in this field are driven by it.

### 5. Conclusions

Huge advancements have been made in the field of powered exoskeletons over the last decade, however further research is needed before the technology can become commercially viable. The key issue is the high energy consumption of these devices as compared to their short battery lifetime. The benefits obtained from a solution to this problem would include portability, prolonged hours of operation, and accessibility for daily use. Other problems are the optimal design of their anthropomorphic mechanisms and the effective control. The devices are often unnatural in shape, noisy, and slow running. This problem can be solved by the development of better designed actuators and artificial muscles. Another significant aspect is the increasing number of actuated DoFs, which leads to unnecessarily high power consumption and control complexity. Active and quasi-passive elements incorporated into a single robotic system might offer a promising solution to these issues. To develop a robotic system that fulfils the requirements of human movement, compromises must be made between the operator's (or therapist's) ideals and the technical feasibility of realizing these.

### References:

1. Zahari Taha, Anwar P. P. Abdul Majeed, and Mohd Yashim Wong Paul Tze, Preliminary Investigation on the Development of a Lower Extremity Exoskeleton for Gait Rehabilitation: A Clinical Consideration Engineering and Technology Publishing, Journal of Medical and Bioengineering Vol. 4, No. 1, 2015
2. Slavka Viteckova \*, Patrik Kutilek, Marcel Jirina, Wearable lower limb robotics: A review, Elsevier Urban & Partner Sp., Biocybernetics and Biomedical Engineering 33 (2013) 96 – 105, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbe.2013.03.005>
3. Swantje Janzen, Kent Stewart, Peter P. Pott, Low-cost active knee orthoses – a systematic evaluation, 2018, Current Directions in Biomedical Engineering 4(1):649-652, DOI: 10.1515/cdbme-2018-0156, License CC BY-NC-ND
4. [https://www.researchgate.net/publication/327818692\\_Low-cost\\_active\\_knee\\_orthoses\\_-\\_a\\_systematic\\_evaluation](https://www.researchgate.net/publication/327818692_Low-cost_active_knee_orthoses_-_a_systematic_evaluation)
5. Wikipedia/Orthotics

### Acknowledgements:

This paper is supported by the Bulgarian National Science Fund, Grant No. ДН07/9, and Ministry of Education and Science, Grant No ДО1-205.

### Data authors:

Simeon Simeonov, Ph.D student, Institute of Mechanics, BAS, Acad. G.Bonchev Str. bl.4, tel. 979 6427, Email: monyds@mail.bg

Ivanka Veneva, Assoc. Prof., Dep. of Mechatronics, Institute of Mechanics, BAS, Acad. G.Bonchev Str. bl.4, tel. 979 6427, Email: veneva@imbm.bas.bg



## XXVIII МНТК „АДП-2019”





**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 5**

**“АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МОНТАЖА”**

# ПРОЕКТИРАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН КОМПЛЕКС ЗА ИГРА НА ШАХ

С. Цолов, К. Йорданов, А. Йорданов

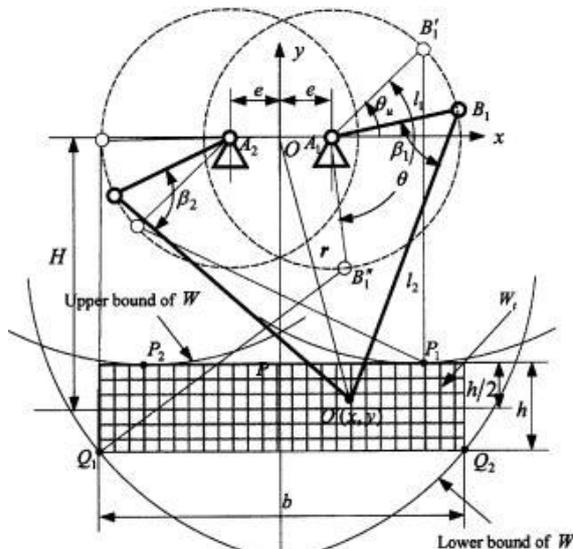
**Резюме:** Целта на настоящата разработка е да се проектира автоматизиран комплекс за игра на шах, като се приложи новопроктиран Delta робот. За постигане на целта е необходимо да се проектира и изработи игрална маса за шах и специализиран хващач, който да осигурява хващане, манипулиране и освобождаване на всички различни фигури от игралната маса.

**Ключови думи:** автоматизиран комплекс, Delta робот, шах, специализиран хващач.

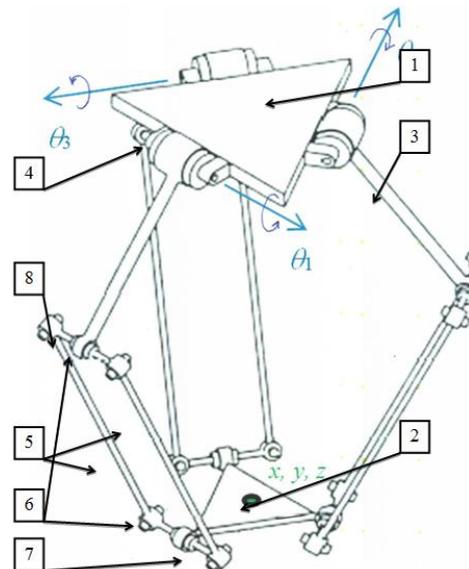
## 1. Въведение

Промишления робот е автоматизиращо устройство, наподобяващо човешка ръка, извършващо движения и действия, възпроизвеждащи двигателните и интелектуални функции на човека в производствени условия с възможност за препрограмиране [7].

За разлика от повечето промишлени роботи, чиито дизайн е вдъхновен от живата природа, делта роботът представлява ефективна оптимизирана машина вдъхновена не от природата, а от чиста математика и геометрия.



Фиг.1 Кинематична схема на делта робот с 2 рамена [2]



Фиг. 2 Модел на робот с ротационно задвижване на звената [3]

Като цяло съществуват два основни типа конструкции – делта робот с ротационно задвижване на звената и делта робот с линейно задвижване на звената. Първият тип конструкция на робота е показан на фиг.2. Структурата му се състои от две платформи, една неподвижна (поз. 1), монтирана над работното пространство, и една подвижна (поз. 2) на която е разположен крайния ефектор (хващача) на робота. Връзката между двете платформи се осъществява посредством три идентични кинематични вериги разположени симетрично под  $120^\circ$  между тях. Кинематичната верига се състои от горно рамо (поз. 3), свързано към неподвижната платформа посредством цилиндричен шарнир (поз. 4), и долни паралелограмни механизми, представляващи затворени кинематични вериги съставени от две дълги (поз. 5) и две къси (поз. 6) звена, както и четири цилиндрични шарнира (поз. 7).

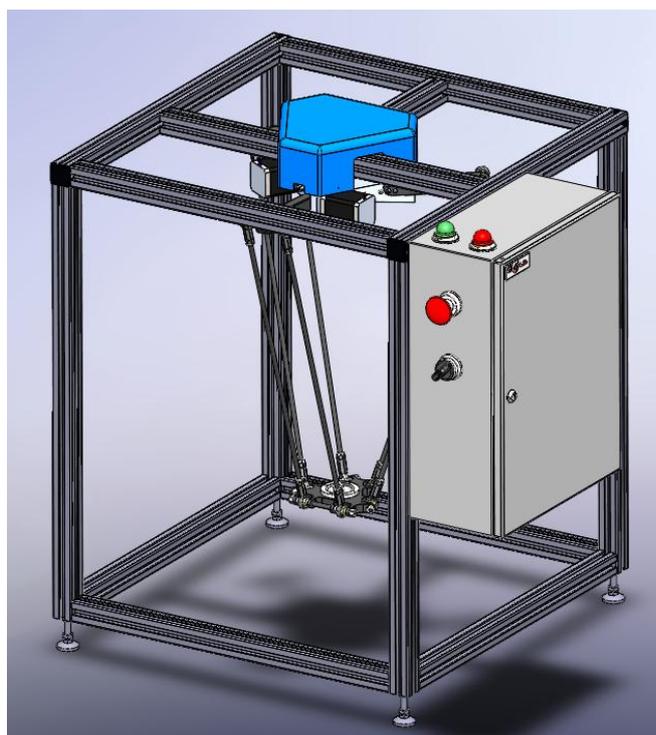
Паралелограмни механизми са свързани към горното рамо и долната подвижна платформа посредством цилиндрични шарнири (поз. 8) разположени на двете къси звена, с ос успоредна на звената. Комбинацията от трите шарнира е една своеобразна сферична става. Ключовата концепция на делта робота е използването на паралелограмните механизми, които ограничават движението на крайната подвижна платформа до чиста трансляция, т.е. само движение в посока  $X$ ,  $Y$  или  $Z$  без ротация. Транслационното движение на долната платформа в посока  $X$ ,  $Y$  или  $Z$ , се постига чрез задвижване на горните рамена посредством три двигателя чиито оси са разположени перпендикулярно на рамото. Най-често се използва директен монтаж между мотора и рамото, но също така е възможно и използването на предавателен механизъм.

Основно предимство на конструкцията на делта робота е, че тежките двигатели са разположени на неподвижната платформа, а не както при конвенционалните шарнирни роботи разположени непосредствено до изпълнителните звена. Това дава възможност подвижните механизми на робота да бъдат изработени от леки композитни материали, което от своя страна води до намаляване на инерционните сили позволявайки работа на робота при значително високи скорости и ускорения, повишавайки драстично производителността на робота. Освен това предотвратява нуждата от движещи се електрически кабели, което означава по-дълга и по-лесна поддръжка.

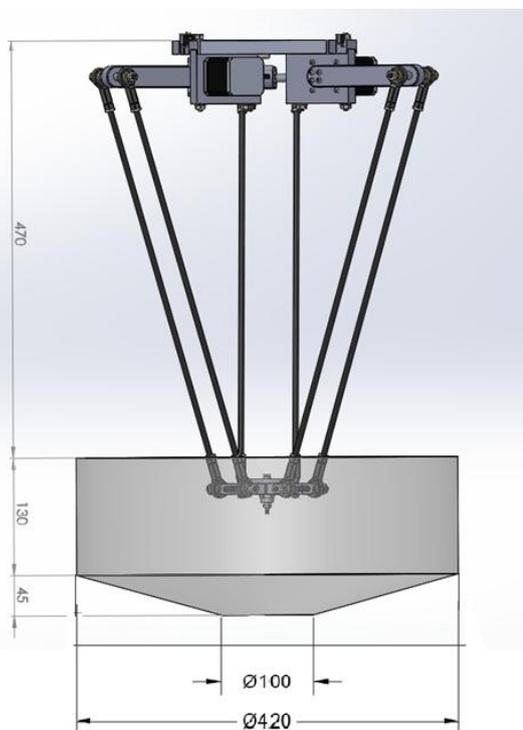
Основен недостатък на тази конструкция е, че за да бъде доставена необходимата подемна сила  $F$  в края на подвижното рамо, необходима за повдигане на товара, се налага използването на двигатели с висок въртящ момент  $M$ , породено от голямото разстояние между осите на шарнирите на рамото т.е дължината на рамото  $L$ . Този конструктивен аспект предразполага малката товароносимост на робота.

### 2. Проектиране на автоматизиран комплекс за игра на шах

Автоматизирания комплекс (АК) включва новопроектиран и изработен Delta робот (фиг.3), като ще се използва неговата конструкция за целите на настоящата разработка [6].



Фиг. 3 3D модел на Делта робот



Фиг. 4 Размери  $L$  и  $l$  на звената

Необходимо е да се премине през следните основни етапи [1]:

- избор на двигатели – 3 бр;
- проектиране на игрална маса за шах – материал и размери;
- избор на рид ампули за комуникация – 64 за дъската и 32 за извадените фигури;
- избор на контролер;
- избор на захранващ блок и драйвер;
- проектиране на специализиран хващач;
- избор на постоянни магнити.

### 2.1. Избор на двигатели

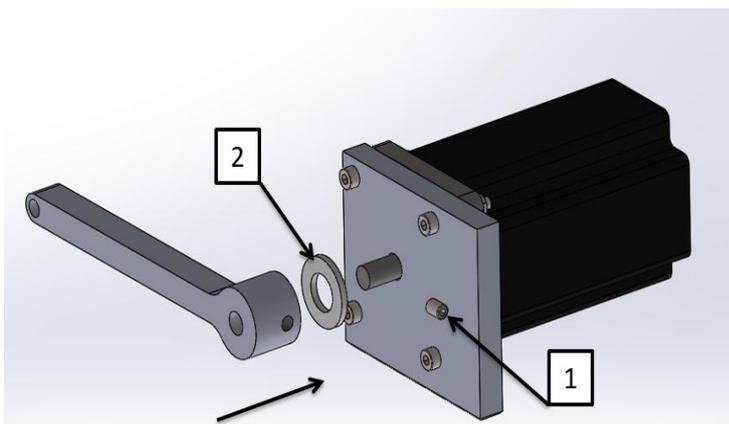
Първоначално направените експериментални изследвания водят до заключението, че стъпковите двигатели на новопроектирания Delta робот трябва да бъдат заменени с мощни. Изборът на двигатели е съобразен с натоварването породено от специализирания хващач, както и с хардуерните възможности на управлението на робота (драйвери, захранване), с цел икономическа ефективност.

Направени са конструктивни промени на звено 1, което води до промяна на неговата маса  $m_1 = 53$  [g]. При запазване на останалите параметри за  $J_{пр}$  се получава:

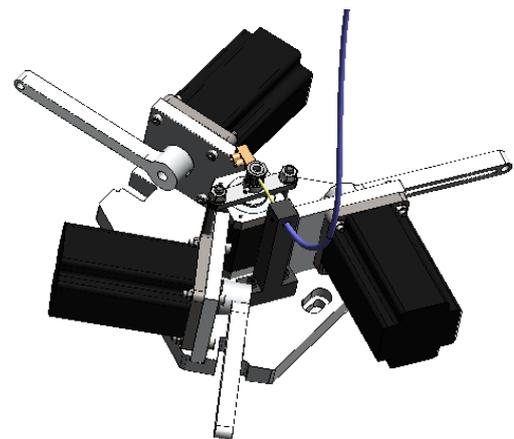
$$J_{пр} = 53 \cdot 2,5^2 + \frac{100 \cdot 100}{25} = 731,25 \text{ [gr. sm}^2\text{]}$$

Избраният втори стъпков двигател има  $[J_d] = 980 \text{ [gr. sm}^2\text{]}$ ,  $J_{пр} < [J_d]$ , следователно може да се приложи отворена схема на управление [3, 4, 5].

За да бъде удовлетворено изискването за работното пространство на робота трябва да бъдат правилно подбрани размерите  $L$  и  $l$  (фиг. 4) на кинематичните вериги. Горното рамо е изработено от алуминий 6061, като при проектирането му е търсена максимална лекота на изделието. Присъединяването на рамото към оста на двигателя се осъществява посредством стопорен винт (поз. 1), а точното разположение се осигурява от аксиалния лагер (поз. 2), представляващ дистанционна шайба от полиамид. Избрания двигател е показан на фиг.5, а на фиг. 6 е представен 3D модел на горно рамо планки и избраните двигатели.



Фиг.5 Избран двигател  
позиция 1 – стопорен винт, позиция 2 – аксиален лагер

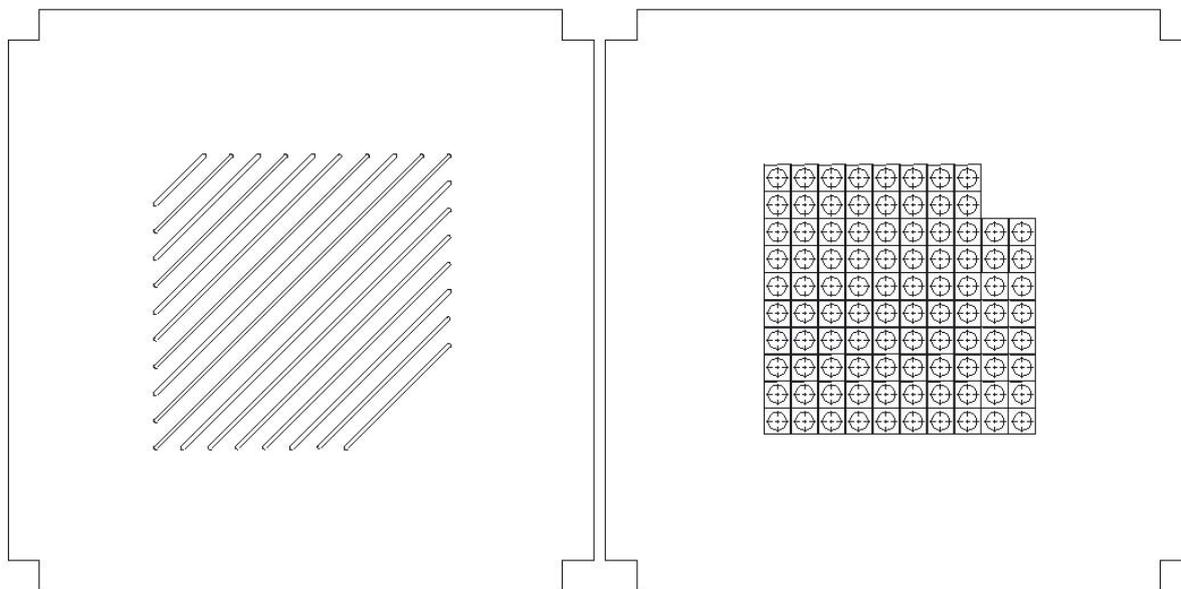


Фиг.6 3D модел на горно рамо  
планки и мотори

### 2.2. Проектиране на игрална маса за шах

Проектирана е правоъгълна матрица, обхващаща полетата за игра показана на фиг.7 и съобразена с работното пространство на робота.

Проектирани са каналите от долната страна на масата като са врязани с дълбочина 4.6 [mm]. Правоъгълната матрица е на 0.2 [mm], а позициониращите окръжности за фигурите са врязани на 0.2 [mm], считано от повърхността на правоъгълната матрица или 0.4 [mm] от общата повърхнина.



Фиг.7 Маса за шах изглед отгоре и отдолу

### 2.3. Избор на рид ампули за комуникация

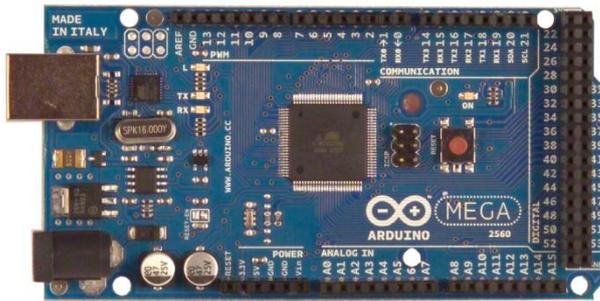
За осъществяване на комуникация за местоположение на фигурите за шах са необходими 64 [бр.] рид ампули за дъската и 32 [бр.] за извадените фигури. След уточняване на параметрите са избрани и закупени 96 [бр.] рид ампули NO, 0.01 A, 60 VDC, с размери  $\Phi 2.5 \times 14$  [mm].

### 2.4. Избор на контролер

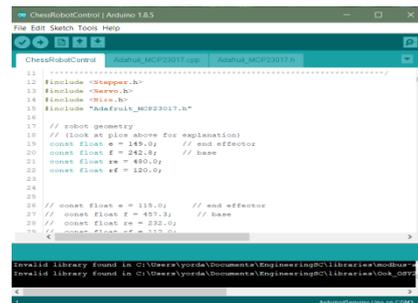
За управление на процеса се добавя панел Arduino Mega показан на фиг.8. Той служи за въвеждане в експлоатация (програмиране) на движенията на системата (играта), подадени от компютър. Arduino е електронна платформа с отворен код, базирана на лесен за използване хардуер и софтуер. Платките Arduino могат да четат входни сигнали и да ги превръщат в изход - стартиране на двигател, включване на LED и др. За комуникация между борда и желаното устройство може да се използва езика за програмиране Arduino (базиран на Wiring) и софтуера Arduino (IDE) фиг.9.

Характеристики:

- 8 bit микро контролер
- RISC архитектура
- 135 инструкции
- 64K/128K/256KBytes of In-System Self-Programmable Flash
- 4Kbytes EEPROM
- 8Kbytes Internal SRAM
- Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- 54/86 Programmable I/O Lines (ATmega1281/2561, ATmega640/1280/2560)



Фиг.8 Arduino борд



Фиг.9 Програмна среда за програмиране

## 2.5. Избор на захранващ блок и драйвер

Избрано е захранване модел S-350-24 - 24V DC 14.6A output фиг. 10. За стъпково управление е избран драйвер DM332T фиг. 10. Може да управлява както Nema 17 така и Nema 23. Позволява работата със стъпка 1/8 което ще осигури добра разделителна способност и съответно добра точност на работа. За крайни изключватели са избрани микропревключватели HIGHLY SS0504A фиг. 3.29. Този превключвател се отличава с изключително компактен дизайн позволяващ лесен монтаж.



Фиг. 10 Захранване



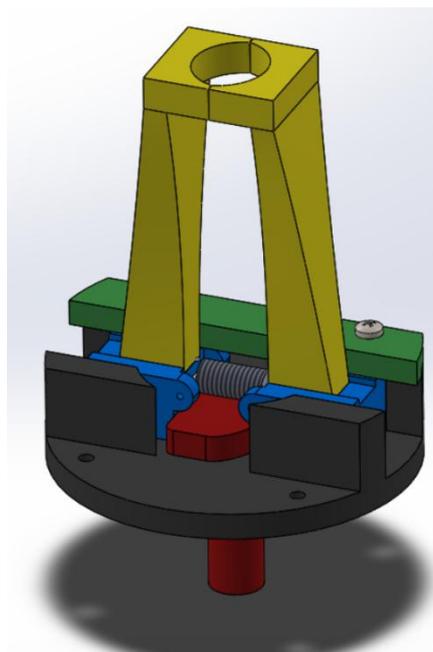
Фиг. 11 Драйвер



Фиг. 12 Краен изключвател

## 2.6. Проектиране на специализиран хващач

За да може да се осигури захващането на фигурите за шах е разработен специален хващач - паралелен с две челюсти (фиг.13). Като трябва да се отбележи, че е проектиран за изработка на 3D принтер.



Фиг.13. 3D модел на хващач



### 2.7. Избор на постоянни магнити

След уточняване на параметрите са избрани и закупени 50 бр. постоянни магнити с размери  $\Phi 10 \times 1$  [mm].

### 3. Изводи:

- Проектиран и разработен е автоматизиран комплекс за игра на шах.
- Проектирани и разработени са структурните компоненти на АК.
- Създадени са 3D модели и 2D конструктивна документация на АК и структурните компоненти.

### Литература:

1. Dimitrov S, Dimitrov L, Dimitrova R, Nikolov S, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps. Studies in Systems, decisions and control, 2019, v.199 502-514.
2. Robert L. Williams, The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions.
3. Димитрова Р., В. Павлов, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXIII, бр. 9/172, стр. (16-23), 2015 г.
4. Долчинков Р., Павлов, В., М. Колева, Систематизиране на схемите на задвижване на изпълнителни звена на роботи с ограничен ъгъл на завъртане, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXV, бр. 2/217, стр. (181-186), 2017 г.
5. Димитрова Р., Павлов В., Избор на стъпкови двигатели за роботи при отворена схема на управление, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (128-134).
6. Цолов С., Р. Димитрова, Проектиране на паралелен Delta робот, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (92-99).
7. Чакърски, Д., Т. Вакарелска, „Автоматизиращи устройства“, 2008

## DESIGNING AN AUTOMATED CHESS GAME COMPLEX

S. Tzolov, K. Jordanov, A. Jordanov

*Abstract: The purpose of this work is to design an automated chess game complex using a newly designed Delta robot. To achieve the goal, it is necessary to design and develop a chess game table and a specialized gripper to ensure that all the different pieces of the gaming table are gripped, manipulated and released.*

### Данни за авторите:

Станислав Тошков Цолов, студент ОКС”Магистър”, спец. „Мехатронни системи”, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mai: st.tzolov90@gmail.com

Красимир Йорданов Йорданов, студент ОКС”Магистър”, спец. „Мехатронни системи”, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mai: kراسи.y.jordanov@gmail.com

Александър Йорданов, студент ОКС”Магистър”, спец. „Мехатронни системи”, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mai: alexander.y.jordanov@gmail.com

## ИЗРАБОТВАНЕ И ВНЕДРЯВАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН КОМПЛЕКС ЗА ИГРА НА ШАХ

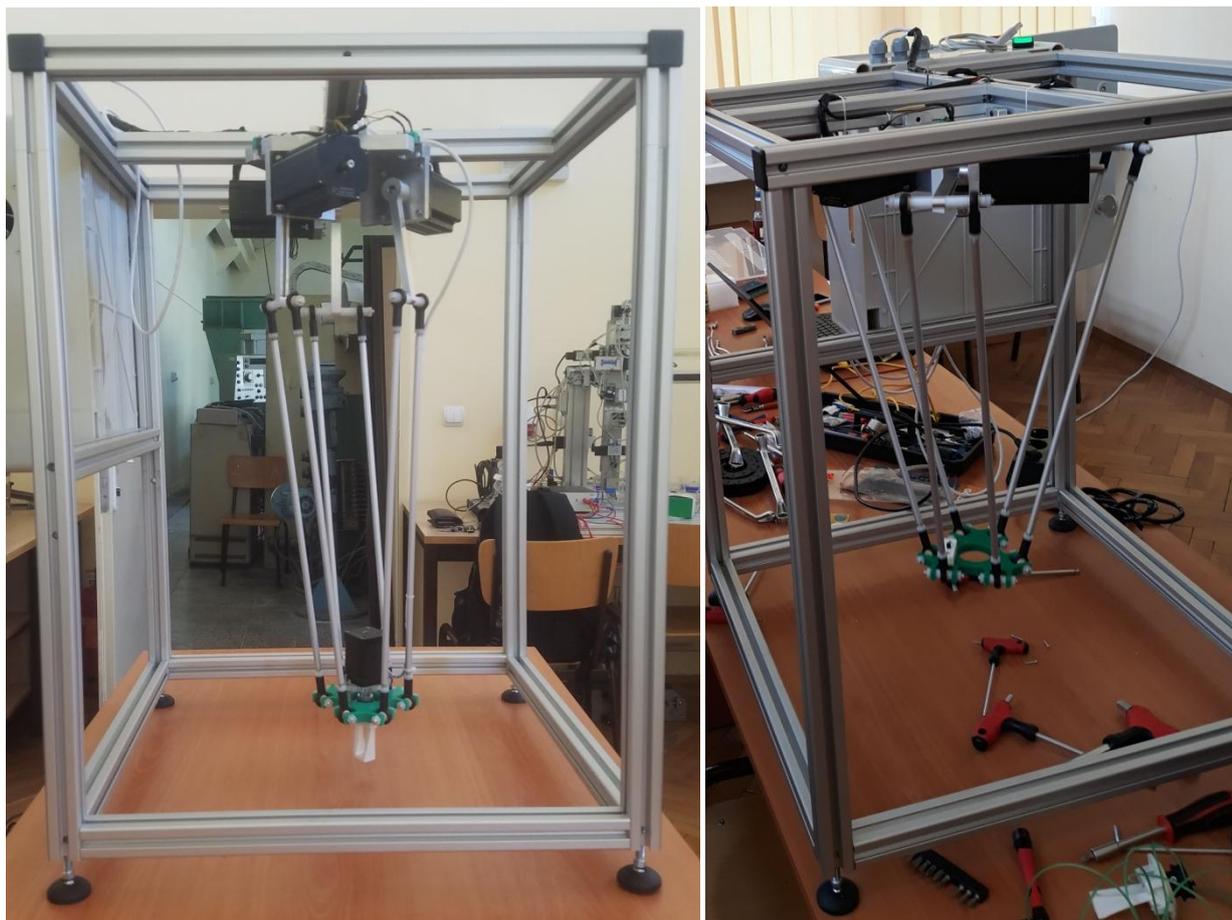
М. Господинов, С. Димитрова, М. Церовски

**Резюме:** Целта на настоящата разработка е изработване и внедряване на автоматизиран комплекс (АК) за игра на шах. За изпълнение на поставената цел е необходимо да се решат следните основни задачи: разработване на 2D конструктивна документация на АК; изработване на игрална маса; изработване на специализиран хващач; инженерни изследвания; сглобяване на АК.

**Ключови думи:** автоматизиран комплекс, специализиран хващач, шах, изработване, внедряване.

### 1. Въведение

Обект на настоящата разработка е новопроектиран автоматизиран комплекс за игра на шах, състоящ се от паралелен Delta робот, специализиран хващач, игрална маса за шах и игрални фигури, показани на фиг. 1.

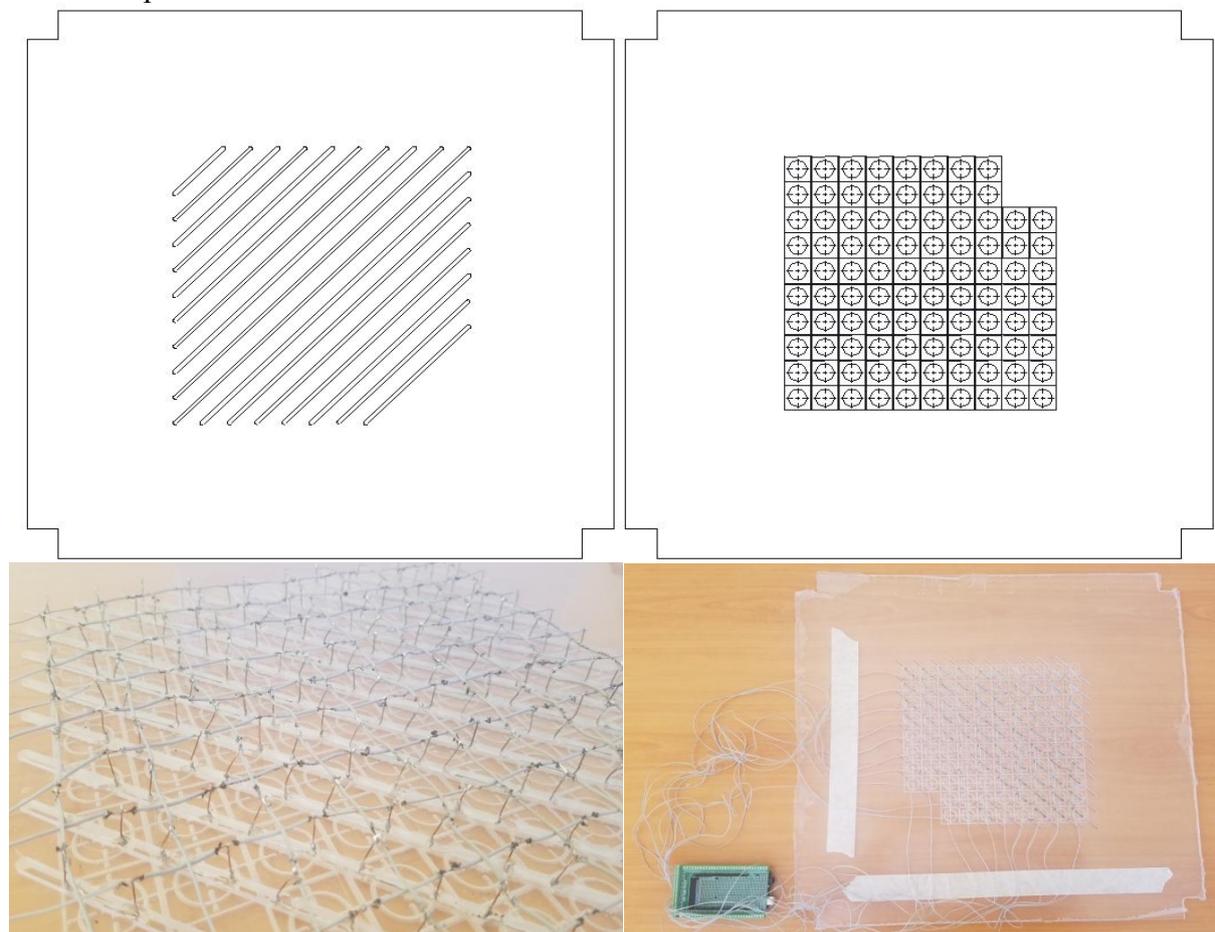


Фиг. 1 Delta робот

### 2. Изработване на основните детайли на АК

## 2.1. Технически характеристики на материала

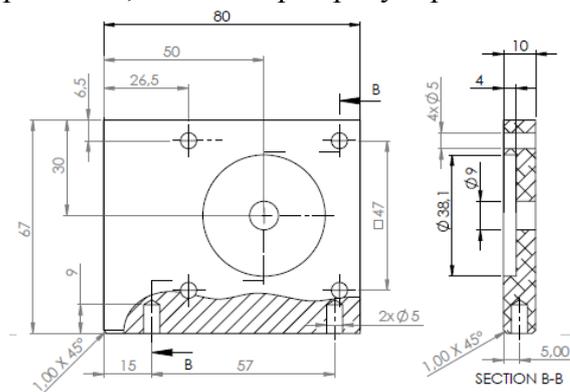
Игралната маса е изрязана от материал - плексиглас 6 [mm], като за целта на настоящата разработка, каналите от долната страна на масата са връзани с дълбочина 4.6 [mm]. Правоъгълната матрица е на 0.2 [mm], а позициониращите окръжности за фигурите са връзани на 0.2 [mm], считано от повърхността на правоъгълната матрица или 0.4 [mm] от общата повърхнина.



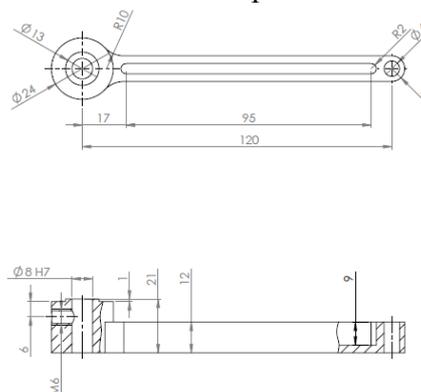
Фиг. 2 Изработена игрална маса

## 2.2. Оптимизация на присъединителните конзоли и горните рамена

Предварителните инженерни изследвания и симулации налагат изработването на нови присъединителни конзоли фиг.3 и фиг.5, както и на нови горни рамена фиг.4 и фиг.6 на паралелния Delta робот. Горното рамо е изработено с оптимизирано сечение, от гледна точка на натоварванията, като се търси редуциране на теглото и масовия инерционен момент.



Фиг. 3 2D Чертеж на присъединителни конзоли



Фиг.4 2D Чертеж на горно рамо



Фиг. 5 Присъединителни конзоли



Фиг.6 Горно рамо

### 2.3. Капиталовложения за АК

Табл. 1 Предварителни капиталовложения

№	Елемент	Цена
1	Двигатели	52,15 лв.
2	Захранване	45,23 лв.
3	Драйвери	108,15 лв.
4	Комуникационна платка	16,76 лв.
5	Шарнирни накрайници	108,95 лв.
6	Изработка на детайли	265 лв.
7	Алуминиеви профили	159,50 лв.
8	Крепешни елементи	60 лв.
9	Ел. табло	35,50 лв.
10	Проводници	26 лв.
11	Др. ел. компоненти	11,40 лв.
12	Доставка на компоненти	78,80 лв.
<b>Общо:</b>		<b>967,44 лв.</b>

Закупени са допълнителни елементи и части необходими за нормалната работа на АК, показани в табл.2.

Табл. 2 Допълнителни капиталовложения

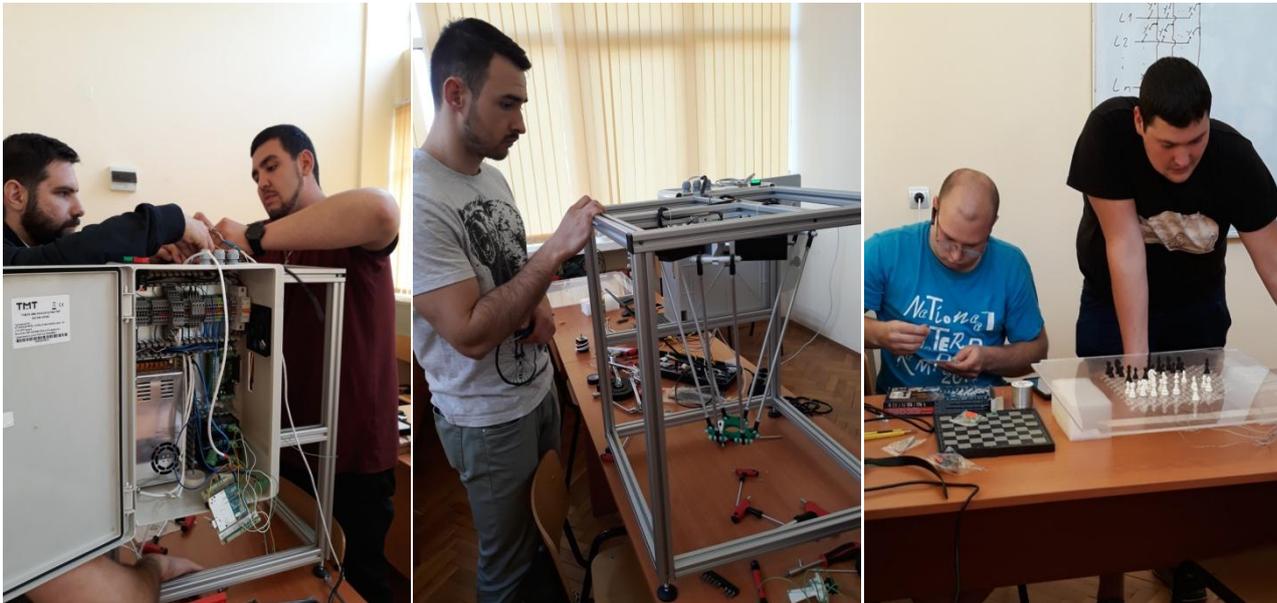
№	Елемент	Цена
1	Рид ампули	38,40 лв.
2	Постоянни магнити	5 лв.
3	Arduino mega	18 лв.
4	Arduino mega shield	19 лв.
<b>Общо:</b>		<b>80,40 лв.</b>

### 3. Изработка и монтаж на основните елементи

От фиг. 7 до фиг.10 са показани сглобените елементи от АК.



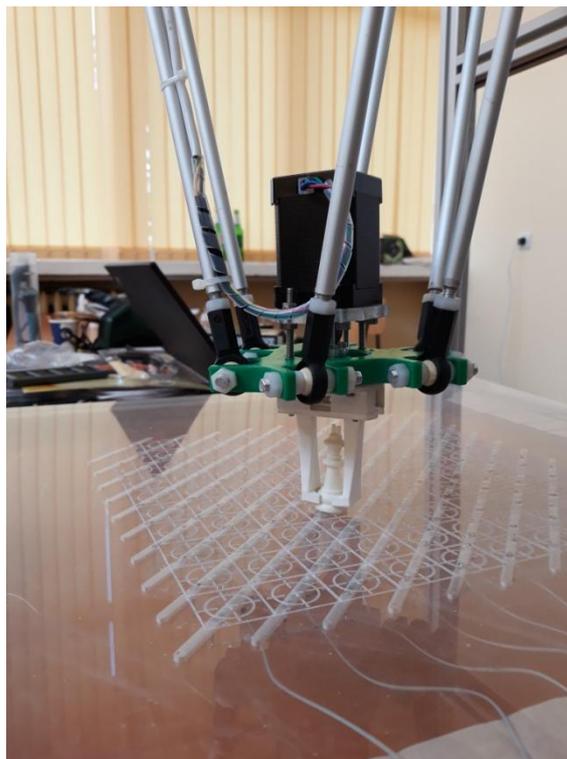
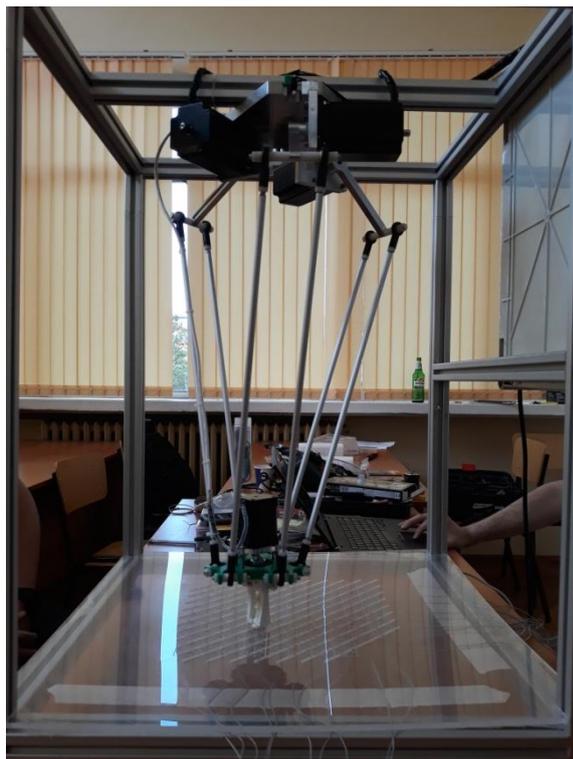
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 5



Фиг. 9 Общ вид на сглобените АК

**Изводи:**

- Изработени са отделните елементи от АК.
- Сглобен е АК за игра на шах.

**Литература:**

1. Dimitrov S, Dimitrov L, Dimitrova R, Nikolov S, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps. Studies in Systems, decisions and control, 2019, v.199 502-514.
2. Димитрова Р., В. Павлов, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXIII, бр. 9/172, стр. (16-23), 2015 г.
3. Цолов С., Р. Димитрова, Проектиране на паралелен Delta робот, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (92-99).
4. Димитрова Р., Павлов В., Избор на стъпкови двигатели за работи при отворена схема на управление, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (128-134).
5. Цолов С., К. Йорданов, А. Йорданов, Проектиране на автоматизиран комплекс за игра на шах, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (182-187).
6. Димитрова Р., Комплексна автоматизация на дискретното производство, Глава 13 – Проектиране и внедряване на автоматизиращи захранващи устройства, Издателство на ТУ, 2015 г.
7. Чакърски, Д., Т. Вакарелска, „Автоматизиращи устройства“, 2008



## DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED CHESS GAME COMPLEX

**M. Gospodinov, S. Dimitrova, M. Tserovski**

***Abstract:** The aim of the present development is to develop and implement an automated chess game complex. In order to achieve this goal it is necessary to solve the following main tasks: development of 2D structural documentation of the AC; production of gaming table; production of a specialized gripper; engineering research; assembly of AC.*

### **Данни за авторите:**

Мирослав Господинов Господинов, студент ОКС”Магистър”, спец. „Мехатронни системи”, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mai: miroslavgospodinov77@gmail.com

Стефани Иванова Димитрова, студент ОКС”Магистър”, спец. „Мехатронни системи”, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8 e-mai: stefani.i.dimitrova@gmail.com

Михаил Николаев Церовски, студент ОКС”Магистър”, спец. „Мехатронни системи”, катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8 e-mai: misho\_tserovski@abv.bg

# ПРОГРАМИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАН КОМПЛЕКС ЗА ИГРА НА ШАХ

С. Димитров, Й. Стоянов, Д. Генчев

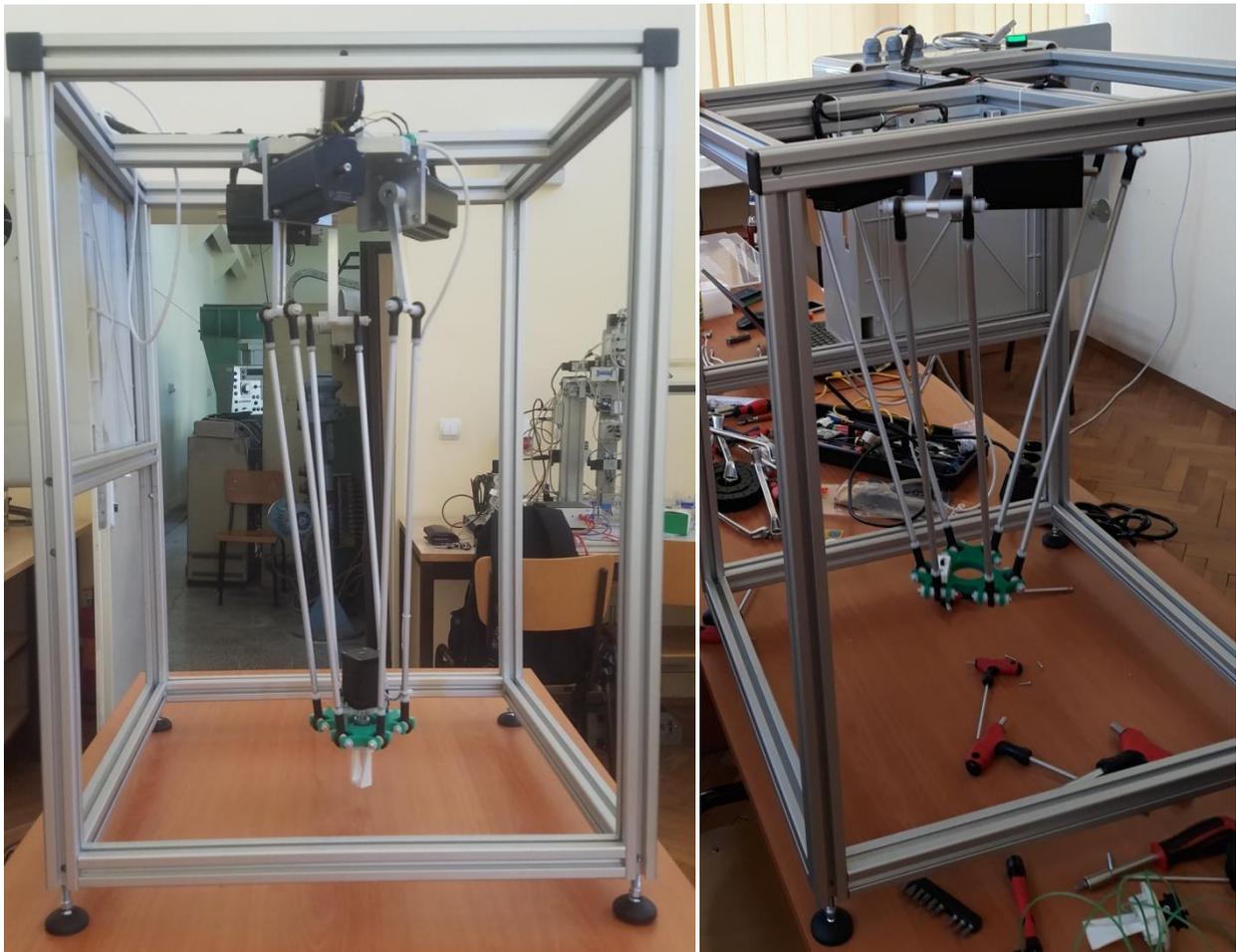
**Резюме:** В настоящата статия се разглежда програмирането и управлението на АК за игра на шах. Целта е да се разработи програмен алгоритъм и програмен код за коректна работа на ново проектирания АК.

**Ключови думи:** проектиране, управление, драйвер, програмен код.

## 1. Въведение

Обект на настоящата разработка е проектиран АК за игра на шах. Той включва следните компоненти:

- новопроктиран паралелен Delta робот;
- новопроктирана игрална маса за шах и фигури;
- специализиран хващач.



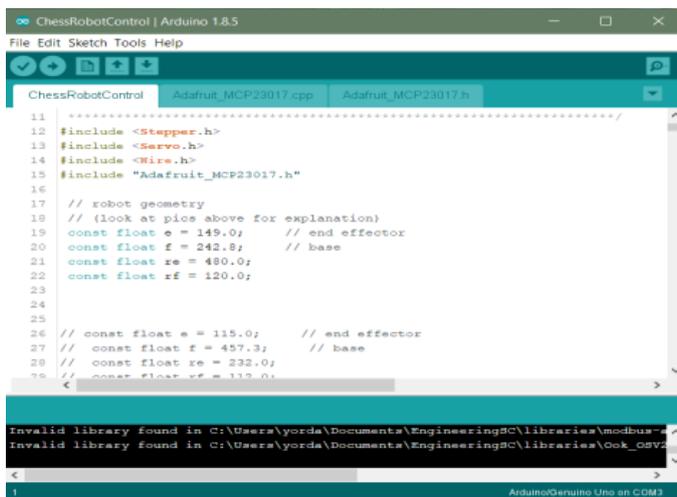
Фиг.1 Паралелен Delta робот

За управление на движенията на АК се използва програмна среда за програмиране Arduino (IDE) показан на фиг.2.

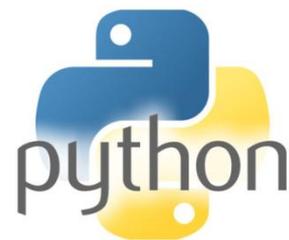


Програмния език управлява движението на основни кинематични възли и позициониране на изпълнителен механизъм в триизмерна координатна система. За коректните движения и позициониране е необходимо да се използва моушън контрол и едновременно движение на три стъпкови двигателя. Използвана е и друга програмна среда Python 3 показана на фиг. 3. Създаден е програмен код за движенията на фигурите по игралното поле и виртуален интелект за правилните ходове и развитието на играта. Средата е разработена в три варианта:

- Лесно – Среда създадена за начинаещи играчи и тренировка на малки деца.
- Средно – Любители на играта на шах.
- Трудно – Играчи и полупрофесионалисти.



Фиг.2 Среда за програмиране Arduino (IDE)



Фиг.3 Среда за програмиране Python 3

## 2. Алгоритъм на движение на обекта

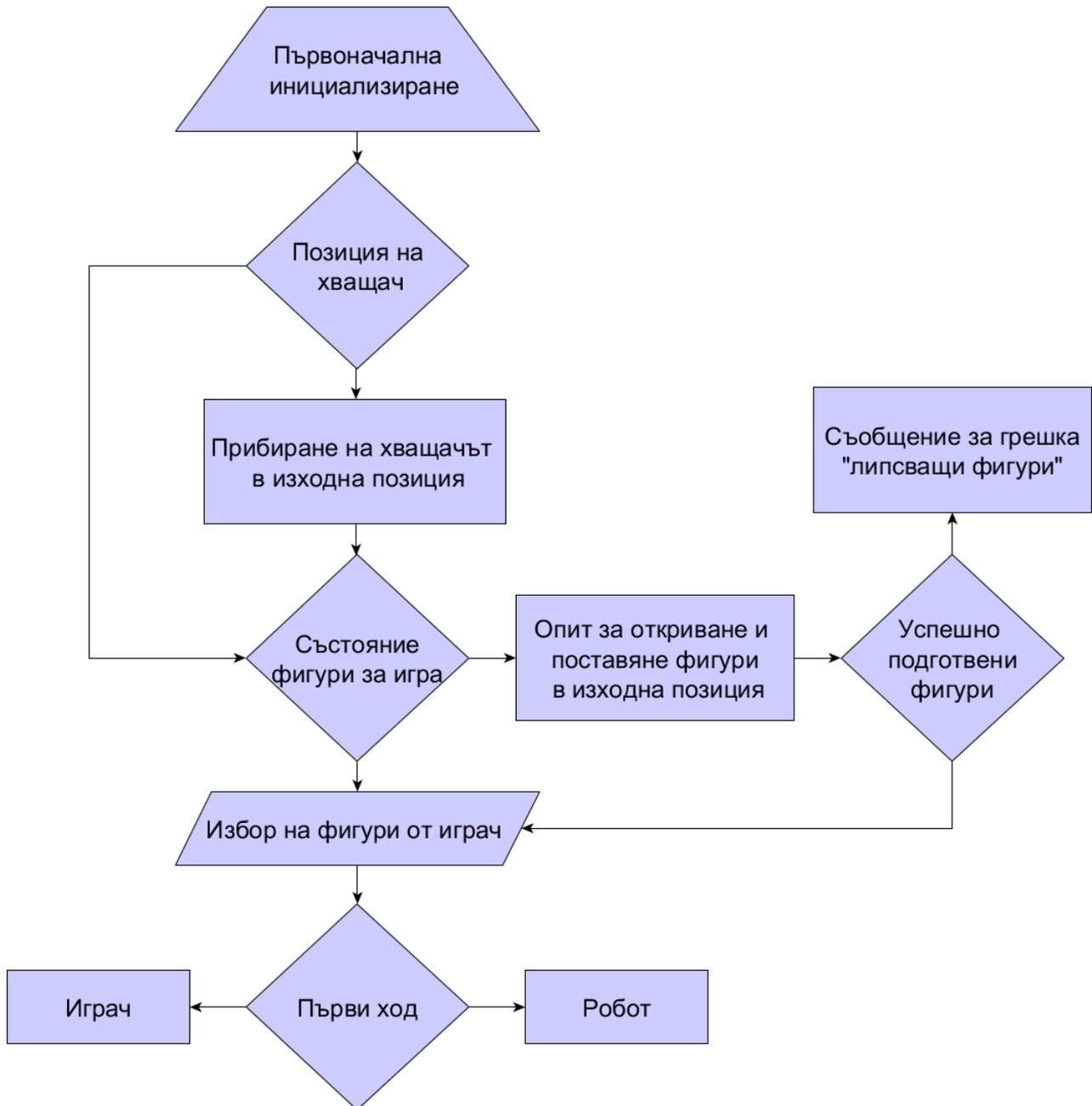
### 2.1. Принцип на работа

- При стартиране на системата рамената на делта робота се придвижват в крайно горно положение до достигане до краен изключвател.
- Подава се информация ръчно с какъв цвят фигури ще играе робота.
- Играта започва и робота се позиционира до съответните координати към избраната фигура.
- При достигане до нужните координати, робота прави бавно постъпателно движение до позицията за хващане в долната част на фигурата.
- Следва затваряне на специализиран челюстен хващач и изнасяне на фигурата от съответната позиция.
- След повдигане на изнесената фигура се подава сигнал от рид ампула, че тя вече не е на тази позиция.
- Следва придвижване до нова координата зададена от програмния код.
- При достигане до новата позиция, робота поставя изнесената фигура с бавно постъпателно движение.
- При правилно позициониране на изнесената фигура над рид ампулата, се подава сигнал към системата. Ако системата не е получила сигнал от рид ампулата, робота репозиционира фигурата втори път.



- При подаване на сигнал от рид ампула, робота се позиционира на координати безопасни за игра от човек.
- След преместване на фигура от човек се натиска бутон и робота отчита, че е негов ред и цикъла на работа се повтаря.

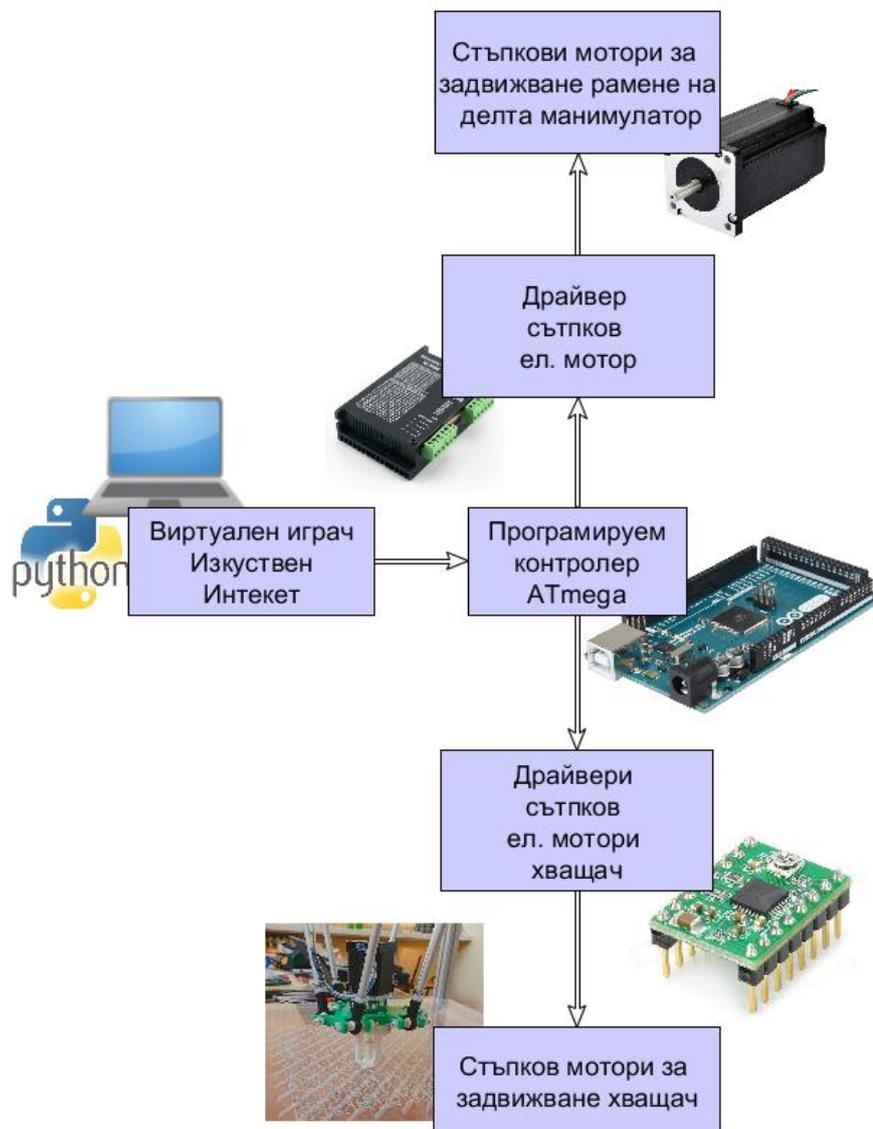
## 2.2. Блок схема на принципа на работа



Фиг.4 Блок схема

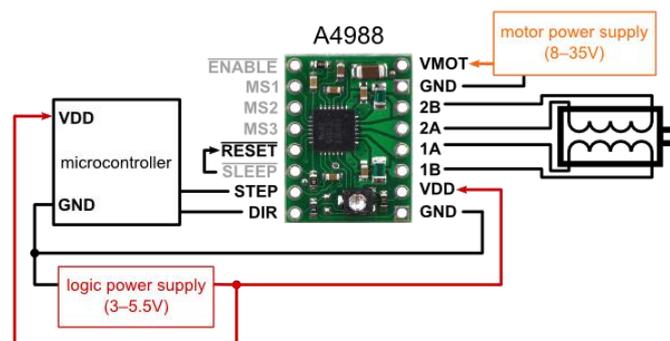
## 3. Схема на електрическата апаратура

### 3.1. Обща схема на реализирани връзки управление и ел. задвижване



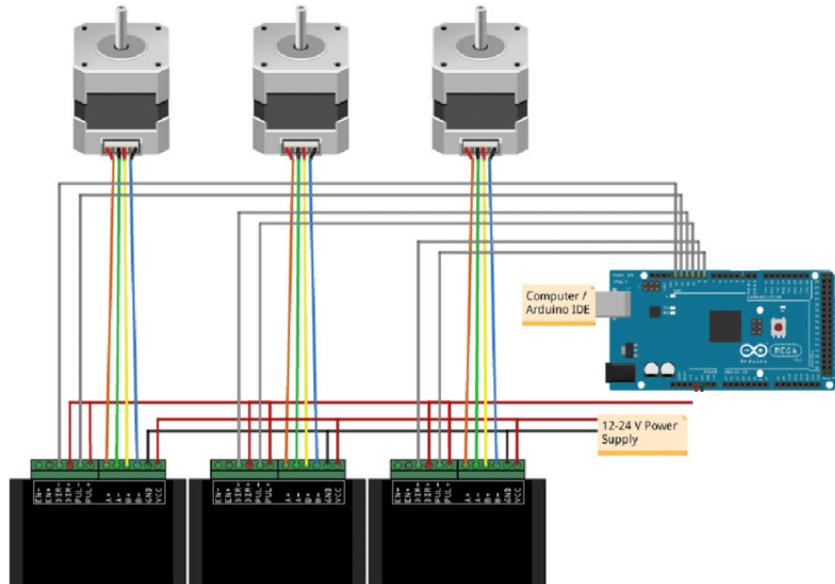
Фиг.5 Обща блокова схема

### 3.2 Схема на драйвер за специализиран хващач фиг.6



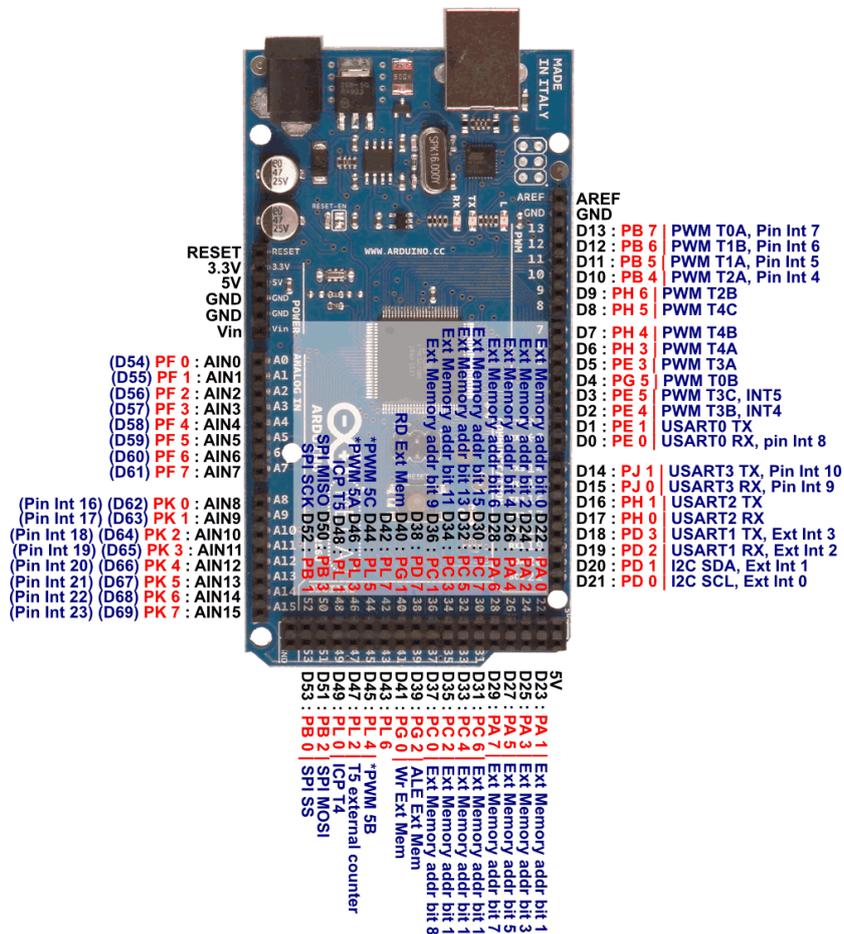
Фиг.6 Схема на свързване на драйвер за специализиран хващач

### 3.3. Схема на драйвер на стъпкови двигатели



Фиг.7 Електрическа схема на драйвер на двигатели

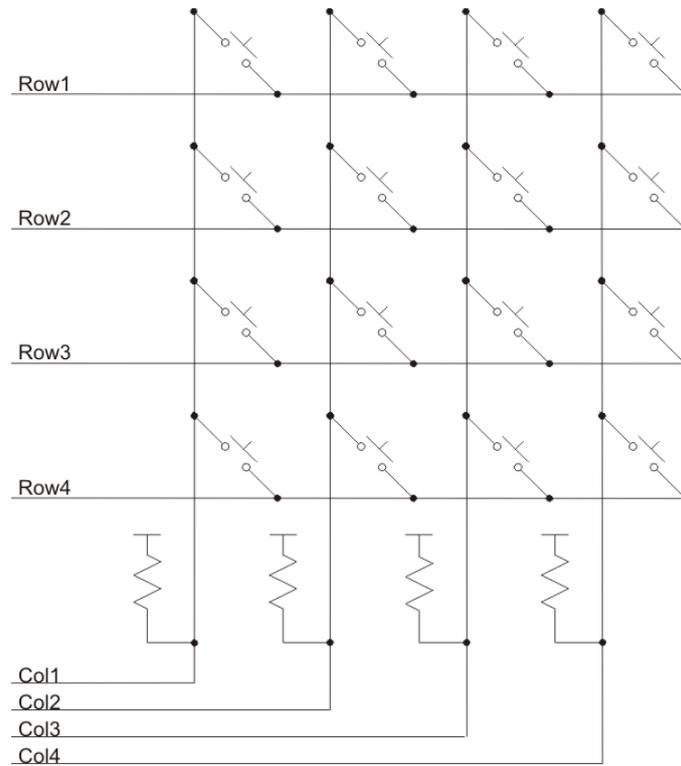
### 3.4 Схема на ардуино мега



Фиг.8 Електрическа схема на драйвер на двигатели



### 3.5 Схема примерна реализация сензори игрално поле фиг. 9



Фиг.9 Частична схема сензори игрално поле

## 4. Част от програмен код

### 4.1. Настройка на управляващи модули

```
#include <Stepper.h>
#include <Keypad.h>

//robot geometry
const float e = 149.0; // end effector
const float f = 242.8; // base
const float re = 480.0;
const float rf = 120.0;

// trigonometric constants
const float sqrt3 = sqrt(3.0);
const float pi = 3.141592653; // PI
const float sin120 = sqrt3/2.0;
const float cos120 = -0.5;
const float tan60 = sqrt3;
const float sin30 = 0.5;
const float tan30 = 1/sqrt3;

#define _HOME_SWITCH_A_PIN 8
#define _HOME_SWITCH_B_PIN 9
#define _HOME_SWITCH_C_PIN 10
```



```
const int stepsPerLimit = 1;  
const int stepsPerRevolution = 6400;  
  
const float degPerStep = 360.0/stepsPerRevolution;
```

### 5. Изводи:

- Проектирана е система за управление на АК за игра на шах.
- Описан е програмния код.
- Представени са блок схемите на различните компоненти.

### Литература:

1. Dimitrov S, Dimitrov L, Dimitrova R, Nikolov S, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps. Studies in Systems, decisions and control, 2019, v.199 502-514.
2. Димитрова Р., В. Павлов, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXIII, бр. 9/172, стр. (16-23), 2015 г.
3. Цолов С., Р. Димитрова, Проектиране на паралелен Delta робот, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (92-99).
4. Димитрова Р., Павлов В., Избор на стъпкови двигатели за работи при отворена схема на управление, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (128-134).
5. Цолов С., К. Йорданов, А. Йорданов, Проектиране на автоматизиран комплекс за игра на шах, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (182-187).
6. Господинов М., С. Димитрова, М. Церовски, Изработване и внедряване на автоматизиран комплекс за игра на шах, ”АДП 2019”, 2019 г., стр. (188-193).
7. Димитрова Р., Комплексна автоматизация на дискретното производство, Глава 13 – Проектиране и внедряване на автоматизиращи хранващи устройства, Издателство на ТУ, 2015 г.

## PROGRAMMING AND MANAGING AN AUTOMATED CHESS GAME COMPLEX

S. Dimitrov, Y. Stoyanov, D. Genchev

*Abstract: This article discusses the programming and management of the chess game AK. The aim is to decrypt the programming algorithm and program code for the correct operation of the newly designed AC.*

### Данни за авторите:

Слав Боянов Димитров, гл. ас. д-р, кат. АДП, МФ, ТУ-София, email: sbd@tu-sofia.bg

Йордан Боянов Стоянов, бак. инж., студент в кат. АДП, МФ, ТУ-София, специалност „Мехатроника“, email: yordan.stojanov@gmail.com

Доброслав Богданов Генчев, бак. инж., студент в кат. АДП, МФ, ТУ-София, специалност „Мехатроника“, email: dob.genchev@gmail.com



## ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ВИДОВЕ ТИКСО ЗА ОПАКОВЪЧНИ ПРОЦЕСИ

П. Панев

**Резюме:** В настоящата статия е разгледана общата структура на залепващи лепенки тип тиксо. Обърнато е внимание на видовете полимерни слоеве. Разгледани са видовете на лепилния слой. Анализирана е необходимостта от опаковане, като са отразени и факторите, влияещи при избора на опаковка за нуждите на потребителите. Направен е обзор и сравнителен анализ на трите основни типа тиксо. Избран е вариант на тиксо, необходим за индустриални опаковъчни процеси на базата на необходимите качества.

**Ключови думи:** материали, тиксо, автоматизация, машина, опаковка.

### 1. Въведение

Тиксото представлява самозалепваща лента, чиято структура се състои от няколко основни слоя. Първият основен слой е носещият (Backing material или carrier). Той може да бъде от различни видове полимерни, като Biaxial Oriented Poly Propylene (BOPP) в превод биаксиално ориентиран полипропилен, Oriented Poly Propylene OPP (еднопосочно ориентиран полипропилен), хартия или дори плат за някои специални тикса. От носещият слой се определя издръжливостта на тиксото към натоварвания. Тоест, колкото по-голяма дебелина има носещият слой, толкова по-тежки товари може да се опаковат със съответното тиксо. Тиксото, което се използва за индустриално и общо приложение най-често е на основата на BOPP. Не е препоръчително да се използва ниско качествено тиксо при отговорни приложения, поради ниската устойчивост в напречно и надлъжно направление, следствие на което тиксото се къса лесно и често още при поставянето или се отлепя след кратък период от време, наблюдава се най-често при тиксото произведено в някои азиатски страни и при ниско качествени марки [1, 2].

Другият основен слой в структурата на тиксото е лепилният слой. Лепилата, които се използват в производството на тиксо са много и различни видове и на различна основа. Най-общо може да се подредят в три категории:

- Лепило на основата на синтетичен каучук;
- Лепило на основата на естествен каучук;
- Лепило на водна основа.

Целта на статията е да бъдат анализирани видовете тиксо за използване в индустриални опаковъчни процеси

### 2. Необходимост от опакова

Опаковането заема голям дял от най-развитите индустрии в глобален мащаб. Широкият спектър на използване оказва влияние върху ежедневиия живот на потребители в световен мащаб. Ежедневиия избор на хората зависи от начините, по които са проектирани опаковките, произведени и представени на пазара. Опаковането помага на потребителите да вземат решения, да избират с какво да се хранят, как да се грижат за здравето си, как да изглеждат, какво да предпочетат да си купят.

Бързо развиващото потребителско общество принуждава производителите на опаковки да отговарят на растящите изисквания за качество и удобство. Освен потребителските изисквания, съществуват множество други фактори, влияещи върху начините, по които производителите на стоки, продукти, опаковки осъществяват своите текущи бизнес практики и бъдещи проекти.



Един от основните проблеми, въздействащи върху бъдещата визия на европейското опаковане, е нарастващият натиск за предоставяне на опаковъчни решения от екологични материали. В комбинацията от заталящото се европейско законодателство, климатичните промени и увеличаващата се екологична осъзнатост на потребителя, същият се превръща в главна движеща сила за опаковъчната индустрия. Изискванията на Европейският Съюз (ЕС) относно рециклирането на опаковъчните материали подканва правителствата да работят в тясна колаборация с производители, търговията на дребно, за да помогнат да се справят със строгите правила [2, 3, 4, 5, 6, 7].

### **3. Сравнителни характеристики на видове опаковъчно тиксо**

Направена е сравнителна характеристика сред три основни вида опаковъчно тиксо, разпространени на българския пазар.

#### **3.1. Акрилно тиксо.**

Акрилните самозалепващи ленти са най-разпространените на българския пазар (фиг. 1.). Пазарът преобладаващо е от нискокачествени акрилни, внесени от Китай, Индия, Индонезия и/или други азиатски държави. Българските потребители са изправени пред трудности при търсенето на акрилно тиксо, произведено в Европа. Най-същественото предимство на този тип тиксо е конкурентната му ниска цена. Характерните черти за нискокачествено тиксо са ниските цени. Има твърдения, че в България също се произвежда акрилно тиксо, но до момента не се намират на пазара. За производители се смятат компании, които само нарязват тиксото на малки ленти, а суровина е внесена от Азия на големи ролки (Jumbo Rolls). Недостатъци този тип опаковъчни ленти са: слаба адхезия, ниска издръжливост при намокряне, неприятен мирис. Нискокачествените варианти, с намалена дебелина подлежат на лесно скъсване на лентата и трудна адхезия при ниски температури. Използва се при неотговорни приложения, не се препоръчва употребата му за затваряне на кашони и индустриални приложения [1, 2, 3, 8].

#### **3.2. Солвент тиксо.**

Разпознава се като втората широко разпространена група самозалепващи ленти на пазара. Характерно за този тип е високо качество, отлични лепилни свойства, голям работен температурен диапазон. Широко разпространени сред опаковките за хранителната индустрия. Пазарният дял този тип тиксо е сепариран между местни производители и вносители от Западна Европа и Азия. Пазарът предлага богат избор солвент тиксо. Някои по-качествени типове тиксо са произведени от водещи европейски производители, а други произведени в Азия. Солвент тиксото е на основата на естествен каучук. Основен недостатък на този тип тиксо е сравнително високата им цена. Пазарът предлага вариации между от солвент тиксо както за леки, така и за тежки товари. Препоръчва се използването му при температурен диапазон 5÷30 °С. Може да бъде използвано при отговорни приложения, за износ, в индустрията и други [1, 2, 3, 8].

#### **3.3. Хотмелт тиксо.**

Това е сравнително нов вид тиксо, което е базирано на изкуствените каучуци. Предлага синергия от балансиранни свойства, конкурентноспособни на пазара. Може да бъде приложено при затваряне на малки, до средно тежки кашони, непромазани кашони. Притежава добри лепилни свойства върху хартия. Хотмелт тиксото е на основата на синтетичен каучук. Върху дърво и стъкло не може да бъде прилагано с успех. Икономично изгодно е в сравнение със солвент тиксото, при някои специфични приложения. Най-често се използва в хранителната индустрия. Препоръчително е използването му при стайна температура от порядъка на 15÷25 °С [1, 2, 3, 8].


**Фиг. 1. Акрилно тиксо**

**Фиг. 2. Солвент тиксо**

**Фиг. 3. Хотмелт тиксо**

#### 4. Избор на опаковъчно тиксо

За нуждите на опаковките за производство на тръбна мебел, е нужно опаковъчно тиксо да издържа и съхранява продукти в екстремни температурни условия (от -25 °С до 65 °С) и среда с висока влажност. Необходимо е да притежава отлична сила на залепване и много добра първоначална адхезия, дори върху рециклирани кашони [9].

Техническите характеристики на опаковъчно тиксо солвент са: материал ВОРР с лепило солвент (естествен каучук); Обща дебелина (включително лепилния слой): 44 μm; Издръжливост на опън: 45 N/cm; Разтегливост: 120%; Цвят: прозрачен. Приложение: ръчно и машинно опаковане на средно-тежки кашони.

За нуждите на опаковъчните процеси за опаковане и запечатване на опаковки налага избора на тиксо да бъде с лепило на основата на синтетичен или естествен каучук. Тиксото с синтетичен каучук е с по-висока цена от около 10-20% сравнение с това на водна основа. Често срещан проблем е доставка на завишени цени, неосведоменост за произхода на тиксото, неговото качество и други. Поради тази причина е направена качествена сравнителна характеристика по 9 показателя, показани на таблица 1 [10].

**Таблица 1. Качествени показатели на тиксо.**

<b>Критерии</b>	<b>Синтетичен каучук</b>	<b>Естествен каучук</b>
Издръжливост на стайна температура	***	***
Издръжливост на отрицателни температури	***	***
Издръжливост на опън	***	***
Издръжливост на тежки товари	***	***
Сила на залепяне	**	***
Залепяне върху трудни повърхности	**	***
Залепяне върху хартия/кашони	***	**
Залепяне при отрицателни температури	*	***
Цена	**	*

#### 5. Заключение

Като заключение от направения сравнителен анализ на видове тиксо за използване в индустриални опаковъчни процеси, може да се отбележи, че тиксото на основа на синтетичен каучук е с по-добри свойства, сравнено с това на основата на естествен каучук при употреба за залепяне на малки кашони.

Солвент тиксото е по-добро при залепяне върху трудни повърхности и при потговорни приложения (нагънати тръби/повърхности и някои видове пластмаси). През зимните месеци е препоръчително да се използва солвент тиксо, на основата на естествен каучук.



Хотмелт тиксото е желан продукт заради отличните си показатели и балансирана цена. Започва да се размеква при температури над 40 °С, което го прави неподходящо за употреба при дълго слънцегреене и висока температура.

Положителна страна е, че може да донесе значителни икономии при правилно използване. Тиксото със синтетичен каучук може да се използва за продукти, които подлежат на замразяване.

Двата вида тиксо са предпочитани поради липса на характерната за акрилните ленти неприятна миризма.

За нуждите на опаковане и запечатване на опаковки [9] се използват и двата вида тиксо, в зависимост от околната температура. Тиксо Солвент се използва от Април до Септември с околна температура 5÷30 °С. Тиксо Хотмелт се използва през по студентите месеци от Октомври до Април при температура 15÷25 °С. Този начин на подбор е икономически по-изгоден за производството.

### Благодарности

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепа по линия на средства за редовни докторанти – 2019 г.

### Литература:

1. Видове опаковки <https://www.packit.bg/vidove-opakovachni-materiali.html> (посетен април 2018 г.)
2. МАКСЕТ <https://www.makset.eu> (посетен април 2018 г.)
3. Интелигентно европейско опаковане - ProPack <https://propackmagazine.bg> (посетен април 2018 г.)
4. Stoimenov N., Karastoyanov D., Klochkov L., Study of the Factors Increasing the Quality and Productivity of Drum, Rod and Ball mills, 2nd Int. Conf. on Environment, Chemical Engineering & Materials, ECEM '18, Malta Sliema, June 22-24, 2018, AIP (American Institute of Physics) Publishing house, Vol. 2022, Issue 1, ISBN: 978-0-7354-1740-3, pp. 020024-1 - 020024-6 (2018)
5. Клочков Л., В. Георгиева, „Автоматични машини и линии за опаковане“, Комплексна автоматизация на дискретното производство, 45г. АДП, под общата редакция на проф. д-р Иво Малаков и доц. д-р Стилян Николов, Глава 8, стр. 154-177, ТУ-София (2015)
6. Митев М., Л. Клочков, „Възможности за автоматизиране на монтажните операции при опаковане на шоколадови бонбони“, XXI МНТК, Автоматизация на дискретното производство „АДП – 2012”, 20-23 Юни, Созопол 2012г., стр. 330-340, ISSN – 13 10 -3946 (2012)
7. Илиева, Р., Л. Клочков. „Резерви за повишаване производителността на автоматична опаковъчна машина“, Тринадесета национална научно-техническа конференция с международно участие “Автоматизация на дискретното производство” АДП 2004. Научни известия на НТС по машиностроене, год. XI, бр. 10 (78), София, октомври 2004, с. с. 389-394 , ISSN – 13 10 -3946 (2004)
8. Видове тиксо <http://tikso.bg> (посетен април 2018 г.)
9. П. Панев, Методи и средства за иновативно опаковане и запечатване на опаковки, International Conference RAM 2018, July 24-26, 2018, Sofia, pp. 56-60, ISSN 1314-4634.
10. Солвент и Хотмелт тиксо <https://tikso.bg>



STUDY AND ANALYSIS OF SCOTCH TAPE SPECIES FOR PACKAGING PROCESSES

P. Panev

***Abstract:** This paper discusses the overall structure of adhesive scotch tape types. Attention is paid to the variations of polymer layers. The types of adhesive layers are examined. The need for packaging is analyzed, reflecting the factors influencing to the choice of packaging for the needs of the customers. An overview and comparative analysis of the three main types of tape is made. A tape variant is chosen for industrial packaging processes based on the required qualities.*

**Данни за автора:**

Петър Панев, маг. инж., докторант в ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 2, 1113 – София, Р. България, e-mail: [panevv@gmail.com](mailto:panevv@gmail.com)



## АВТОМАТИЧНА МАШИНА ЗА БЪРЗО АСЕМБЛИРАНЕ НА ОСНОВИ ЗА ДАТЧИЦИ

В. Ценев

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани създаването, настройката, пускането в експлоатация и измерените параметри на автоматична машина за бързо асемблиране на основи за датчици. Машината е създадена на база работата на конвейер за асемблиране на основи с оператори, подобряване на конвейера чрез въвеждане на тактуването му и използването на автоматични преси за затваряне. След оптимизирането му с използване на правилата за едноелементен поток на Toyota и „Подредено производство – Lean manufacturing” се стигна до дизайн на цялостна машина, обслужвана от един оператор. Работата на машината е последователно-паралелна, но е постигнато циклично време, по-добро от цикличното време за работа на конвейера, благодарение на което е намален работния цикъл (подобрен е производителността). Направени са изводи относно производителност, цена на процеса, време за изкупуване на инвестицията и качество. Обсъдена е възможност за бъдещо имплементиране на нови функционалности в машината – автоматичен контрол, подаване на компонентите и опаковка. Автоматичната машина за бързо асемблиране на основи за датчици е внедрена като работен център за сглобяване на основи за датчици във фирма „УниПОС“ ООД, Плевен.

**Ключови думи:** вибробункер, вибрационен фидер, автоматичен контрол, циклично време, производителност.

### 1. Въведение

В днешно време автоматизацията на производството няма алтернатива относно постигане на ниска цена при високо качество, което вече е заложено и в стандарта INDUSTRY 4.0 [1]. Използвайки метода „Подредено производство – Lean manufacturing” [2, 3], автоматизацията е все по-пълна и производството е независимо от човека. Така бързо и евтино се изпълняваха условията за едноелементен поток на TOYOTA [4, 5], който осигурява предсказуемо и качествено производство.

След 1980 г. се развиха силно автоматичните технологии за монтиране на електронни компоненти, каквото е SMT (повърхностен монтаж), които се изучават широко в университетите [6]. Един от пътищата за автоматизация монтирането на нестандартни компоненти е чрез адаптация на подаващи устройства към стандартни машини за монтаж, каквито са SMT [7]. Друг използван начин е да се създадат подобни на стандартните машини, но за триизмерен монтаж на специализирани компоненти [8]. Много често вече се създават и специализирани машини за автоматичен монтаж [9].

В конкретния случай по създаването на автоматична машина за бързо асемблиране на основи за датчици беше използван опита и резултатите от ориентиране, сепарация и подаване на специални електрически контакти (клеми) на машина, на която се нарязваше автоматично резба на същите клеми [10].

### 2. Автоматична машина за бързо асемблиране на основи за датчици

На фиг. 1. е показана автоматична машина за бързо асемблиране на основи за датчици.



Фиг. 1. Снимки от автоматична машина за бързо асемблиране на основи за датчици

Машината се състои от:

1. Два вибробункера, които ориентират и подават клемите
2. Два вибробункера, които ориентират и подават винтовете с шайби
3. Три двойни линейни вибрационни фидера, които подават съответно клемите, винтове с шайби и монтирани клемите с винтове с шайби
4. Четири двойки манипулатори, които пренасят съответно клемите, винтове с шайби и монтирани клемите с винтове с шайби до пластмасовото тяло
5. Въртяща се маса, на която става завиване на винтове с шайби към клемите
6. Две автоматични отверки, които завиват винтове с шайби към клемите
7. Една преса за фиксиране на клемите с винтове с шайби към пластмасово тяло
8. Тампон принтер за надписване на основите
9. Контролери за управление на машината
10. Предпазни инфрачервени завеси
11. Пускови бутони

Управлението на вибробункерите е амплитудно-честотно, а на линейните вибрационни фидери – фазово.

Цялата машина се управлява от няколко свързани контролера, които синхронизират работата на модулите и контролират много параметри, като брой обороти за завиване на винтовете с шайби, много геометрични премествания и буферите с компоненти.

### 3. Резултати

След настройка на синхронизацията на автоматичната машина за бързо асемблиране на основи за датчици и оптимизацията и се получиха резултатите, показани в таблица 1.



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

Таблица 1. Сравнителни резултати от работата на машината за основи на датчици

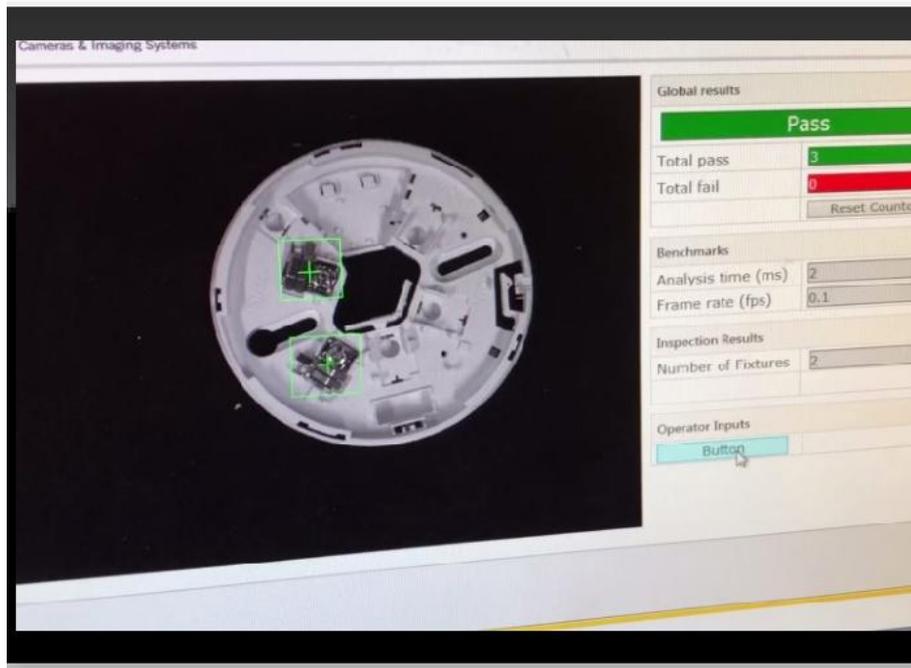
Производствена линия	Циклично време, с	Производителност, бр./смяна	Операторско време, мин./бр.	Ремонт, %
Ръчно сглобяване на основи	60	480	2	5,1
Конвейерно сглобяване на основи	16	1800	1,6	2,2
Тактуван конвейер	12	2400	1,2	1,8
Машина за автоматично асемблиране на основи	10	2880	0,17	0,4

Сравнени са резултатите от всички видове асемблиране на основи за датчици, които са използвани.

За изплащането на инвестицията се получи срок от 1 година, който се потвърди от реалното използване на автоматичната машина за бързо асемблиране на основи за датчици.

#### 4. Изводи

- Създаването на автоматична машина за бързо асемблиране на основи за датчици е възможно.
- Намалена е 3 пъти използваната производствена площ.
- Добавянето на функционалността тампонно маркиране не забавя работата на машината, защото работи в паралел и е с по-малко циклично време.
- Времето за изкупуване на инвестицията е кратка и не рискова – 1 година.
- Икономическите резултати са значителни – намаляване на труда със 89%.
- Подобряването на качеството над 5 пъти.
- Значително увеличена е сигурността на работа, защото е напълно контролирана и предсказуема.
- Планирането е стабилно и напълно изпълнимо.
- Елиминирана беше опасността от получаване на травми в изпълнителите.
- Качеството на основите беше изключително добро и устойчиво.
- Има възможности за допълнително добавяне на функционалности (видео контрол на крайното изделие (фиг. 2.), автоматично подаване на компонентите и опаковане на готовите изделия), които ще доведат до нула дефекти и самостоятелна работа на машината.
- Клиентите бяха напълно удовлетворени и доволни.



Фиг. 2. Автоматичен контрол на наличността на всички компоненти

### Литература:

1. Thorsten Buchta, Siemens, “Digital Enterprise Suite for Electronics Industry”, Silicon Valley, i4.0 Today, 2018.
2. Валентин Цанев, „Подредено производство” (Lean manufacturing) за повишаване ефективността на конвейерно машинно електронно производство в условия на Тотално управление на качеството(ТУК)”, SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE INNOVATIONS IN ENGINEERING , Varna, Bulgaria, September 2015 , p. 67-70 , ISSN 1310-3946 .
3. Валентин Цанев, „Прилагане на метода „Подредено производство“ (Lean Manufacturing) за повишаване ефективността на дискретно електронно производство в условията на Тотално управление на качеството (ТУК)“, XXV ННСМУ „Метрология и Метрологично Осигуряване 2015“, Созопол, България, септември 2015, септември 2015, Доклади от 25 национален научен симпозиум с международно участие, стр. 567-570 . ISSN 1313-9126 .
4. Джефри К. Лайкър, „Пътят на Toyota – 14 управленски принципа от най-големия производител в света“, 2005, ISBN 954-9335-03-8 .
5. Джефри К. Лайкър&Дейвид Майер, „По пътя на Toyota–Практическо ръководство за внедряване модела 4П на Toyota”, 2006, ISBN 978-954-9335-08-8
6. Paul Svasta, Norocel Codreanu, C. Ionescu, V. Golumbeanu, Electronic packaging and interconnection techniques, education at university level-a Romanian experience, Proceedings - Electronic Components and Technology Conference · February 2001 DOI: 10.1109/ECTC.2001.927995 · Source: IEEE Xplore
7. Валентин Цанев, „АВТОМАТИЧНО МОНТИРАНЕ НА СПЕЦИАЛНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КОНТАКТИ ЧРЕЗ SMD ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО И НАДЕЖДНОСТТА НА ДИМНИ ДЕТЕКТОРИ“, XXVI Национален научен симпозиум с международно участие „Метрология и Метрологично Осигуряване 2016“, Септември 2016, Созопол, България, стр.422 - 426. ISSN 1313-9126 .



8. Valentin Tsenev, Filip Filipov, Irina Petrova, “Method for improvement quality of mechanical assembly of precise electrical contacts”, ISSE 2006, Dresden, Germany, May 2006, Proceedings of the conference, p. 257-261. ISBN 9786197066159 .
9. Валентин Ценев, „АВТОМАТИЗИРАНО АСЕМБЛИРАНЕ НА КАМЕРА ЗА ДИМЕН ДЕТЕКТОР“, XXV МНТК „АДП-2016”, Юни 2016, Созопол, България, стр.222-225 . ISSN - 1310 -3946 .
10. Валентин Ценев, „АВТОМАТИЗИРАНО НАРЯЗВАНЕ НА РЕЗБА НА СПЕЦИАЛЕН ЕЛЕКТРИЧЕСКИ КОНТАКТ ЗА ДИМНИ ДЕТЕКТОРИ“, XXV МНТК „АДП-2016”, Юни 2016, Созопол, България, стр.141-144 . ISSN - 1310 - 3946 .

### AUTOMATIC MACHINE FOR QUICK ASSEMBLY OF SENSOR BASES

V. Tsenev

**Abstract:** *This paper discusses the creation, tuning, commissioning and measurement of an automatic machine for quick assembling of sensor bases. The machine was built on the basis of a conveyor assembly for assembling the bases with operators, improving the conveyor by entering its timing and using automatic closing presses. After optimizing it using Toyota's single-flow rules and Lean manufacturing, a complete single-operator machine was designed. Conclusions were made on productivity, cost of the process, a time to buy the investment and quality. We discussed the possibility of future implementation of new functionalities in the machine - automatic control, supply of components and packaging. The automatic machine for quick assembling of sensor bases is implemented as a work center for assembling of sensor bases in the company UniPOS Ltd., Pleven.*

**Данни за автора:**

Валентин Петров Ценев, Гл. ас., доктор, инж., Колеж по Енергетика и Електроника в ТУ-София, Директор нови технологии в „УниПОС“ ООД, Р. България, гр. Плевен, ул. “Сан Стефано” № 47, тел.: +359 888 006604, e-mail: valio@unipos-bg.net



# АВТОМАТИЧНО МАРКИРАНЕ НА ИЗДЕЛИЯ В РОБОТЕН КОМПЛЕКС ЗА АСЕМБЛИРАНЕ НА ДАТЧИЦИ

В. Ценев

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани създаването, настройката, пускането в експлоатация и измерените параметри на модул за автоматично лазерно маркиране на изделия в роботен комплекс за асемблиране на датчици. Създадено е динамично синхронно управление на маркиращия модул чрез имплементирането му в трироботен комплекс за сглобяване на датчици. Определена е главната му роля - създаване на марка за годеен датчик и възможност за присвояване на уникален номер на изделието, чрез компютърно гъвкаво управление. Работата на маркиращия модул е паралелна в цялостната работа на комплекса и е постигнато циклично време, съизмеримо с цикличното време за работа на комплекса, благодарение на което не е променен работния цикъл (запазена е производителността). Направени са изводи относно производителност, цена на процеса и време за изкупуване на инвестицията. Създадена е възможност за бъдещо имплементиране на нови функционалности в комплекса – автоматично тестване и автоматично опаковане. Маркиращия модул е внедрен в роботен комплекс за сглобяване на датчици във фирма „УниПОС“ ООД, Плевен.

**Ключови думи:** робот, комплекс, лазерно маркиране, циклично време, производителност.

## 1. Въведение

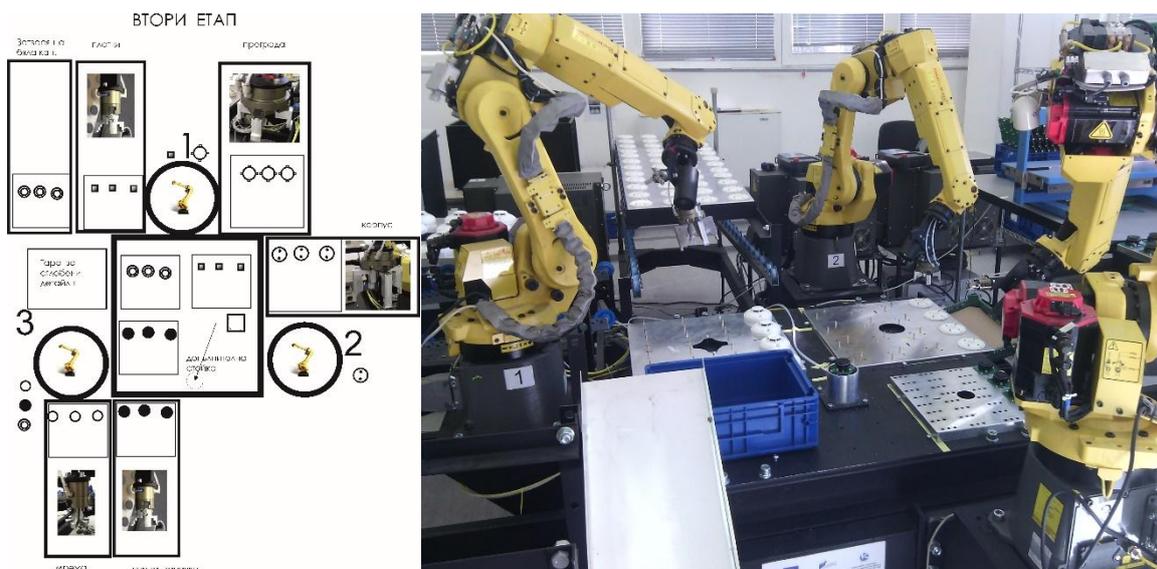
Роботното сглобяване намира все повече приложение в автоматизацията на производството [1], защото е гъвкаво, с възможности за подобрение и евтино. Появата на колаборационните работи [2] още повече увеличи използването им. Използвайки метода „Подредено производство – Lean manufacturing” [3, 4], роботите се интегрираха в комплекси за сглобяване [5], в които автоматизацията е пълна и производството е независима от човека. Така бързо и евтино се изпълняваха условията за едноелементен поток на TOYOTA [6, 7], който осигурява предсказуемо и качествено производство.

За да има проследимост и сигурност на производство се използва маркиране на изделията. Все повече маркирането се изпълнява чрез лазерно гравироване [8], което е бързо, качествено и евтино. То позволява гъвкаво управление, което е синхронизирано с работата на роботния комплекс и позволява автоматично изпълнение на всички изисквания към номериране на произвежданите продукти. Здравата маркировка се използва и като марка за “Годеен”. Тя е основната потребителска информация и затова трябва да е устойчива във времето, удобна за използване и дълготрайно четима.

Описаната система отговаря на условията за изпълнение на INDUSTRY 4.0 [9], което е безусловно условие за модерно производство с бъдещо развитие.

## 2. Роботен комплекс с интегриран модул за автоматично лазерно маркиране

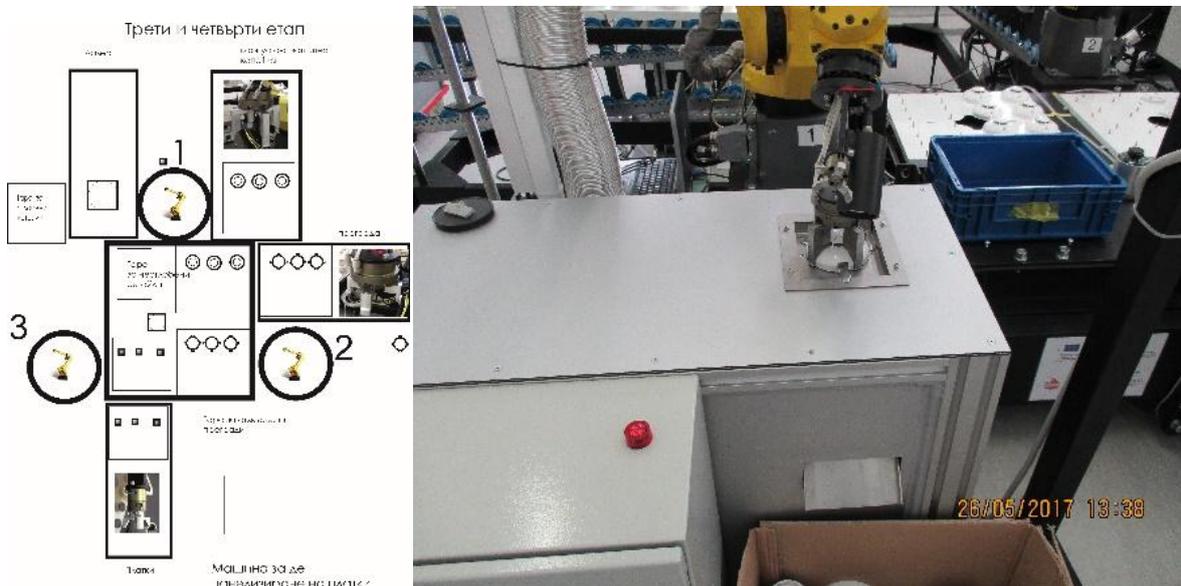
На фиг. 1. е показана схема и снимка на роботен комплекс за монтиране на датчици с работи на фирмата FANUC [10].



**Фиг. 1. Схема и снимка на роботизиран комплекс за монтиране на датчици**

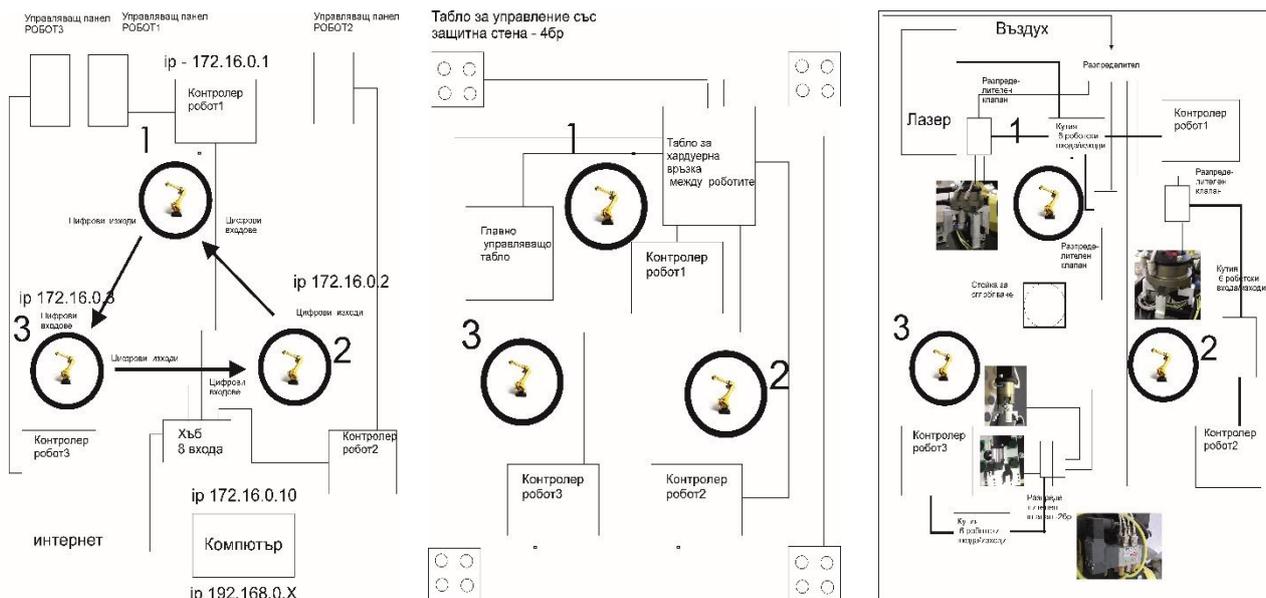
Комплексът се състои от три робота, които работят синхронизирано за цялостното сглобяване на датчици. Последователността на сглобяване е пренасяне на функционален електронен модул до мястото за сглобяване (робот 3), монтиране на функционален електронен модул към корпус (робот 1), монтиране на заден затварящ капак (роботи 1 и 2) и пренасяне на монтирания датчик към изхода (робот 1).

Към така описания комплекс беше създаден и добавен маркиращ автоматичен лазерен модул, което е показано на фиг.2.



**Фиг. 2. Автоматичен маркиращ лазерен модул**

На фиг. 3. са показани функционалните схеми на роботния комплекс, към които беше присъединено и синхронното управление на автоматичния лазерен маркиращ модул.



**Фиг. 3. Функционални схеми на роботен комплекс с модул за маркиране**

### 3. Резултати

Робот 1 беше пренастроен да поставя сглобения датчик върху лазерния маркиращ модул, както е показано на снимката на фиг. 2.

След настройка на синхронизацията на маркиращия модул с работата на роботния комплекс се получи резултатите, показани в таблица 1.

**Таблица 1. Резултати при различните видове сглобяване на датчици**

Производствена линия	Циклично време, с	Производителност, бр./смяна	Операторско време, мин./бр.	Ремонт, %
Ръчно сглобяване	18	1600	3,6	11,8
Конвейерно сглобяване	12	2400	1,8	5,2
Тактуван конвейер	11	2600	0,73	0,57
Машинен конвейер	10	2880	0,67	0,42
Роботен комплекс	10	2880	0,33	0,1
Роботен комплекс и маркиране	10	2880	0,08	0,04

Сравнени са резултатите от всички видове сглобяване на датчици, които са използвани.

За изплащането на инвестицията се получи срок от 0,8 години, който се потвърди от реалното използване на автоматичния маркиращ лазерен модул.



### 4. Изводи:

- Внедряването на автоматичен маркиращ лазерен модул в работен комплекс за сглобяване на датчици е възможен.
- Динамичната синхронизация е изпълнима след използване на аналоговите и цифрови входове/изходи на работния комплекс, роботите и контролера на маркиращия модул.
- Добавянето на функционалността маркиране не забавя работата на комплекса, защото работи в паралел с него и е със съизмеримо циклично време.
- Времето за изкупуване на инвестицията е кратка и не рискова – 0,8 години.
- Икономическите резултати са значителни – намаляване на труда със 76%.
- Подобряването на качеството е с 60%.
- Значително увеличена е сигурността на работа, защото е напълно предсказуема.
- Планирането е стабилно и напълно изпълнимо.
- Грешките от немаркиран модул и повтарящ се или липсващ номер бяха сведени до нула, което направи стабилна логистиката.
- Качеството на маркиране беше изключително добро и устойчиво.
- Клиентите бяха напълно удовлетворени и доволни.

### Литература:

1. Alexandrov M., K.Fillyov, K.Batev, T.Neschkov, T.Takov: Robotic Assembling of Integrated Circuits Applicable for SME., IFAC-MIM 2000 Symposium on Manufacturing, Modeling, Management and Control, Rio, Patras, Greece, 12-14 July 2000,FP1-4, pp.498-502.
2. <https://www.universal-robots.com/products/>
3. Валентин Цанев, „ПОДРЕДЕНО ПРОИЗВОДСТВО ЗА ПОВИШАВАНЕ ЕФЕКТИВНОСТТА НА РОБОТИЗИРАНО ЕЛЕКТРОННО ПРОИЗВОДСТВО В УСЛОВИЯ НА ТОТАЛНО УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВОТО (ТУК)“, International Conference AUTOMATICS AND INFORMATICS’15, October 2015, Sofia, Bulgaria, p. 147-149 . ISSN 1313-1850 .
4. Валентин Цанев, „Прилагане на метода „Подредено производство“ (Lean Manufacturing) за повишаване ефективността на дискретно електронно производство в условията на Тотално управление на качеството (ТУК)“, XXV ННСМУ „Метрология и Метрологично Осигуряване 2015“, Созопол, България, септември 2015, септември 2015, Доклади от 25 национален научен симпозиум с международно участие, стр. 567-570 . ISSN 1313-9126 .
5. [uniposems.com/bg/protsesi/robots/](http://uniposems.com/bg/protsesi/robots/)
6. Джефри К. Лайкър, „Пътят на Toyota – 14 управленски принципа от най-големия производител в света“, 2005, ISBN 954-9335-03-8 .
7. Джефри К. Лайкър&Дейвид Майер, „По пътя на Toyota – Практическо ръководство за внедряване модела 4П на Toyota“, 2006, ISBN 978-954-9335-08-8
8. <https://www.neona.com/bg/category/26>
9. Esben Østergaard, CTO and co-founder, Universal Robots, “The “human touch” revolution is now under way”, i4.0 Today, 2018.
10. FANUC robot M-10iA 10S (2013).



**AUTOMATIC MARKING OF PRODUCTS IN A ROBOT COMPLEX FOR ASSEMBLY OF SENSORS**

**V. Tsenev**

***Abstract:** This paper discusses the creation, tuning, commissioning and measurement of a module for automatic laser marking of products in a robot assembly complex for sensors. Dynamic synchronous control of the marker module was created by implementing it in a three-robots assembly complex for sensors. Conclusions were made on productivity, cost of the process and time to return of investment (ROI). An opportunity has been created for the future implementation of new functionalities in the complex - automatic testing and automatic packaging. The laser marking module is implemented in a robot complex for the assembling of sensors at "UniPOS" Ltd., Pleven.*

**Данни за автора:**

Валентин Петров Ценев, Гл. ас., доктор, инж., Колеж по Енергетика и Електроника в ТУ-София, Директор нови технологии в „УниПОС“ ООД, Р. България, гр. Плевен, ул. “Сан Стефано” № 47, тел.: +359 888 006604, e-mail: valio@unipos-bg.net





**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 6**

**“МЕХАТРОНИКА”**



# STUDY THE LATERAL STABILITY OF UNMANNED AERIAL VEHICLE USING VIRTUAL WIND TUNNEL

S. Biliderov, J. Stanchev

**Abstract:** *This paper explores the lateral stability of a developed unmanned aircraft. The behavior of the aerodynamic coefficients involved in the isolated lateral movement is examined. The root-locus position and its influence on the short-period and long-period term movement is shown. The results of the study are used to create an automatic control system for small-size unmanned aerial vehicle.*

**Key words:** mini unmanned aircraft (MUAV), virtual aerodynamic tunnel, lateral stability, automatic control system (autopilot).

## 1. Introduction

Presently, unmanned aircraft are developing with a tremendous speed [1], each of their modifications having its own construction [12], aim and architecture [2]. Their application areas do not currently have any visible limitations and it is according to their classification [4]. They have a wide range of application, from crisis management of non-military character [5] to purely military use [8].

Copter schemes are becoming more and more used when creating missions for drones. This is the reason why more and more research is being done on these schemes [7].

In general, the MUAVs construction in airplane scheme design is made from profiles that have to be properly investigated [11]. For the UAVs control purposes, it is necessary to create a complete nonlinear mathematical model of motion [6], which includes the experimentally determined aerodynamic characteristics [10].

In terms of this research, the virtual aerodynamic tunnel of the XFLR5 is especially suitable for reducing costs and uncertainties in setting up an MUAV.

## 2. Staging of the study

The lateral movement of MUAV is particularly interesting from the point of view of its controllability. This movement involves not only the angular position of the MUAV in space but also the lateral displacement of its mass center. Through this movement the UAV course is controlled. For flight safety, it is particularly important to control the glide angle.

For the purposes of the study, it is assumed that MUAV is a rigid body object. The lateral movement is seen as isolated [9]. This means that the parameters of the longitudinal movement [3] (flight velocity; altitude; angle of attack; trajectory angle; angular velocity on the lateral axis) are assumed to be constant.

The studies were performed at statically balanced MUAV. The staging of the conducted study in the virtual software environment is shown in Fig.1 [15].

In Fig. 2 are shown the aerodynamic coefficients of the parameters involved in the lateral movement. These are: the moment along the longitudinal axis with a coefficient –  $c_l$  ( $m_y$ ); the moment along the vertical axis with a coefficient –  $c_n$  ( $m_z$ ); side force with a coefficient –  $C_y$  ( $F_z$ ).

On the graphs in Fig. 2 it can be seen that forces and moments are opposed to an increase in sliding angle. In this way it is established that MUAV is resistant to lateral movement.

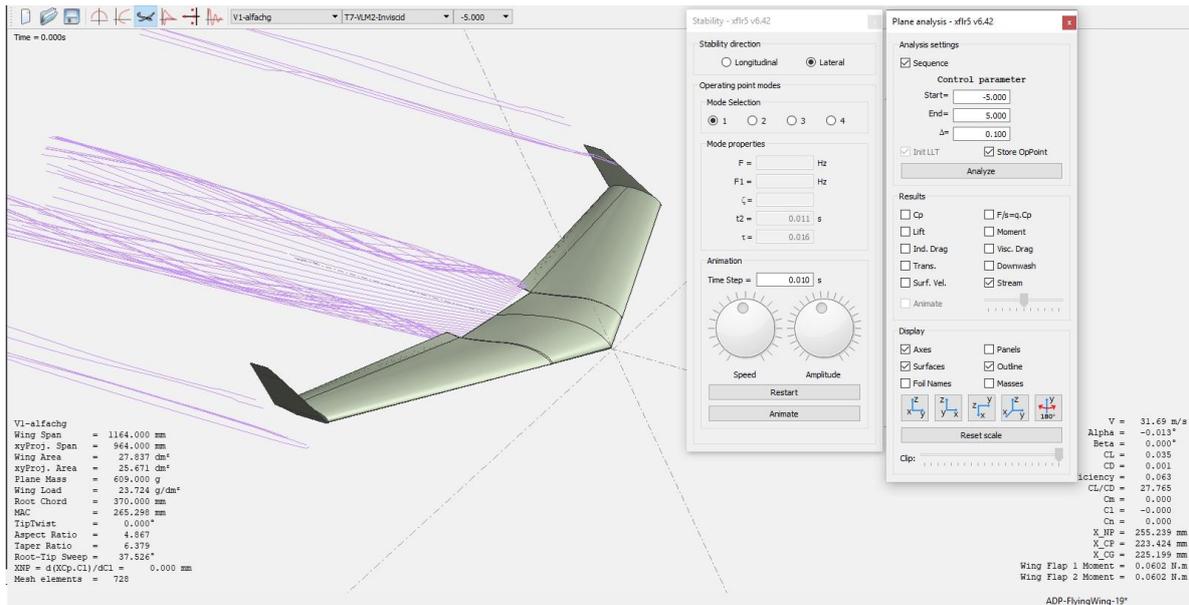


Fig.1 Staging the study in the environment of the virtual aerodynamic tunnel of XFLR5

### 3. Investigation of the lateral stability of the MUAV

To prove this hypothesis, the position of the roots of the characteristic equation is examined (Fig. 3). The natural modes of the system are considered.

The spiral mode is the closest to the imaginary axis. This movement arises from disturbances causing rotation along the longitudinal or vertical axis, which create a positive angle of attack on the vertical plates, and hence increases the stabilizing moment along the vertical axis. It is close to the limit of stability and is aperiodic.

The next such movement is for roll damping mode, which is more stable than the previous because of its larger real part. Due to the rotation around the lateral axis, the angle of attack of the falling half-wing increases thus increasing its lifting force. Because of the symmetry of the other half-wing, the lift force decreases. This creates a restoring moment opposite to the spin direction.

Dutch roll modes is described by the complexly roots. It is fluctuating in its nature and is a combination of rolling and yawing, phased to ninety degrees.

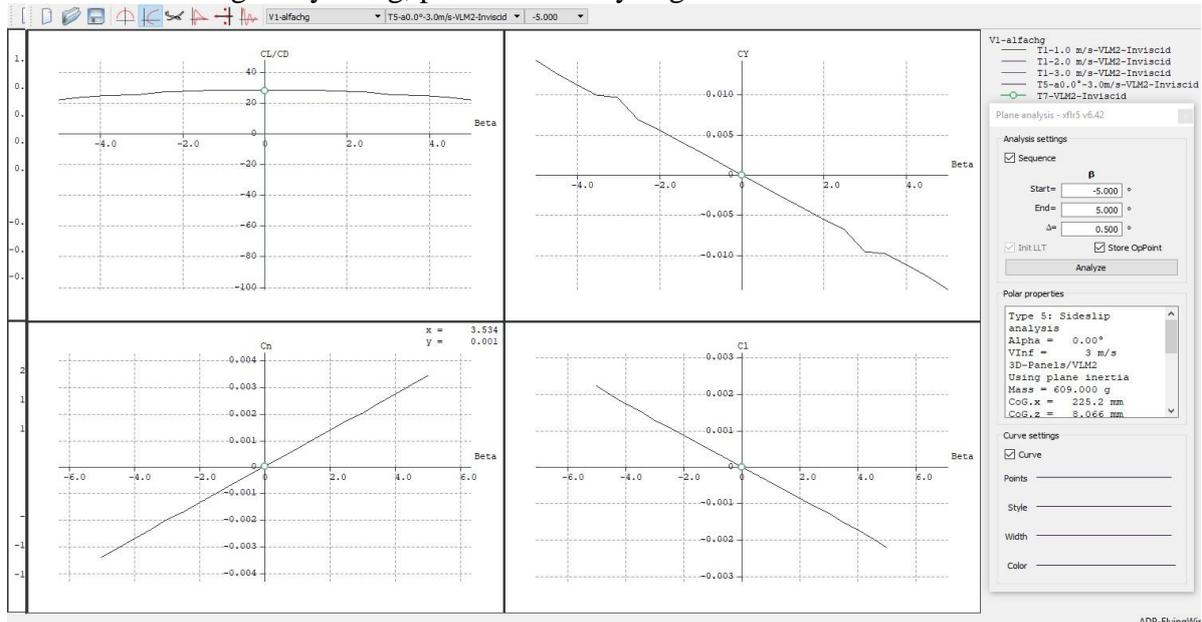


Fig.2 Aerodynamic characteristics of the MUAV from the virtual tunnel environment

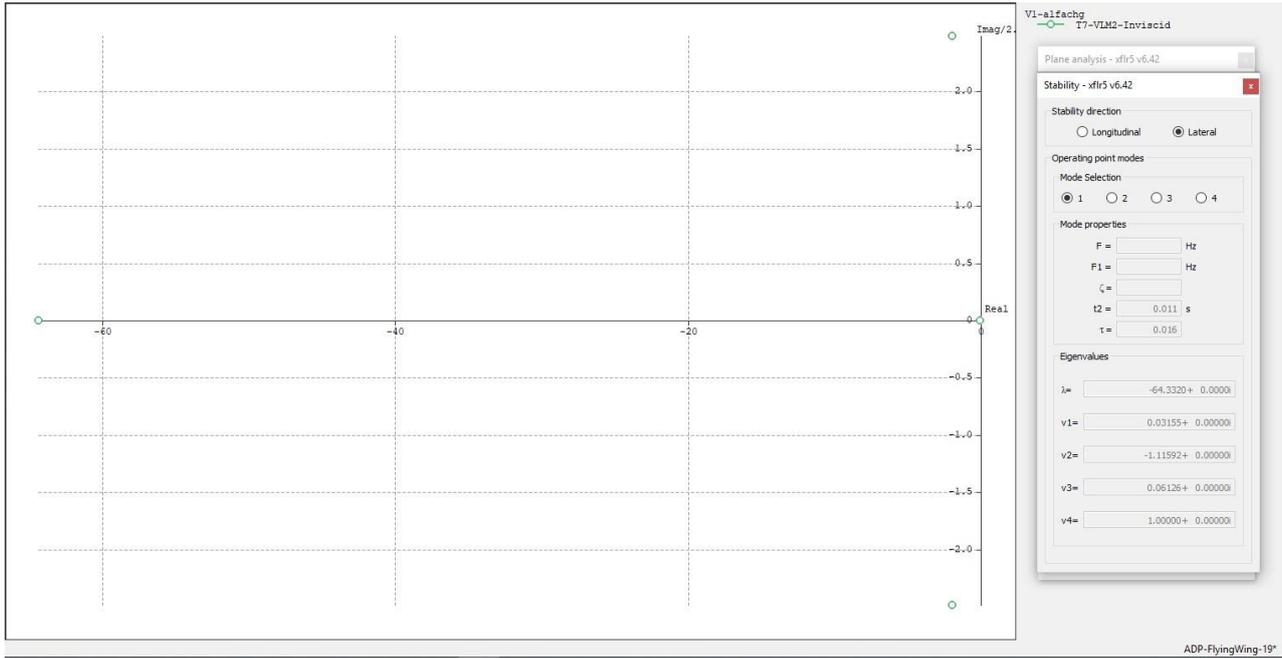


Fig. 3 The picture of the roots of the characteristic equation for lateral motion

The aerodynamic characteristics of the proposed flying wing version are calculated using a panel method [14]. The surface of the wing is divided into 728 panel elements. The air density is  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , and the kinematic viscosity is  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . The area of the wing is  $0,25671 \text{ m}^2$  and the wingspan is  $0,964 \text{ m}$ . The obtained values of aerodynamic derivatives in lateral motion are:

$$\begin{aligned}
 & \begin{matrix} 29 & 969 & 721 & 179 & 57 \\ 14 & 179 & 979 & 111 & 17 \\ 49 & 599 & 1380 & 279 & 8 \\ 19 & 389 & 349 & 125 & 0 \end{matrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

The isolated lateral movement is described by four parameters [13]: speed on the lateral axis; angular velocity on the transverse axis; angular velocity along the vertical axis; bank angle of trajectory. The state matrix of the lateral isolated motion calculated by the software product has the following values:

$$A = \begin{bmatrix} -1.30866 & -0.527862 & -31.2877 & 9.81 \\ -8.85106 & -64.3533 & 2.26565 & 0 \\ 8.21129 & 3.52556 & -2.56991 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

In lateral movement, the eigenvalues and the eigenvectors have the numerical values:

Tabl. 1. Eigenvalues and eigenvectors

Eigenvalues:			
-64.33+ 0i	-1.949+ -15.57i	-1.949+ 15.57i	-0.002565+ 0i
Eigenvectors:			
1+ 0i	1+ (0i)	1+ 0i	1+ 0i
-60.76+ 0i	-0.1369+ -0.01619i	-0.1369+ 0.01619i	-0.0262+ 0i
3.336+ 0i	0.02343+ 0.4953i	0.02343+ -0.4953i	3.162+ 0i
0.9445+ 0i	0.002107+ -0.00853i	-0.001299+(0.03992i)	10.22+ 0i



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

Mathematically speaking, the eigenvectors give information about the amplitude and phase of the parameters describing the isolated lateral movement. In the selected product, the eigenvectors are used in 3D visualization of the lateral movements.

The eigenvalues are used to determine if the system is stable. In addition, they serve to find the system's own circular frequency and damping rate.

To investigate the movements corresponding to the eigenvalues, disturbances are introduced into the system. These disturbances are caused either by the pilot's intervention in the control or by external weather conditions.

In Fig. 4 and Fig. 7 are shown the spiral mode and roll damping mode.

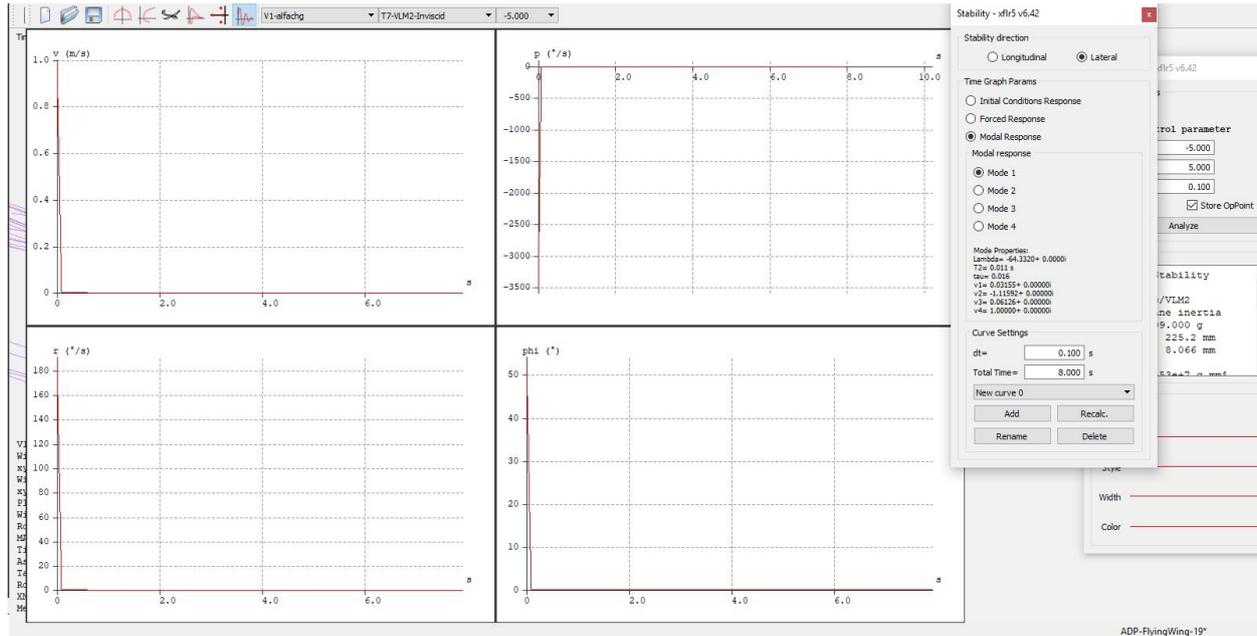


Fig. 4 Changing the parameters in the roll damping mode

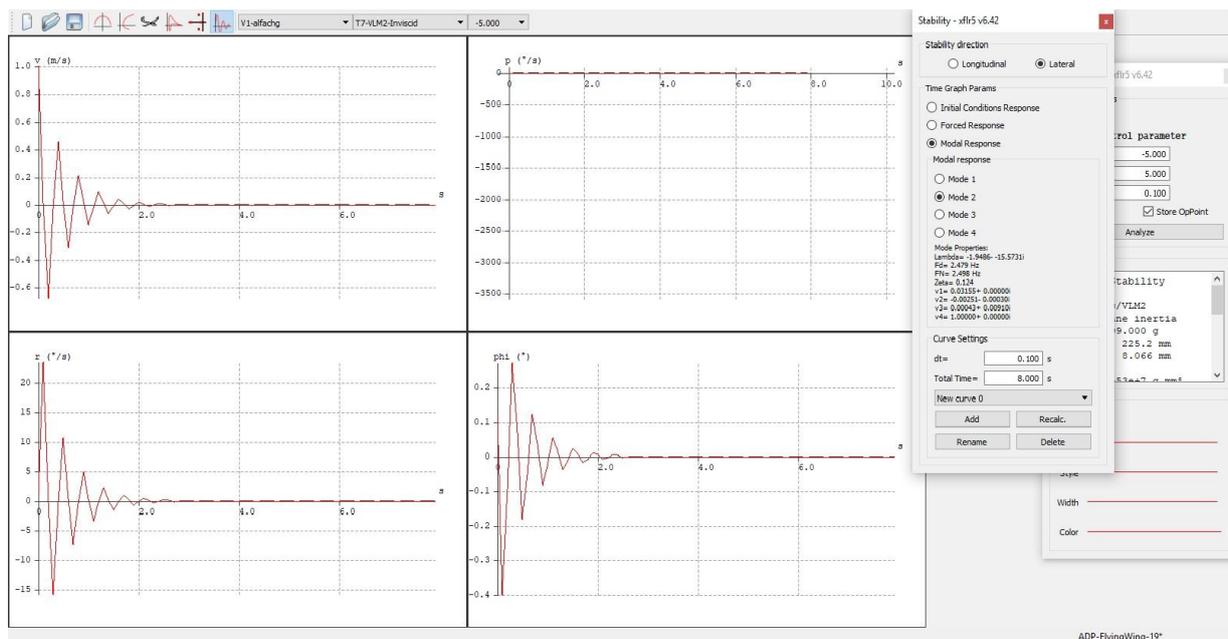


Fig.5 Changing the parameters in the Dutch roll mode with a negative complex part

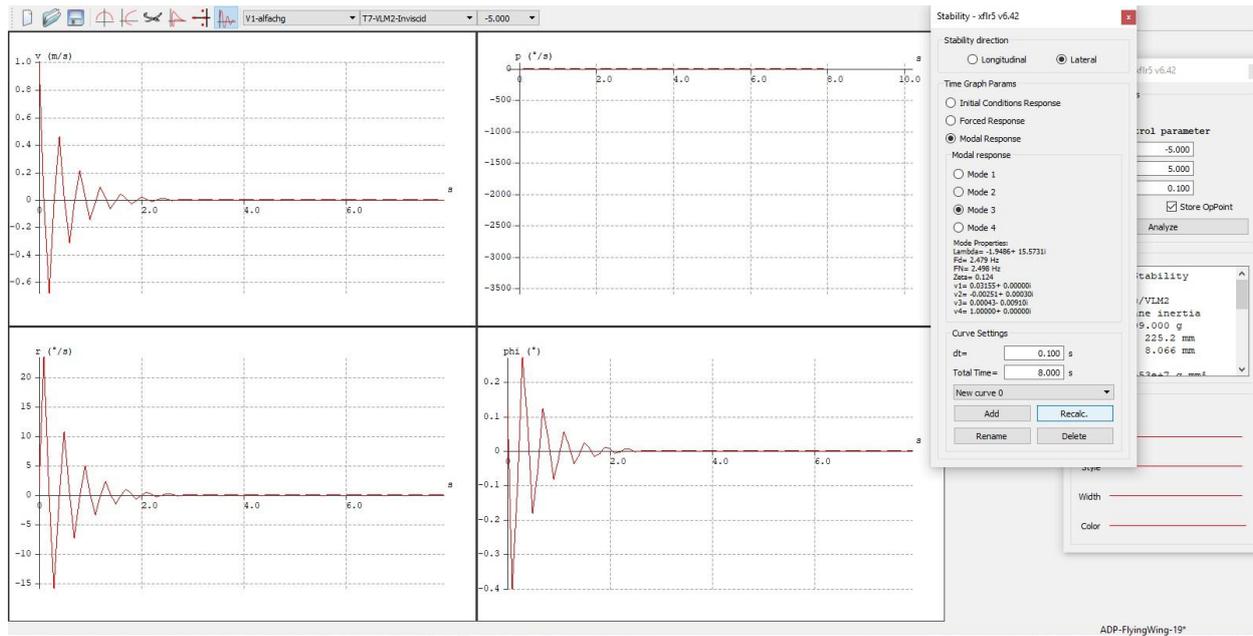


Fig.6 Changing the parameters in the Dutch roll mode with a positive complex part

In Fig. 5 and Fig. 6 are shown a changes in the parameters involved in the lateral movement in a Dutch roll mode with a positive and a negative complex part.

#### 4. Conclusions:

- The lateral stability of a developed MUAV was investigated.
- The behavior of the aerodynamic coefficients involved in the isolated lateral movement is examined.
- The influence of the roots of the characteristic equation on the short-period and long-period lateral movement.
- The results of the survey are used to create an autopilot and an automatic control system of the MUAVs.

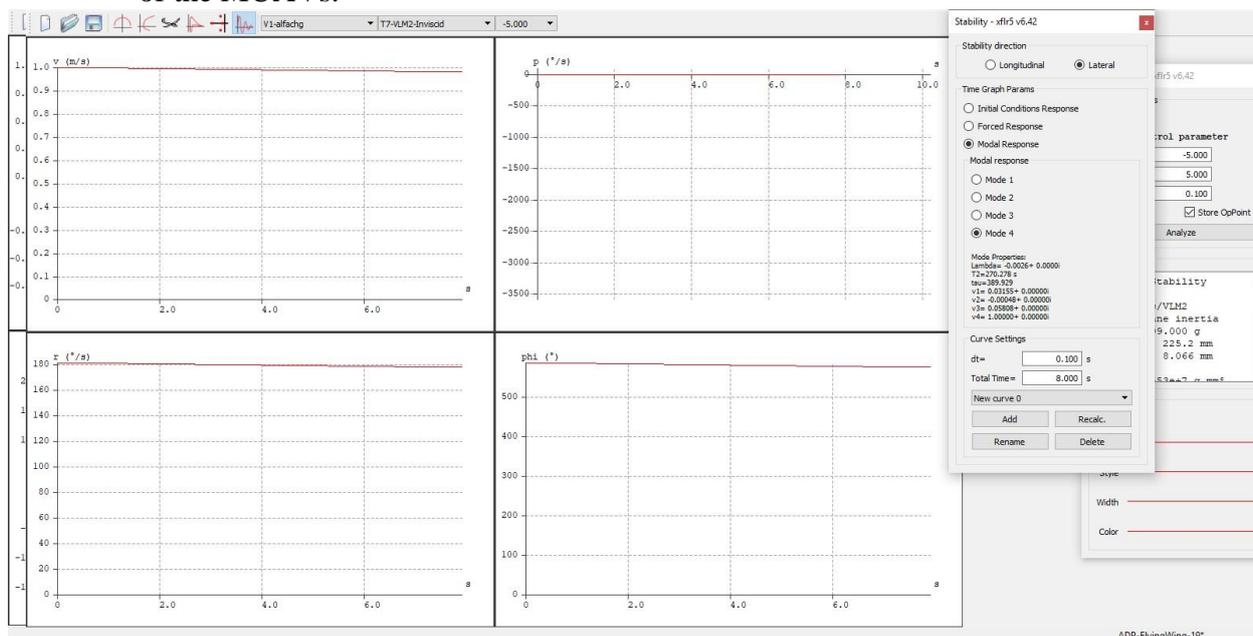


Fig.7 Changing the parameters involved in the spiral mode



### Литература:

1. Георгиев Р. Ж. *Състояние и перспективи в развитието на безпилотните ЛА*. Д. Митрополия, 2004.
2. Георгиев Р. Ж. *Типови задачи и системна архитектура на ЛА*. Д. Митрополия, 2006.
3. Гешев Д., П. Узунов. „Основи на аеродинамиката и динамиката на полета”, Военно издателство, София, 1996.
4. Иванов И., Каремов С. Относно класификацията и използването на безпилотните летателни апарати. Д. Митрополия, 2016г.
5. Иванов И. Същност, характеристика и рискови фактори на кризите от невоенен характер. Д. Митрополия, 2016г.
6. Камбушев М. *Нелинеен модел на движение на летателен апарат*. Технически университет София, 2009.
7. Камбушев М. *Изследване на квадрокоптер*. Издателски комплекс на ТУ-София, 2018.
8. Лазаров Л. *Безпилотни летателни апарати и последствията от убиването без последствия*. София 2018.
9. Лысенко Н. „Динамика полета”, Военно издателство, София, 1977.
10. Маринов А. *Експериментално определяне на аеродинамичните характеристики на самолет L-39*. Д. Митрополия, 2008.
11. Маринов А. *Влияние на турбулентния модел върху аеродинамичните характеристики на профил НАСА64410 при числено симулиране*. НВУ „Васил Левски”, 2010.
12. Маринов И. *Оптимално проектиране на надлъжниково крило*. Долна Митрополия, 2010.
13. Brain L. Stevens, Frank L. Lewis. *Aircraft control and simulation, 2nd Edition*, Wiley (2003)
14. About stability analysis using XFLR5. Available: [http://www.xflr5.com/docs/XFLR5\\_and\\_Stability\\_analysis.pdf](http://www.xflr5.com/docs/XFLR5_and_Stability_analysis.pdf). (March 2019)
15. Analysis of foils and wings operating at low Reynolds numbers. Available: <https://sourceforge.net/projects/xflr5/files/>. (March 2019)

### ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТРАНИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ С ПОМОЩТА НА ВИРТУАЛЕН АЕРОДИНАМИЧЕН ТУНЕЛ

С. Билидеров, Ю. Станчев

#### Данни за авторите:

Стефан Савов Билидеров, доцент доктор инж., катедра “Електротехника, автоматика и информационни технологии” при ФА Долна Митрополия, Р. България, тел .0898 735621, e-mail: biliderow\_ss@yahoo.com

Юлиян Станчев Станчев, доцент доктор, катедра “Електротехника, автоматика и информационни технологии” при ФА Долна Митрополия, Р. България, тел .0878 968475, e-mail: tjstanchevi@abv.com

# МЕХАТРОННА СИСТЕМА ЗА ПОДПОМАГАНЕ НА ПАРКИРАНЕТО С ДОСТЪПНА НА ПАЗАРА ЕЛЕМЕНТНА БАЗА

С. Къртунов, Д. Славов, П. Рачев, И. Иванов

**Резюме:** В статията е представена комбинирана система за паркиране, разработена на база достъпни на пазара елементи. Възможно е да работи и само като преден парктроник. Описан е алгоритъма на работа на системата, по което се предлага програмно осигуряване. Представени са експерименталните данни от направените тестови измервания.

**Ключови думи:** система за подпомагане на паркирането „Парктроник“.

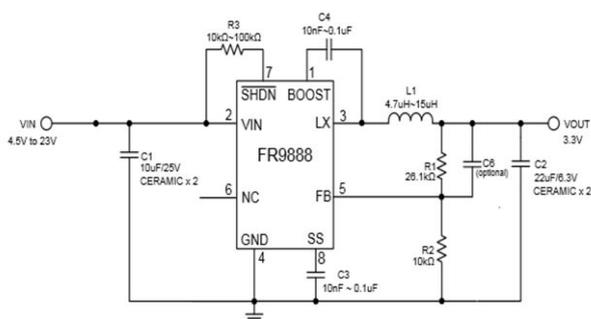
## 1. Въведение

Съвременните достижения на микротехнологиите и елементната база позволяват проектирането на редица разработки в мехатрониката с достъпни на пазара елементи без затруднения. „Парктроник“ системите или системите за подпомагане при паркиране, се предлагат на пазара в много голямо разнообразие в зависимост от това какво иска клиента и какво може да си позволи от финансова гледна точка. В зависимост от броя на датчиците те могат да бъдат с 2, 4, 6, 8 и 12 бр., като минимум проектантите на тези системи препоръчват 4 сензора, а най – скъпите модели такива системи разполагат с 12 бр. В зависимост от видовете сензори, които използват, тези системи биват инфрачервени, ултразвукови и електромагнитни. Съвременните системи още се различават и по това до каква степен подпомагат паркирането, както – и по информацията, която осигуряват по време на паркирането [8]. Разработката си поставя за цел проектиране на система достатъчно ефективна, безопасна и на добра цена, достъпна за всеки водач решен да направи паркирането на автомобила си много по-лесно и приятно в натоварена градска среда.

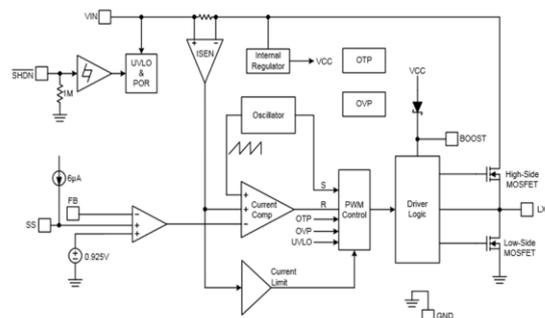
## 2. Изложение

### 2.1. Разработване на техническо осигуряване на системата за паркиране

Системата е от типа комбиниран преден и заден „Парктроник“. Основните елементи са захранващ блок, програмируем контролер, сензори за измерване на разстояние и устройства за визуализация и сигнализация. За активиране на проектираната система се използва ключ включена / изключена. Захранващият блок трябва да бъде свързан към основното захранване на автомобила и да преобразува захранващото му напрежение в такова със стойност подходяща за захранване на втория основен елемент – програмируемият контролер.



Фиг.1. Принципна електрическа схема на DC/DC преобразувателя



Фиг.2. Блок схема на синхронния изпревател (в дясно)

Необходимото напрежение за работа на управлението е 7-12V DC, а напрежението в захранващата мрежа на автомобила при неговата работа е от 13.8V до 14.4 V. Затова захранващият блок ще бъде DC/DC понижаващ конвертор със синхронен изправител FR9888 [6]. Принципната електрическа схема на захранващия блок е показана на фигура 1, а на фигура 2. – блок- схемата на синхронния изправител.

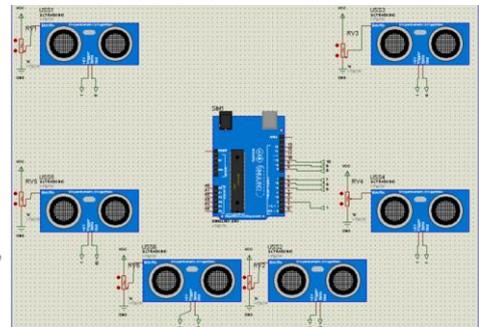
Задача на програмируемия контролер е да обработва получената информация от сензорите, които следят обектите около автомобила и чрез индикаторите, които той управлява, да предава информацията към водача на автомобила в момента на паркирането. Програмата извършва управлението на контролера, в смисъл, че при активирането на входен сигнал от логическо (on/off) или аналогово входно устройство, се изработва съответстващ отговор - активиране на изход от изходното устройство (логическо или аналогово) в зависимост от съществуващите логически (програмни) връзки между отделните устройства. Операционната система на програмируемите контролери се съхранява и изпълнява от паметта ROM, а в паметта RAM се зарежда и изпълнява потребителската програма за управление на технологичния процес. Програмируемият контролер в тази система ще бъде Ардуино UNO микроконтролер, платформа въз основа на ATmega 328P [3]. Има 14 цифрови входно-изходни (I/O) порта, 6 аналогови входа, 16 MHz резонатор, четири светодиода (един потребителски, свързан на 13-ти цифров I/O порт и три, които индикират работата на платката: ON, Tx и Rx), USB конектор, захранващ куплунг, бутон за рестартиране и ICSP конектор. Шест от цифровите I/O порта могат да се използват като PWM (ШИМ) изходи. Микроконтролерът е Atmega 8U2 [3], програмиран като USB-to-Serial адаптер, осигурява по-бърз трансфер на данни и позволява на по-напреднали потребители да го препрограмират. Изглед на контролера Ардуино UNO дава фигура 3.



Фиг.3. Контролер Ардуино UNO  
(Arduino™ Reference Design – в ляво)

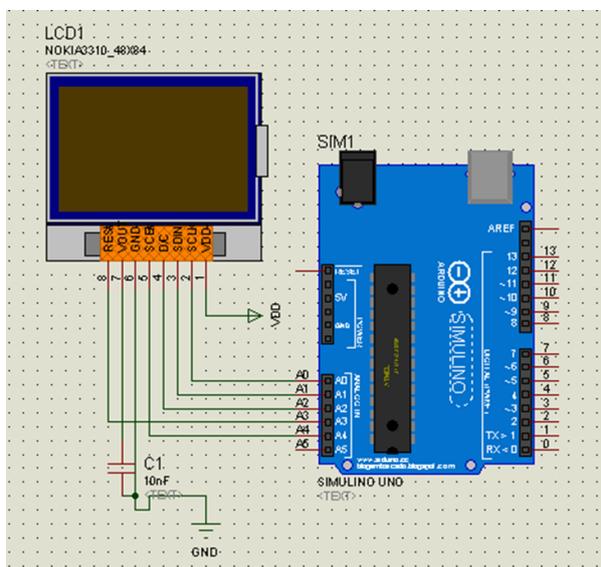


Фиг. 4. Ултразвуков датчик HC-SR04  
и принципна електрическа схема на свързване

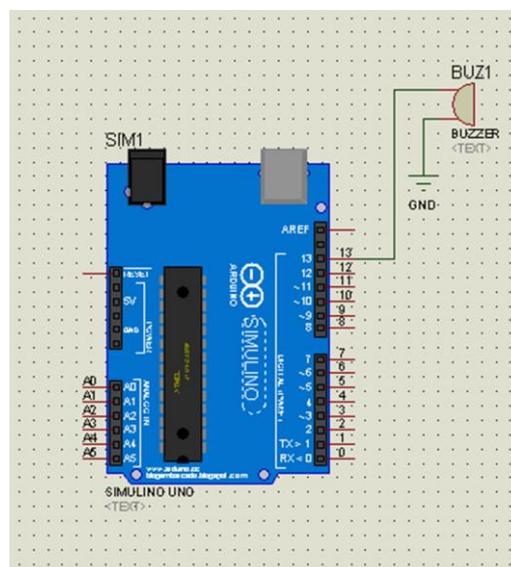


Датчиците за измерване на разстояние служат за осигуряване на информация на контролера за заобикалящите обекти около автомобила. Системата разполага с 6 ултразвукови сензора за разстояние, които осигуряват необходимата „видимост“ в предната и задна броня на автомобила: Преден ляв, Преден десен, Заден централен 1, Заден централен 2, Заден ляв и Заден десен. Всеки от тях има работен ъгъл 45° и обхват от 0,02м до 2м и разделителна способност 0,02см. Избират се ултразвукови датчици модел HC-SR04, показани на фигура 4 [4]. Сензорите разполагат с четири извода: VCC = захранване +5VDC; Trig = вход на сензора; Echo = изход на сензора и GND = земя. Входовете на ултразвуковите сензори Trig са свързани на общ извод на входа на контролера PD2/TXD, а изходите им са свързани към цифрови входове от PD5 до PD10 включително. На Vcc изходите на сензорите е подадено захранване +5VDC директно от контролера. Изходите GND аналогично са свързани към контролера на извода GND. Устройството за визуализация осигурява изобразяване на информацията, получена от сензорите за разстояние и обработена от контролера.

Изпълнява се от LCD-дисплей, който се монтира на централната конзола на таблото на автомобила в дясно от водача. Избира се LCD дисплей на фирмата Nokia модел 3310/5510 с 84 пиксела широчина и 48 пиксела височина (84x48) [5]. На дисплея се изобразява информацията във вид: FL = разстоянието в сантиметри, като FL означава предно ляво, FR = разстоянието в сантиметри, като FR означава предно дясно, BL = разстоянието в сантиметри, като BL означава задно ляво, BC1 = разстоянието в сантиметри, като BC означава задно централно зона едно, BC2 = разстоянието в сантиметри, като BC означава задно централно зона две, BR = разстоянието в сантиметри, като BR означава задно дясно. При навлизане на обект в обхвата на системата и съответно до автомобила, съответната страна, съпадаща с обхвата и положението на сензорите на дисплея, ще се изпише разстоянието до обекта и самата индикация ще започне да премигва за да привлече допълнително вниманието на водача; тази реакция ще бъде придружена и с допълнителна звукова сигнализация. Този дисплей разполага с 8 извода за управление: 1-RST - Reset – Входен извод – активно ниско ниво, 2-CE - Chip Select – Входен извод – активно ниско ниво, 3-DC - Mode (данни / инструкция) подбор – Входен извод - Избор между команден режим (ниско) и режим на данни (високо), 4-DIN - Serial Data in Line – Входен извод, 5-CLK - Serial Clock Line – Входен извод, 6-VCC - Захранване (3.3V или 5V) – Входен извод - за предпочитане 3.3V, 7-BL - Back Light LED контрол – Входен извод - 3.3V – извод за управление на подсветката на дисплея и 8-GND – Ground – Земя. Принципна електрическа схема е показана на фигура 5. Използват се 5-те аналогови входа на контролера Ардуино от A0 до A4 за комуникация със дисплея, които на програмно ниво са назначават като цифрови изходи: A0 – PD14, A1 – PD15, A2 – PD16, A3 – PD17, A4 – PD18. За устройство за сигнализация се избира зумер СЕМ-1203 (фигура 6). Зумерът се захранва директно от цифровия изход PD13 на Ардуино, а вторият му извод се свързва към земя.



Фиг.5. Принципна електрическа схема на дисплея (в ляво)



Фиг.6. Принципна електрическа схема на свързване на зумера

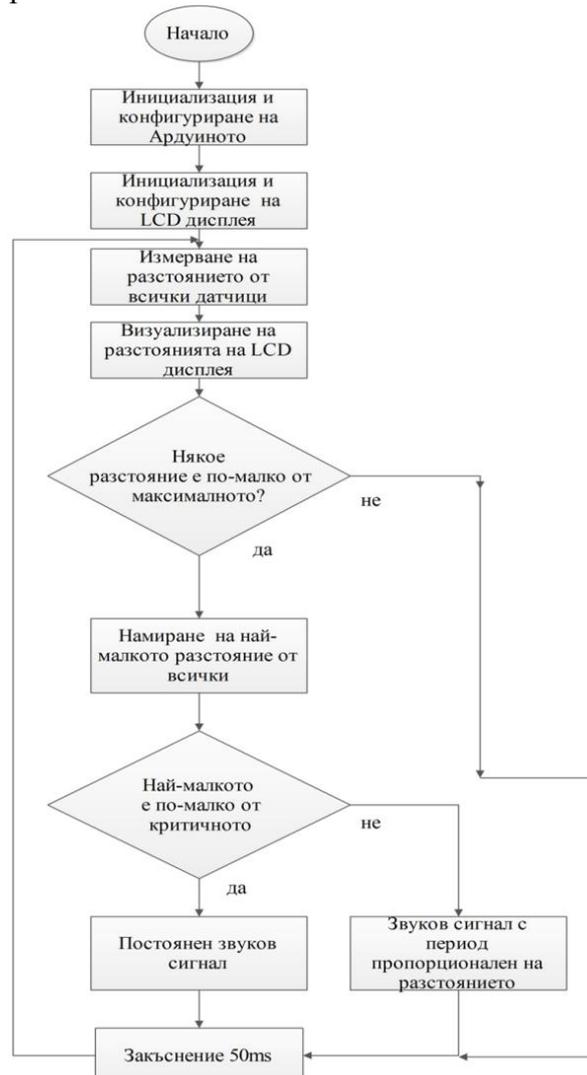
### 2.2. Разработване на програмно осигуряване за системата за паркиране

За да бъде програмирането на продуктите максимално близко до голяма част от потребителите се използва езика за програмиране C и среда за програмиране, предложена на сайта на производителя Ардуино, която е свободна за изтегляне и инсталиране на различни платформи [7].



Освен това съществуват „добавки“, които правят достъпни за работа с Ардуино много от масовите среди за програмиране, като например: MS Visual Studio, Atmel, Eclipse и др.

Предпроцесорна част – в тази част средата за програмиране извършва няколко трансформации на кода, който е въведен. Добавя се стандартната библиотека Arduino.h, която съдържа всички необходими функции за работата на Arduino ядрото. След това се създават прототипи на всички дефинирани функции, използвани в кода. За да бъде „разбрана“ програмата, която сме написали от контролера, е необходимо да бъде осъществен процес на преход от езика от високо ниво C към машинен език. Този процес става посредством компилиране на кода. Компиляторът за Arduino е avr-gcc. След като avr-gcc превърне кода в машинни инструкции (или \*.obj файлове) той се комбинира със стандартните библиотеки на Arduino, които осигуряват основните функции на платформата като digitalWrite (), Serial.print (). Резултатите са единичен HEX файл, който съдържа специфичните байтове, които е необходимо да се запишат в програмната памет на чипа в Arduino платката и е готов за Upload към платформата. Този файл се „качва“ в платформата посредством USB-порта на компютъра, чрез сериен интерфейс или чрез външен програматор. Софтуер, написан чрез използване на Arduino-средата, се нарича скица. Тези скици се пишат в текстовия редактор и се записват с файлово разширение \*.ino. Редакторът разполага с функции за рязане / поставяне и за търсене / замяна на текст. Прозорецът за съобщения дава обратна връзка за записването, експортирането и качването на програмата в хардуера, както и показва грешки ако има такива.

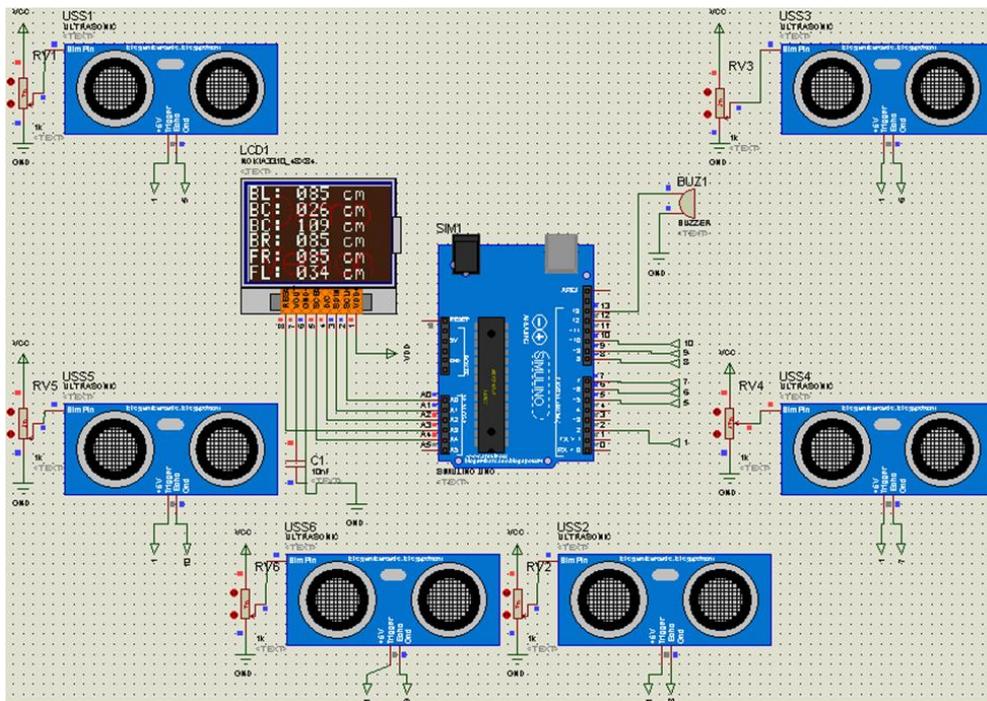


Фиг. 7. Блок схема на алгоритъма

Фигура 7 пояснява алгоритъма на работа на програмата. След подаване на захранването на контролера Ардуино програмата започва да се изпълнява от началото си. Следва инициализация на микроконтролера и конфигуриране на всички негови изводи входове и изходи; инициализация на LCD дисплея, разрешават се разширените команди на дисплея, задава се контрастът и температурен коефициент и след това дисплея е в нормален режим на работа. След това следва измерване на разстоянието от всички датчици и визуализиране на измерванията на дисплея. Определя се дали някое от разстоянията е по – малко от максималното, което означава че има препятствие. В този случай се намира най – малкото разстояние от всички, показващо най – близкия обект. След това се сравнява дали най – малкото разстояние е по – малко от критичното, ако това е така се включва постоянен звуков сигнал, сигнализиращ критична близост. В противен случай звуковия сигнал е прекъснат с период между отделните сигнализиации, пропорционален на най – малкото разстояние. Следва закъснение от 50 msec и при изтичането на това време целия цикъл се повтаря отново. Ако няма такова разстояние по – малко от максималното, означава че няма обекти в близост до превозното средство, не се издава никакъв звуков сигнал, изчаква се 50 msec и цикълът се изпълнява отново. Целият код на програмата може да бъде закупен след договаряне.

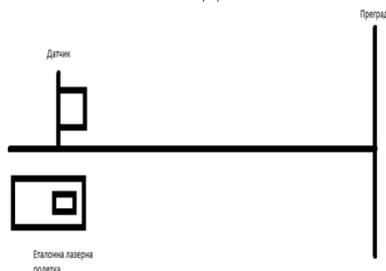
### 2.3. Резултати и тестване на системата

Системата е тествана със симулация и реално. За тестове при реализацията на програмата на системата чрез симулация е използвана програма Proteus 8 за да се избегне постоянното зареждане на програмата в контролера, което спестява време и усилия. Програмата Proteus 8 предлага още и нагледно изобразяване и на активните изводи на контролера за да се проследи по-добре работата му и дали те отговарят на написаните в програмата (фигура 8.). На симулацията добре се вижда, че показанията на дисплея отговарят на написаните в програмата и зумерът реагира нормално. Всички активни изводи съвпадат с декларираните в програмата. След успешна симулация може да се премине към реално тестване на системата и отчитане на грешките при измерване [1, 2].



Фиг.8. Симулация на системата в среда на програмата Proteus 8

При реално тестване на системата при първия тест на система се поставя преграда на определено разстояние пред всеки от датчиците и се отчита показанието на дисплея като се сравнява с измерването на същото разстояние, направено със еталонна лазерна ролетка GLM 50 Professional с клас на точност 0.01mm. Тестът има за цел определяне на точността на системата (фигура 9.). Получените резултати от направените измервания са дадени в таблица 1. След направените експериментални изследвания изчислената абсолютна грешка е 0.5%.



**Фиг.9. Схема на опитната постановка за проверка на точността**

## 2.4. Експериментални данни от измерванията

**Табл.1.**

Разстояние, измерено с еталонна ролетка (см)	25	50	100	150	200
Датчик 1(FL) (см)	25	50	99	150	199
Датчик 2(FR) (см)	25	50	99	150	199
Датчик 3(BL) (см)	24	49	100	150	199
Датчик 4(BC) (см)	24	50	99	149	200
Датчик 5(BC) (см)	24	50	100	149	200
Датчик 6(BR) (см)	25	50	99	150	200

При втория тест на системата се поставят две прегради пред два различни датчика на различно разстояние и се отчита реакцията на зумера. При този тест зумерът трябва да реагира на преградата, която е по-близо до единия от двата датчика със съответния звуков сигнал. Периодът на подаване на звуков сигнал е правопрпорционален на разстоянието до обекта, тоест при голямо разстояние периода на отделните звукови сигнали е по-голям и обратно. При навлизане в критична зона около 7 см, звуковият сигнал е постоянен без прекъсвания. Коректната работа и точността на отчитане на системата за подпомагане на паркирането силно зависят от позицията и ориентацията на сензорите. Поради това позицията им се избира, вземайки под внимание следните изисквания: Сензорите трябва да се монтират на височина между 35 см и 65 см и трябва да са максимално хоризонтални. При разпределяне на сензорите по дължината на бронята трябва да се има предвид следните препоръки: Дистанцията между сензорите може да варира между 30 см и 70 см максимум; Разстоянието между сензорите трябва да е едно и също, както и разстоянието от крайните сензори до края на бронята.

Устройството представлява отворена хардуерна система и може да бъде подобро по желание. Могат да се увеличат броя на датчиците и по този начин ще се подобри „видимостта“ на системата, ще има по – добър обхват върху заобикалящата среда. Ще се избегнат напълно мъртвите зони около превозното средство. Може да се смени дисплея на системата като се избере по – голям, така водача ще наблюдава по – лесно екрана и по този начин ще се подобри времето му за реакция. Към системата е възможно и инсталиране на допълнителен модул на камера за задно виждане, което от своя страна ще улесни още повече водача, като той ще има както сигнализация от системата, така и много добра престава за средата зад автомобила.



### 3. Заключение

Разработена е мехатронна комбинирана система за паркиране с достъпна на пазара елементна база, която е указана. Предлага се програмно осигуряване и е описан алгоритъма на работа на системата, както и използваните специални библиотеки. Представени са експерименталните данни от направените тестови измервания. Възможно е системата да работи и само като преден „Парктроник”, както – и да се разширяват възможностите ѝ.

### Литература:

1. Славчев Е., Технически измервания: Записки за студентите от ТУ-Варна, Варна, 1996
2. Токмакчиев С., Взаимозаменяемост и технически измервания, Втора част, София, 1999
3. Документация на фирмата ATMEL ([www.atmel.com](http://www.atmel.com)). ATmega 328P Data Sheet pdf. ATmega8U2 Data Sheet pdf
4. Документация на фирмата Elec Freaks([www.ElecFreaks.com](http://www.ElecFreaks.com)). Ultrasonic ranging module HC-SR04 pdf
5. Документация на фирмата Nokia. LCD 48x84 display 5110 pdf
6. Документация на фирмата Fiti. FR9888 pdf
7. [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
8. [www.playground.arduino.cc](http://www.playground.arduino.cc)
9. [www.practicalarduino.com](http://www.practicalarduino.com)
10. [8.www.wikipedia.com](http://8.www.wikipedia.com)

## SIMULATION MODELING OF AUTOMATION COMPLEXES IN DISCRETE PRODUCTION ENGINEERING

**S. Kartunov, D. Slavov, P. Rachev, I. Ivanov**

***Abstract:** The article presents a combined parking system developed based on commercially available components. It is possible to work only as a front parking sensors. Described is the algorithm of the system, by proposing software. Presented are the experimental data of tests carried out measurements.*

### Данни за авторите:

Стефан Кирилов Къртунов, професор, доктор, инж., катедра МУ при ТУ Габрово, ул. Хаджи Димитър 4, тел. 0884871098, [skartunov@abv.bg](mailto:skartunov@abv.bg)

Динко Димитров Славов, инженер, ТЕЦ Марица-изток 2 АД, Стара Загора, ул. “Майор Т. Кавалджиев” 87, тел. 0899810087, [slavof@abv.bg](mailto:slavof@abv.bg)

Петър Тотев Рачев, доцент, доктор, инж. катедра МУ при ТУ Габрово, ул. “Хаджи Димитър” 4, тел. 0896293357, [ra4ev\\_petar@abv.bg](mailto:ra4ev_petar@abv.bg)

Иван Данев Иванов, магистър, ТЕЦ Марица-изток 2 АД, Раднево ул. “И.Г.Сакардски” 17, тел. 0895799500, [Mainlinee@gmail.com](mailto:Mainlinee@gmail.com)



# HOW TO INTERPRET THE AIRCRAFT ELECTRICAL AND AVIONICS SCHEMATICS AND WIRING DIAGRAMS

D. Merdzhanov, K. Bozhilov

**Abstract:** In this paper discussed the most challenging aspect of all parts of typical electrical drawings of connective devices found on the airplane. The authors hope to be useful to all who work and use aviation electrical circuits or want to upgrade their skills and require a deeper knowledge of the Airplane Wiring System or Electrical Wiring Integration System (EWIS).

**Keywords:** correct identification of different electrical drawing types, read and interpret aircraft electrical drawings.

## 1. Introduction

It is absolutely essential that aircraft electrical workers require a working knowledge of electrical theory, principles and a general understanding of basic principles underlying electronics to perform work involved in the routine and repetitive repair, disassembly, modification, assembly, testing, installation, and maintenance of aircraft electrical systems, equipment, and accessories. Each of the various diagrams discussed in this paper has a specific purpose and distinguishing features that set it apart from the others [1, 2].

## 2. Aviation electrical drawings

### 2.1. Flowcharts are used to illustrate a particular sequence, or flow of events

Troubleshooting flowcharts are frequently used for the detection of faulty components. They often consist of a series of yes or no questions. If the answer to a question is yes, one course of action is followed. A logic flowchart in figure 1, uses standardized symbols to indicate specific types of logic gates and their relationship to other digital devices in a system.

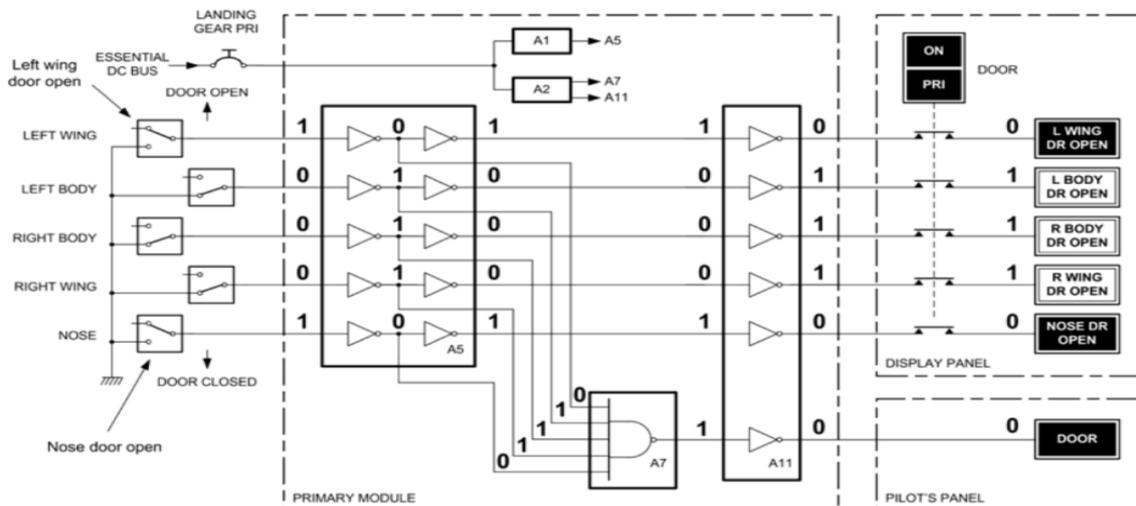


Fig.1. Landing gear door warning logic with nose and left wing door open

### 2.2. Block Diagrams

A block diagram is used as an aid for troubleshooting complex electrical and electronic systems. A block diagram consists of individual blocks that represent several components, such as a printed circuit board or some other type of replaceable module.

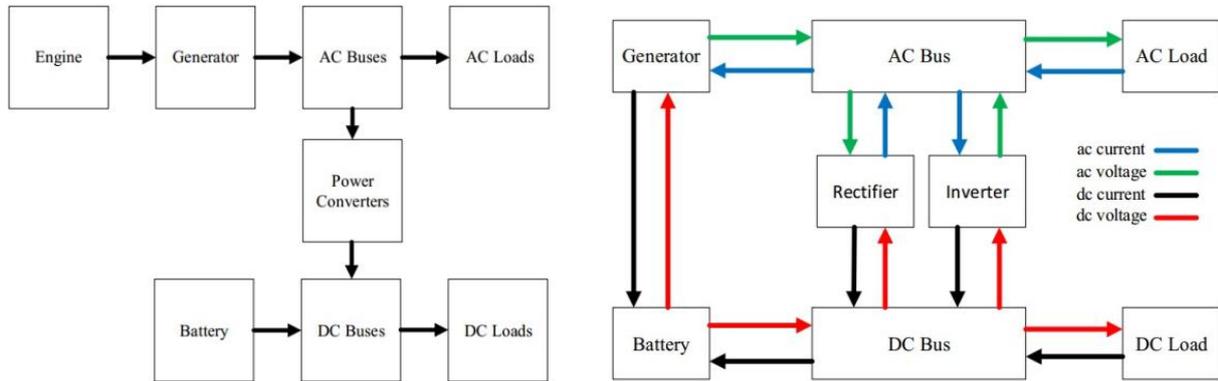


Fig.2. Illustrates the power flow through an aircraft electrical system

Individual components are drawn as a rectangle (block) with lines connecting it to other components (blocks) that it interfaces with during operation in fig. 2, 3 [1, 2].

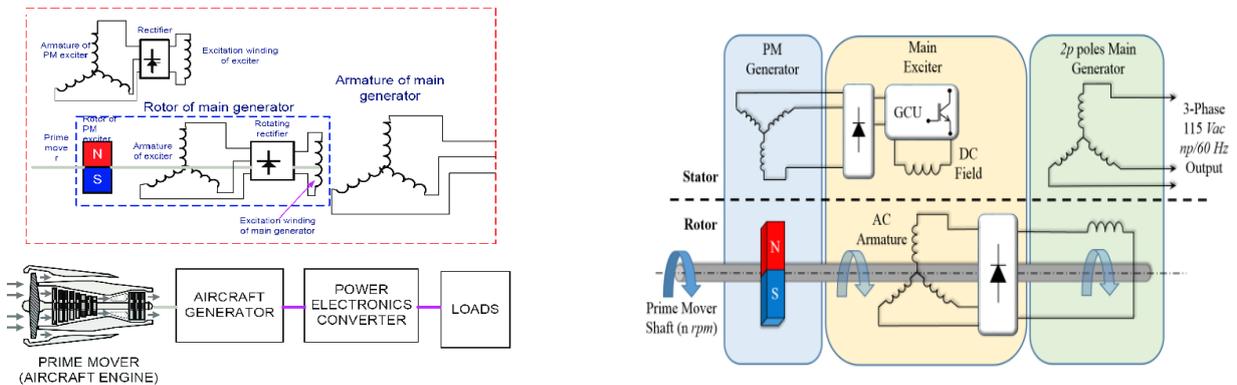


Fig.3. Typically aircraft electrical block diagram

The electrical power distribution system is based on one or more busbar(s); these provide pre-determined routes to circuits and components throughout the aircraft. An example C-27J of an aircraft electrical system (fig.4): The Electrical Power Generation System architecture includes the following main AC System components: 3 x 50/60 KVA (two primary and one APU), three phase brushless type oil cooled Generators. Each generator is rated to deliver continuously 60 kVA at its Point of Regulation (POR) over a load power factor (PF) range from 0.75 lagging to 1.0, within the rpm range of 11,790 to 12,210 corresponding to a frequency range of 393 to 407 Hz, as illustrated in Fig.4.

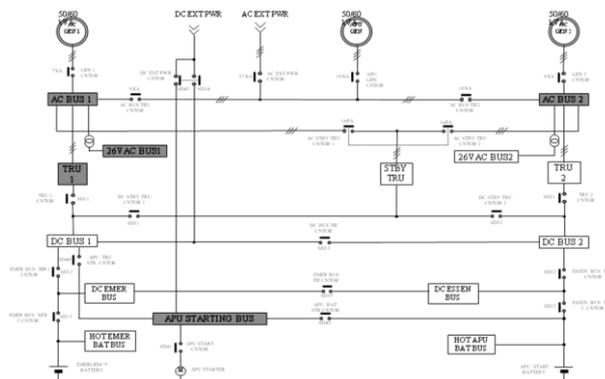
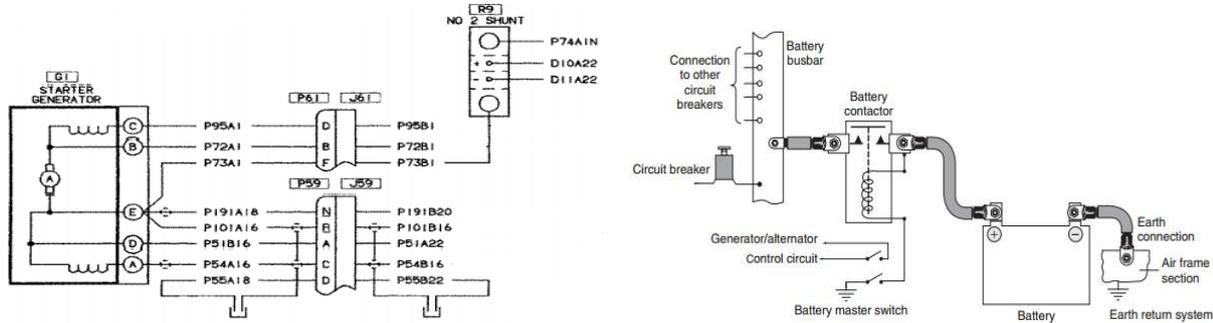


Fig.4. Block diagram the power distribution of an aircraft electrical system

**2.3. Wiring Diagrams-** is a detailed diagram of each circuit installation showing all wiring, connectors, terminal boards, and the electrical or electronic components of the circuit. It also identifies the wire-by-wire numbers or color coding. These diagrams, even for relatively simple circuits, can be quite complicated (fig.5).

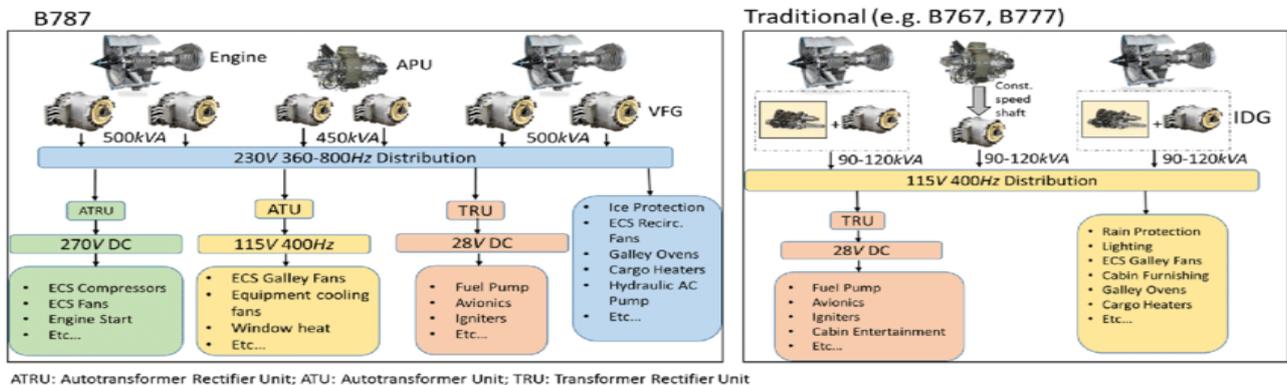


**Fig.5. Wiring diagram and battery busbar schematic**

Furthermore, wiring diagrams typically identify each component within a system by its part number and its serial number. Schematic Diagrams - shows, through graphic symbols, the electrical connections and functions of a specific circuit arrangement (fig.5).

For any aircraft type, the distribution system will comprise the following items: bus bar; protection; control; wiring and loads [1,2]. Bus bar have holes at appropriate intervals for attaching one side of the protection device (circuit-breaker or fuse). Protection devices, whether fuses or circuit-breakers, are connected in series with a specific system [4].

**2.4. Pictorial Diagrams**



**Fig.6. Pictorial diagram of an aircraft electrical system**

A pictorial drawing is similar to a photograph (Fig. 6). It shows an object as it appears to the eye, but it is not satisfactory for showing complex forms and shapes. Pictorial drawings are useful in showing the general appearance of an object.

**2.5. Terminal diagram**

A terminal diagram is useful when connecting wires to terminal boards, relays, switches, and other components of a circuit. Figure 7 shows two typical terminal diagrams.

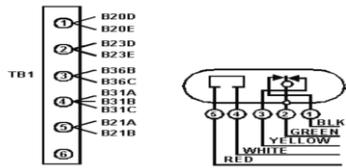


Fig.7. Typical terminal board diagram

**2.6. Single-line diagram (SLD)** - The single line diagram can represent an entire system or a small part of an electrical circuit. Electrical elements such as circuit breakers, transformers, capacitors, bus-bars, contactors and conductors are shown by standardized schematic symbols in figure 8.

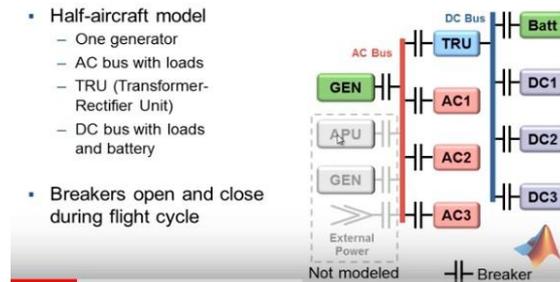


Fig.8. Typical SLD Matlab diagram model

**2.7. Installation Diagrams**

It identifies each of the components in the systems and shows their location in the aircraft (Fig. 9). Each number (1, 2, 3, and 4) on the detail shows the location of the individual components within the cockpit of the aircraft. The isometric diagram also shows the interconnecting cable runs between these components.

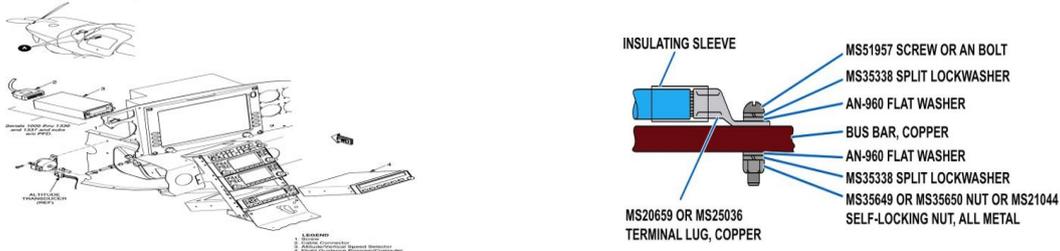


Fig.9. Example of installation diagram

**2.8. Detail View**

A detail view shows only a part of the object but in greater detail and to a larger scale than the principal view. The part that is shown in detail elsewhere on the drawing is usually encircled by a heavy line on the principal view. Figure 10 is an example of the use of detail views.

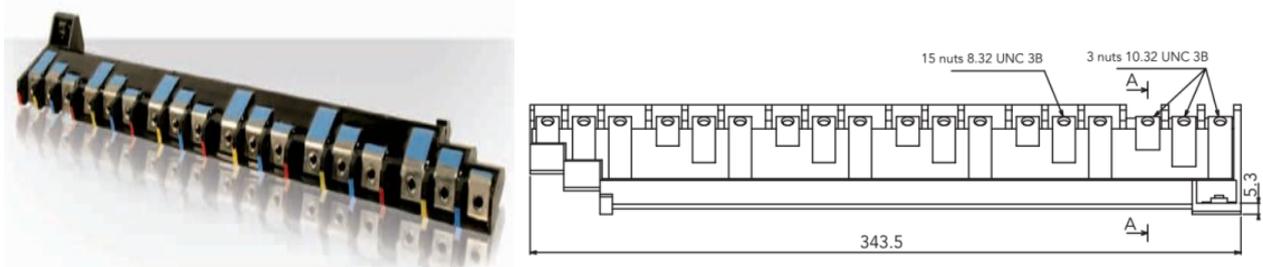


Fig.10. Typically aircraft bus-bars detail view

### 2.9. Location of aircraft components

This involves dividing the aircraft into zones. These large areas or major zones are further divided into sequentially numbered zones and subzones. The digits of the zone number are reserved and indexed to indicate the location and type of system of which the component is a part. Figure 11 illustrates these zones and subzones on a transport category aircraft.

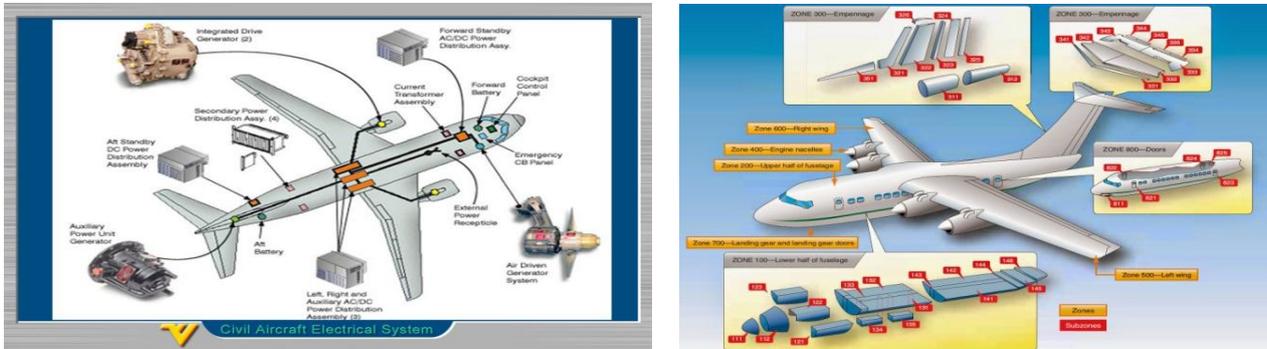


Fig.11. Aircraft are divided into zones and subzones for identifying the location of various components

### 2.10. A 3D knowledge-based wiring

The design of electrical wiring in aircraft is a long and repetitive process which is largely done by hand. Knowledge Based Engineering (KBE) is a set of methodologies for enhancing engineering design processes through effective knowledge management. Current progress in the development of a knowledge based system for three-dimensional routing in aerospace vehicles with applications including electrical wiring design - electrical design rules collected from regulatory documents and best practices and an intelligent path finding algorithm to navigate the structure and return a valid path for the wire [3, 4].

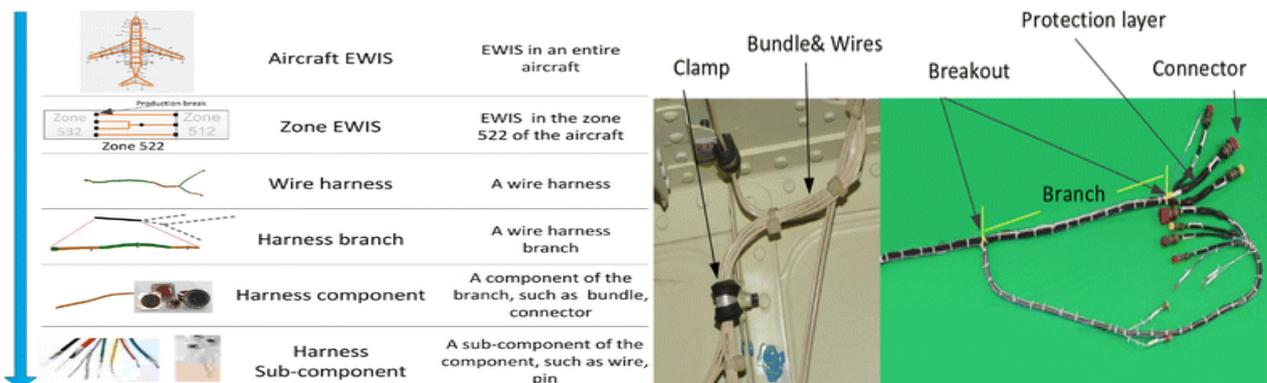


Fig.12. Typically aircraft hierarchical structure of the EWIS

## 3. Conclusion

**Limitations with printed diagrams.** Traditional printed wiring diagrams were contained in a Wiring Diagram Manual (WDM) that provided airline maintenance teams with a precise representation of an airplane’s wiring system. However, the process of locating the exact wiring harness, junction, wire, or other electrical component takes time. The data presented in the WDM was static and was not capable of data sorting or data linking. Additionally, when an airplane’s electrical system has been modified, updated diagrams must be printed and distributed [3,4].

### Advantages of digital wiring diagrams



This new system provides an integrated view of flexible wiring diagrams and the data contained in traditional wiring reports. Data is provided in a format that is specific to a single airplane and can be updated more frequently than paper-based diagrams. Streamlining access to a vast array of wiring information can also enhance productivity by providing users with customizable views of information. For examples: airline maintenance teams can view a wiring diagram in one window and a list of parts associated with that view of the diagram in another window or detail view a very small subset of a much larger drawing.

The current routing process employed by EWIS design is largely based on the manual work of expert engineers, partially supported by conventional CAD systems. At interconnect wiring, we frequently use wiring diagrams to generate a routing list (a point-to-point termination database). Once the terminations are in a database format we can extract reference designator lists, work instructions for assembly, batch files for laser wire and Ref Des Id marking as well as many other valuable pieces of aircraft electrical harness and circuit breaker production data.

### **Bibliography:**

1. I. Moir and A. Seabridge, " Aircraft systems: mechanical, electrical, and avionics; subsystem integration", American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Reston, Virginia, (2001).
2. Mike Tooley and David Wyatt, "Aircraft electrical and electronic systems, principles, operation and maintenance", Butterworth-Heinemann, Dec. (2008).
3. Rosero, J.; Ortega, J.; Aldabas, E. & Romeral, L. (2007) Moving towards a more electric aircraft, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Vol. 22, (2007), pp. 3-9.
4. Румен Желязков Георгиев, Бордови и наземни средства за контрол, ISBN 978-954-753-163-5, проект BG051PO001-4.3.04-0016, НВУ "Васил Левски", Факултет „Авиационен”, 2013г., 150 стр.

## **ANALYSIS AND UNDERSTAND AIRCRAFT ELECTRICAL SCHEMATIC, WIRING AND BLOCK DIAGRAMS**

**Д. Мерджанов, К. Божилов**

***Резюме:** В тази статия се обсъжда особеностите на различните типови електрически чертежи свързани с експлоатацията на самолетната електрическа мрежа. Авторите се надяват да бъдат полезни на всички, които обслужват авиационни електрически системи или искат да получат по-задълбочени познания в областта на системите за окабеляване на самолета.*

### **Данни за авторите:**

Кристиян Пламенов Божилов, Национален Военен Университет "Васил Левски", Факултет "Авиационен", Катедра "Електротехника, автоматика и информационни технологии" – Долна Митрополия, Р. България, тел.: +359899153875, e-mail: kristiqnbozilov@abv.bg

Денислав Недялков Мерджанов, Национален Военен Университет "Васил Левски", Факултет "Авиационен", Катедра "Електротехника, автоматика и информационни технологии" – Долна Митрополия, Р. България, тел.: +359896909219, e-mail: denislav.merdjanov@abv.bg

# ANALYSIS OF STANDARDS REQUIREMENT FOR AIRCRAFT EQUIPMENT LIGHTNING PROTECTION

M. Georgiev, S. Nikolova

**Abstract:** Analysis the problems caused by lightning strikes affecting aircraft and avionics, various lightning strike protection (LSP) solutions have been developed for Inspection, Maintenance, and Testing. The main industrial standards recommendations are SAE ARP 5412A [1], SAE ARP 5414A [2] and U.S. Federal Aviation Administration Regulations applicable worldwide are described below.

**Keywords:** Lightning strikes, Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne (LSP) Equipment protection, lightning damage.

## 1. Introduction

Many airplane manufacturers specify DO-160G Section 22, lightning induced transient susceptibility, as a requirement for critical systems, like guidance, radars, communications, engine control, and heat and air controls. As you see in the following Figure 1, she presents the most susceptible parts like: aircraft fuselage, wing and tail flight controls, wing tips, fin tips, engine nacelles, and landing gear are the areas most likely to be hit by lightning strikes [1,2]

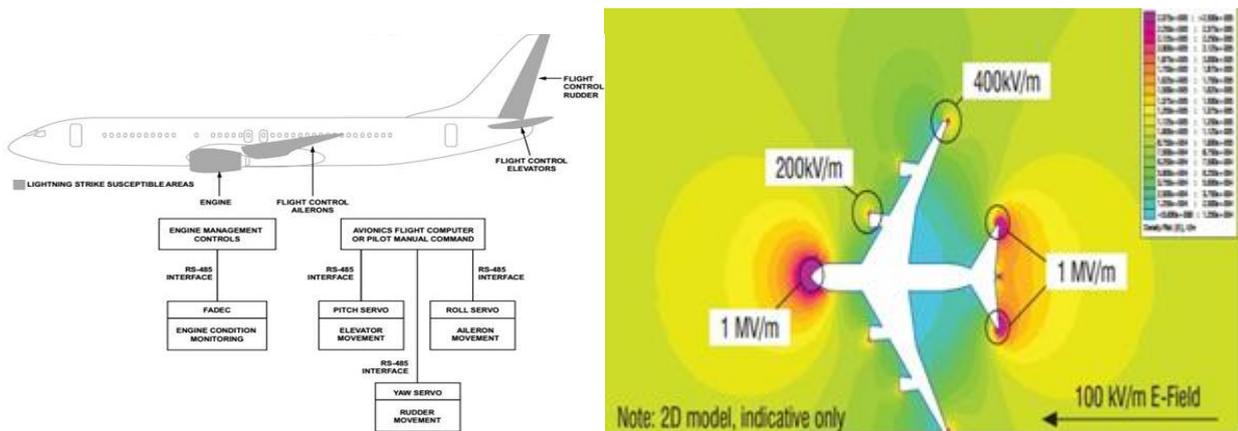


Fig.1. Lightning Strike Susceptible Locations on a Commercial Aircraft

On modern aircraft, the structure is increasingly constructed from composite materials, in particular carbon-fiber composite. There is also an increasing reliance on electronic avionics systems for primary control of the aircraft. Both of these aspects have made aircraft manufacturers pay greater attention to lightning protection and its certification through testing and analysis. Aircraft modifies the electric fields in its vicinity, which acts as a catalyst for lightning attachments: an uncharged aircraft located in an electric field will become polarized and the local electric field values at the aircraft surface will be magnified at those extremities aligned with the field, especially where the radius of curvature of the conducting structure is small, such as on wing tips, the tail tips, random protection strips, etc. [5,6]

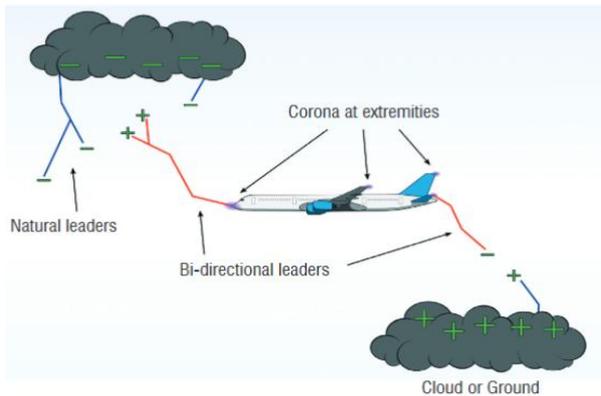


Fig.2. Lightning attachment process

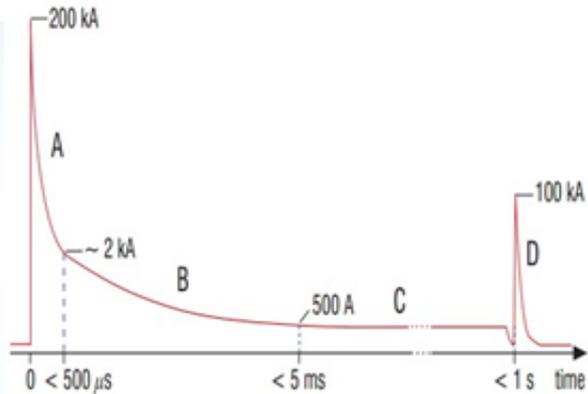


Fig.3. Schematic of the ED-84 standard

## 2. Scenarios of lightning strike in flight

Scenarios of lightning strike in flight: corona breakdown can result in the development of bi-directional leaders extending from the aircraft extremities, which may eventually connect with oppositely charged regions in the cloud. In the classic cloud to ground scenario, one of the charged regions would be ground. Through this process, the aircraft triggers a lightning strike, with itself being the direct path of the return stroke current flowing between the two attachment locations. Only about 1 in 10 strikes are intercepted attachments, which explain the reason for the relatively high strike rate of airborne aircraft compared to that of those on the ground [3].

This idealized current waveform is divided into four components, A to D (fig.3):

Component A is associated with the initial return stroke attachment location, for instance, near the nose and tail of the aircraft. Component D is associated with a re-strike, as the arc is swept along the aircraft. The peak current of the D is half that of the component A, but its Action Integral, the energy associated with the waveform, is an 8th (2 MJ/Ω for the A and 0.25 MJ/Ω for the D). This is due to this difference in the rise and fall times of the two components [4].

Components B and C form the long duration slow components, also known as the intermediate and continuing currents respectively. A long component C will only be injected at trailing edges where the lightning arc hangs on and cannot sweep to a further aft location.

Fast component damage (A and D):

- Joule heating, proportional to the action integral of the lightning waveform can cause thin conductors to fuse explosively, leading to damaging overpressures. In carbon-fiber materials, this heating can melt and vaporize the epoxy, leading to delaminating damage of the carbon fiber;
- Magnetic forces arising from the high currents can crush, or drive together/pull apart conductors;
- The acoustic shock caused by flash heating of the air by the lightning channel (thunder) can cause damaging overpressures, particularly inside radomes;
- Current flow within the structure can cause arcing and sparking across interfaces potentially igniting fuel vapor/air mixtures;
- Changing magnetic fields, created by the current flowing in the airframe, generate induced transient voltages in the wiring, which can cause damage or interruptions to the aircraft avionics systems.

Slow component damage (B and C)

Metals, particularly aluminum alloys, are not significantly damaged by the fast components; however, the charge transfer associated with the slow component can create local melting and puncture. Similarly, carbon-fiber composite can be damaged by the heating process of an attached arc. This is especially important for fuel tank skins.

The methods used to protect against this potential damage are assessed during High Current and Induced Effects testing. Knowing that these different components can cause different types and severity of damage, and therefore require different types of protection to be installed and tested [4, 5].

### 3. Test standards and certification

Regulations and test standards define procedures for the certification of aircraft structures and systems against lightning damage and also define the lightning characteristics to be considered [4,5].

Box - Simplified aircraft zoning

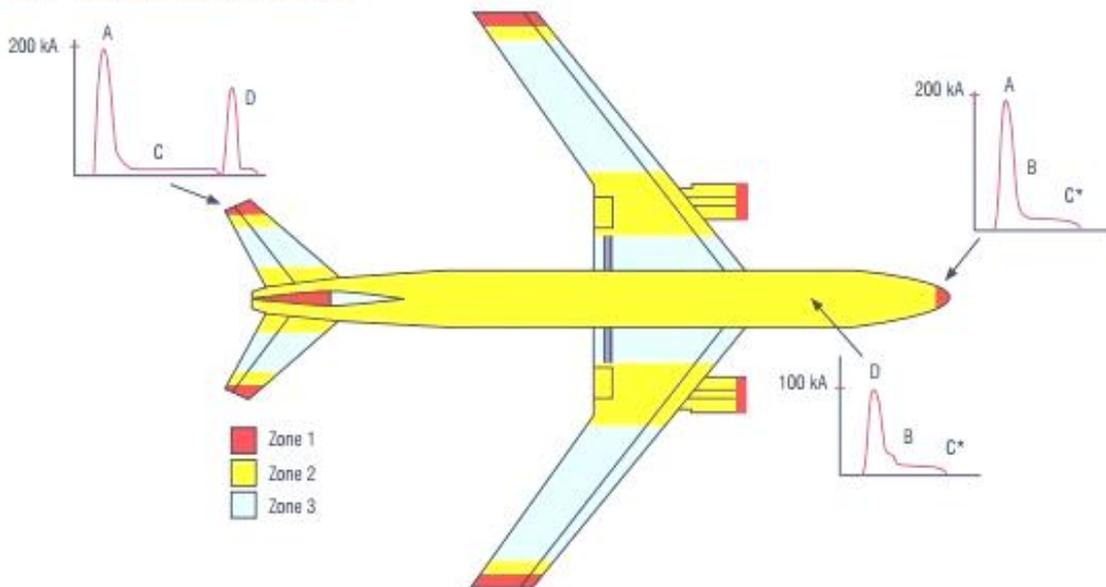


Fig.5. The guidance for zoning gives a series of templates for different aircraft geometries

There is a limited amount of data publicly available and there is also the question of data reliability, as it is not easy on a large metallic aircraft to find arc attachment points, and especially to determine the sequence of events behind the observed attachment points. Aircraft equipment are divided into zones, and each zone has an associated electromagnetic compatibility (EMC) environment [3].

To each of the 6 defined zones, a specific lightning current waveform is attributed. The highest current values (up to 200 kA) are attributed only to small areas, namely the nose, wings and stabilizers tips and the front parts of turbine housings, while the most of the fuselage belongs to the second zone, where the current values are much lower (up to 2 kA).

Due to the electrical power limitation of generators in facilities, it is actually impossible to reproduce simultaneously the voltage and the current damages on aircraft [6]. So, it has been decided to divide these tests into two large categories in order to reproduce the effects of lightning: high voltage testing and high current tests.

Their purpose is to:

- Determine the primary attachment points on a structure and permit to calculate the zoning of the aircraft.
- To test the dielectric parts of an aircraft two voltages waveforms are mainly used for these tests: a faster waveform A dedicated to reproduce the reattachment of the arc channel in zone 2 and the slowest waveform D more appropriated for initial attachment regions in zone 1 (see figure 5)

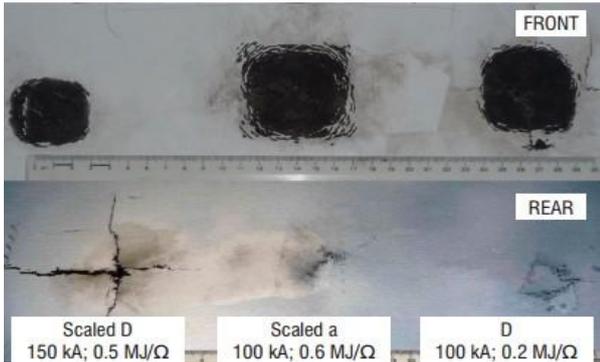


Fig. 6 Outer and inner views

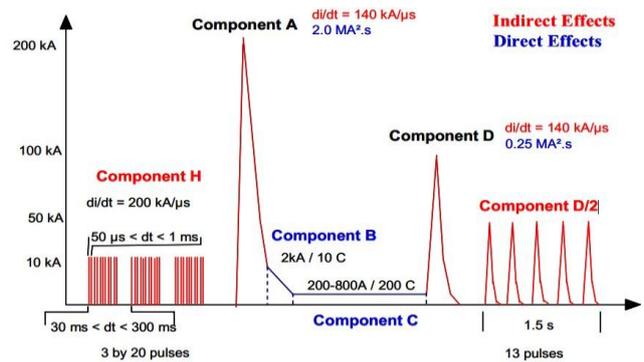


Fig.7 Voltage waveform

In such tests, the diameter of fused mesh relates closely to specific energy (action integral), but the shock effect (panel splitting) appears to be more a function of the peak current. For military aerospace and defense applications with added robustness that reduces system failures.

At the beginning of the aircraft design, the manufacturer defines a TCL (Transient Control Level): This is a stress lightning level that the equipment could be submitted during a worst-case lightning strike of the aircraft. Then, the aircraft manufacturer applies a margin in order to determine the ETDL (Equipment Transient Design Level) which is the level of certification required to the equipment manufacturer [2].

In this context, two types of tests are performed:

- Damage tolerance tests in order to validate the protections.
- Functional tests following predefined acceptance criteria.



Figure 8 –Lightning indirect effects tests



Figure 9 The M-346 aircraft during ESD testing

#### 4. Simulation and testing for electronic devices

For aircraft, there are two types of electrostatic charges [4, 5]:

- charges that are on a metal surface and create a potential difference between the surface and the surrounding air;
- charges formed, located and interacting on an isolated surface (glazing, antenna radomes, propeller blades made of composite materials, etc.). In this case, a rather large potential difference may occur not only between the surfaces and the ambient air, but also between two, even very close points of the surface.



**Fig.10. Static Dischargers for aircraft platforms**

On aircraft, static dischargers are used on the trailing edges of wings and other surfaces. To prevent the negative effects of static electricity on aircraft, the following protective measures are installed: Jumpers metallization connecting the individual elements of the design of the aircraft between themselves and the mass of the aircraft.

### 5. Conclusions

It is important to remember that the aircraft during a thunderstorm cannot be completely protected from discharges. Therefore, systems are used that would compensate or negate all falling charges. In the process of movement the aircraft can get not only under the influence of a natural phenomenon that occurs by itself, but also independently generate or cause such discharges.

Protection of the aircraft from lightning can be done in various ways. Often several types and technologies are used simultaneously on the same machine. It is worth noting that the main task of such systems is as follows: the exception of the occurrence of the slightest spark in the fuel system of the aircraft (this is especially important for fuel tanks located in the wings); compensation of the internal charge, which accumulates as a result of the work of turbines, electronics and the interaction of the aircraft body with the charges of the clouds (own charge can cause lightning discharges when flying through clouds that carry positive charges); protection of electronics, crew and passengers from electric shock; shielding of engines and radar systems; remove corona effect and etc.

Forty years ago solid metal construction of the airframe worked like a camera Faraday with extremely low impedance propagation path. A typical jet built today is as little as 20% pure aluminum. Most of the non-critical structural material – paneling and aesthetic interiors – now consist of even lighter-weight carbon fiber reinforced polymers (CFRPs), honeycomb materials, or ceramic-matrix composites (CMCs). These materials are tested continuously to determine degree of protection from static discharges and lightning protection.

### Bibliography:

1. Franklin A. Fisher and J. Anderson Plurmer, *Lightning Protection of Aircraft*, NASA Lewis Research Center, 1977.
2. Advisory Circular No: 20-136B, FAA, *Aircraft Electrical and Electronic System Lightning Protection*, Date: 9/7/11.
3. EUROCAE ED-91 – *Aircraft Lightning Zoning Standard. Amendment 2*, 2006.
4. P. LALANDE, A. BONDIOU-CLERGERIE, and P. LAROCHE – *Analysis of Available In-Flight Measurements of Lightning Strikes to Aircraft*. Paper 1999-01-2397, International Conference on Lightning and Static Electricity, Toulouse, 1999.
5. Society of Automotive Engineers. *Aerospace recommended practice – 5414 Rev A: Aircraft Lightning Zoning*, SAE International Edition, 2005.



6. Румен Желязков Георгиев, Бордови и наземни средства за контрол, ISBN 978-954-753-163-5, проект BG051PO001-4.3.04-0016, НВУ”Васил Лески”, Факултет „Авиационен”, 2013г., 150 стр.

**ИЗИСКВАНИЯ НА СТАНДАРТИТЕ КЪМ КОМПОНЕНТИТЕ НА  
АВИАЦИОННИТЕ МЪЛНИЕЗАЩИТНИ СИСТЕМИ**

**М. Георгиев, С. Николова**

***Резюме:** В настоящата статия са разгледани изискванията на авиационните стандарти за начините на защита на въздухоплавателните средства от натрупване на статични заряди и мълнезащита. Направен анализ на изискванията при формиране на отделните защитени зони. Разгледани са характеристиките на тестови модел за изпитания и сертификация на авиационно оборудване, като са обсъдени предимствата и недостатъците на отделните технически решения.*

**Данни за авторите:**

Мартин Василев Георгиев, Национален Военен Университет “Васил Левски”, Факултет “Авиационен”, Катедра "Електротехника, автоматика и информационни технологии" – Долна Митрополия, Р. България, тел.: +359899153875, e-mail: irritant17@gmail.com

Снежана Стоянова Николова, Национален Военен Университет “Васил Левски”, Факултет “Авиационен”, Катедра "Електротехника, автоматика и информационни технологии" – Долна Митрополия, Р. България, тел.: +359896909219, e-mail: snej98\_@abv.bg



# МОДЕЛИРАНЕ ДВИЖЕНИЕТО НА КВАДРОКОПТЕР В ТУРБУЛЕНТНА АТМОСФЕРА

М. Камбушев

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани причините за възникване на атмосферната турбулентност и начините за моделирането ѝ. Към разработен математичен модел на реален квадрокоптер е добавен модел на атмосферна турбулентност на Dryden.

**Ключови думи:** квадрокоптер, вятър, турбулентност, Dryden.

## 1. Въведение

Без значение от конструкцията, всички видове летателни апарати се влияят от атмосферната турбулентност и въздушните течения. В зависимост от размера, типа и височината на полета, атмосферните смущения им влияят по различен начин [5,6]. Едно и също смущение действащо на безпилотен летателен апарат летящ голяма височина [2], например БЛА Predator, и на квадрокоптер летящ на няколко метра над земята, ще окаже в първия случай минимално или никакво въздействие върху параметрите на полета, а от там и върху правилното изпълнение на задачата, докато при квадрокоптера може да доведе и до сблъсък със земята или близко намиращо се препятствие (сграда, дърво и т.н) [1].

Много от предлаганите на пазара коптери от висок клас могат да летят при наличие на вятър, ако са на голяма височина или на открито пространство, но не са способни да изпълнят безопасен полет при наличие на турбулентност.

Трудности могат да възникнат и при управлението на БЛА в реално време от оператор, който управлява БЛА по визуален способ, чрез стандартните системи за дистанционно управление [4]. Поради това, изследването на поведението на БЛА при наличие на турбулентност е актуална задача, резултатите от която са полезни при проектирането и експлоатацията на БЛА.

## 2. Атмосферна турбулентност и моделирането ѝ.

При моделиране на атмосферата най-голямо разпространение е получил моделът, наречен Международна Стандартна Атмосфера [7].

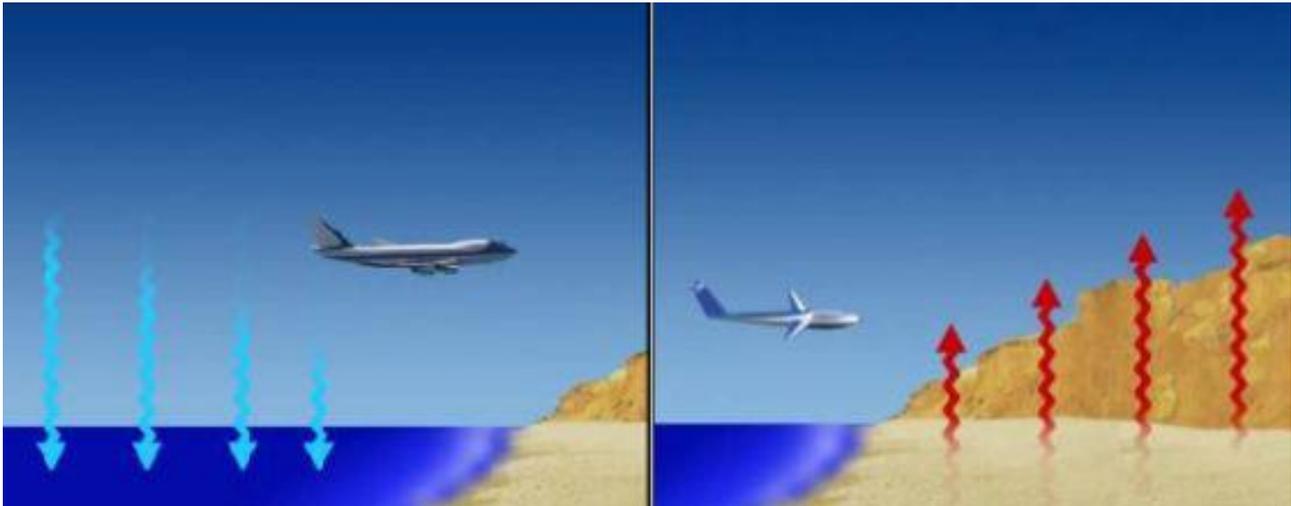
Причината за възникване на въздушните течения е неравномерното разпределение на въздушното налягане в атмосферата. В зависимост от сезона, мястото над земната повърхност, релефа на местността и наличието на пари в атмосферата въздухът се нагрява различно от слънцето. При това, между различните слоеве в хоризонтално и вертикално направление възникват значителни температурни разлики, водещи до изменение на плътността и налягането. Следователно, предадената от слънцето топлинна енергия се преобразува в движение на въздушните частици. Те се движат с различни скорости и с различни направления. Ако скоростта на частиците превиши определена граница движението става турбулентно. Такова движение има случаен характер и е съпроводено със значително вихрообразуване [9].

Всички въздушни течения могат да се разделят на два вида: вертикални и хоризонтални.

Вертикалните течения включват възходящи и низходящи потоци, облачни течения и вихри. Влиянието на тези течения върху полета зависи от големината на вертикалната съставяща на скоростта на движение на въздуха, пространствената област, която заема самото течение, скоростта на полета и др.

Хоризонталните течения включват постоянни по големина и направления ветрове, ветрови слоеве, пориви, вълни и вихри.

Възходящите потоци възникват при издигането на нагретия от съприкосновението със земната повърхност въздух. Такива потоци често се наблюдават в тихи летни следобеди. Скоростта на издигане на топлия въздух понякога достига до  $10\div 12$  m/s. При въздействие на едно от крилата на самолета разпределението на подемната сила се променя и самолета се получава крен. В момента на влизане и излизане от такъв поток самолета получава внезапен гласък. При възходящ поток самолета получава прираст на подемна сила, а при низходящ подемната сила намалява и се появява тенденция за пропадане.



Фиг. 1 Вертикални въздушни течения [12]

Възходящи и низходящи потоци се наблюдават и при движение в облаци. При това в границите на облака въздухът се издига нагоре, а между облаци се спуска надолу. Нарича се “конвектно индуцирана турбулентност” [12].

Отделните слоеве въздух се различават по температура, влажност и плътност, поради това те започват да се преместват един спрямо друг, в резултат на което се образуват ветрови слоеве. Известно е, че на границата на два въздушни слоя движещи се един спрямо друг се образуват вълни, които могат да са опасни за самолета. Попадайки в такава област самолета започва да тресе.

При всички видове въздушни течения се наблюдават и пориви на вятъра. Те се характеризират с резки изменения на скоростта и посоката на движение. Поривите са най-различни по големина и посока. При това, колкото е по-голяма средната скорост на течението, толкова по-интензивен е порива. В зависимост от големината и направлението на порива, самолетът започва да изпитва резки издигания и спускания, получава и странично плъзгане.

Скоростта на вертикалните пориви на вятъра в тропосферата и низките слоеве на стратосферата могат да достигнат  $10\div 12$  m/s при мощност на турбулентния слой до 1000 m и в хоризонталната равнина до 200 000 m. Най-силна турбулентност се наблюдава на височина  $7000\div 10\ 000$  m.

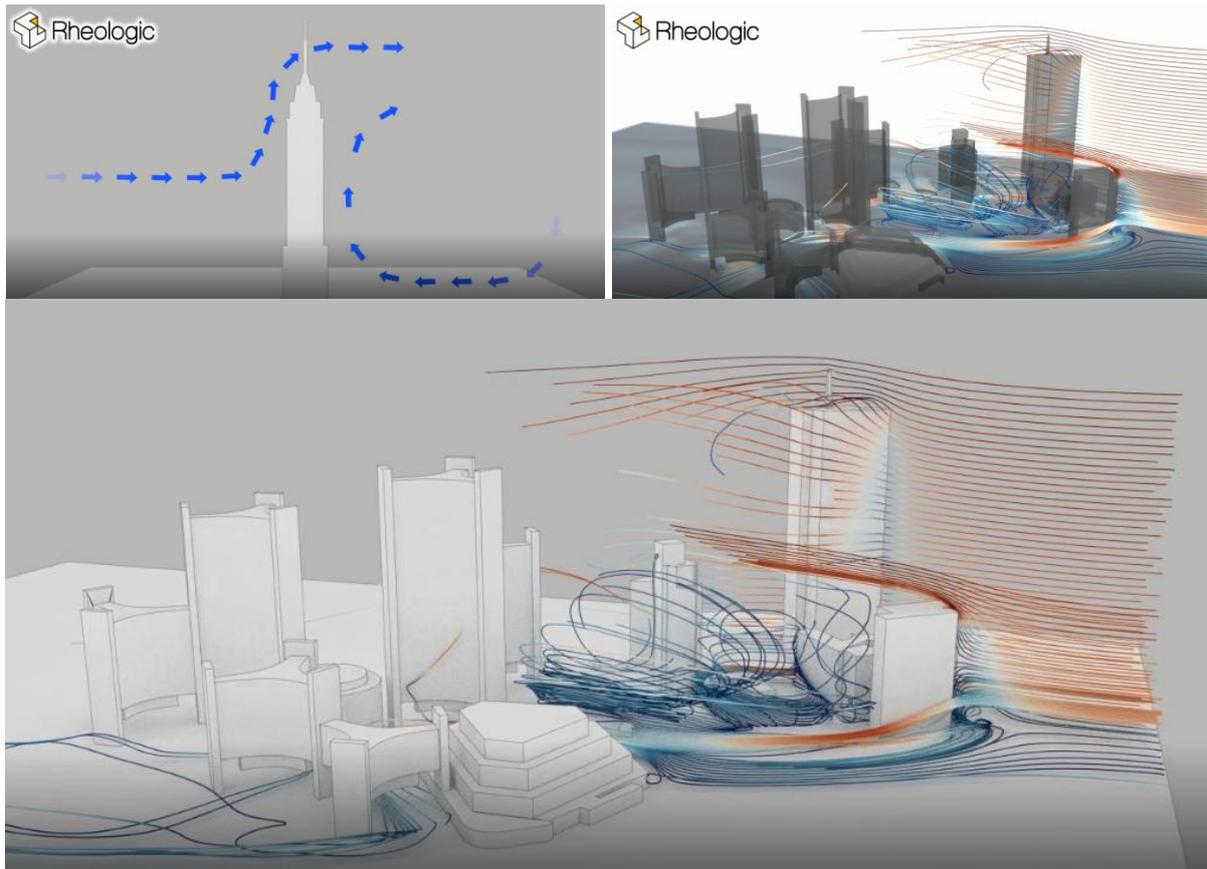
Хоризонталните пориви на вятъра, а така също и хоризонталните течения, имат значително по-големи скорости от вертикалните, като с увеличаване на височината скоростта им се увеличава. Скоростта на такива пориви на вятъра на височина  $7000\div 10\ 000$  m може да достигне 20 m/s, а на по-големи височини и по-големи стойности [8].

Всяко въздушно течение е съпроводено с вихрообразуване. При това, колкото по-голяма е скоростта на течението, толкова по-голяма е скоростта на въртене на вихъра.

Образуването на вихри е в резултат на турбулентното движение на въздуха. Турбулентността се предизвиква от триенето на въздуха с повърхността на земята, топлинното движение, триенето между слоевете въздух и др.

Вихрите, съпътстващи турбулентното движение, могат да имат вертикална или хоризонтална ос на въртене, като по-често се срещат с хоризонтална ос на въртене.

При полет с квадрокоптер в градска среда наличието на въздушно течение или порив на вятър може да предизвика появата на силна турбулентност на неочаквани места. Причина за това е взаимодействието на въздушните маси с различните сгради [10].



Фиг. 2 Турбулентност в градски условия [11]

При моделиране на турбулентността най-често се използват моделите на Dryden и Karman [8].

Променливата съставляваща на скоростта на вятъра се описва със статистически методи. Всички те използват в една или друга степен допускания за: еднородност, изотропност и стационарност. При тези допускания статистическите характеристики зависят само от разстоянието между точките и интервала на осредняване:

$$V_c = V_c(X, t) = V_c(V, t) \quad (1)$$

Разпределението на вятъра в пространството се счита за замразено, а в зависимост от времето се приема, че самолетът пронизва това разпределение (хипотеза на Гейлор). За оценка на изотропната турбулентност се използват две компоненти на случайната скорост на вятъра: съставляваща по допирателната към траекторията  $V_t$  и нормална съставляваща  $V_n$ .

Статистическата обработка на експерименталните резултати се свежда до апроксимация с емпирични формули, при които спектралните плътности се явяват дробно рационални функции на честотата [3, 8]. По такъв начин ветровите въздействия се

представят като бял шум пропуснат през линейни формиращи филтри с класическа структура. Функциите на спектралната плътност са [8] :

$$S_u(\Omega) = \sigma_u^2 \frac{2L_u}{\pi} \frac{1}{1 + (L_u\Omega)^2};$$

$$S_v(\Omega) = \sigma_v^2 \frac{2L_v}{\pi} \frac{1 + 12(L_v\Omega)^2}{(1 + 4(L_v\Omega)^2)^2};$$

$$S_w(\Omega) = \sigma_w^2 \frac{2L_w}{\pi} \frac{1 + 12(L_w\Omega)^2}{(1 + 4(L_w\Omega)^2)^2},$$
(2)

където:

$\sigma$  е дисперсията на турбулентното движение;

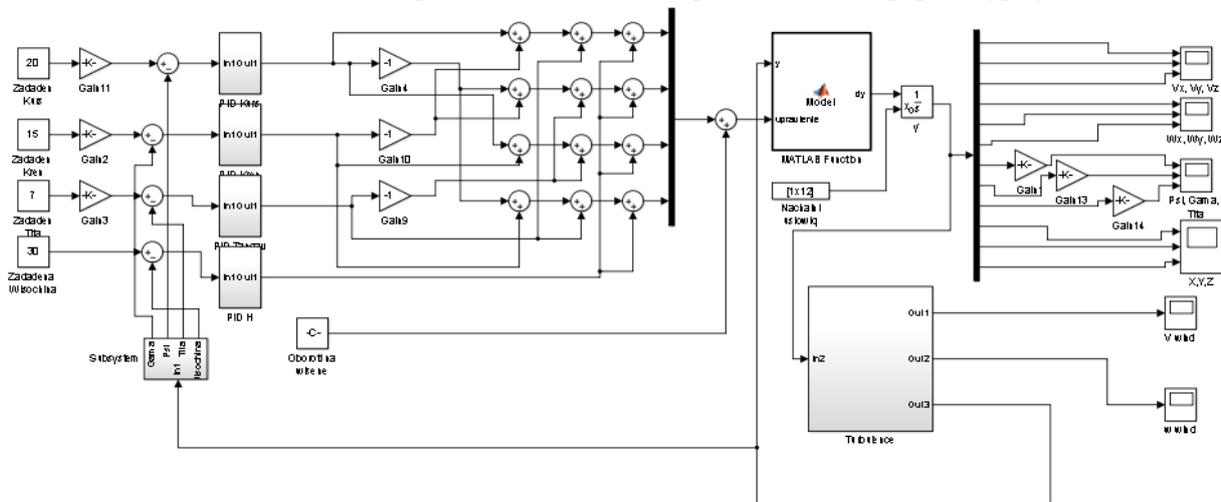
$L$  - мащаб на турбулентността;

$\Omega$  – пространствена честота;

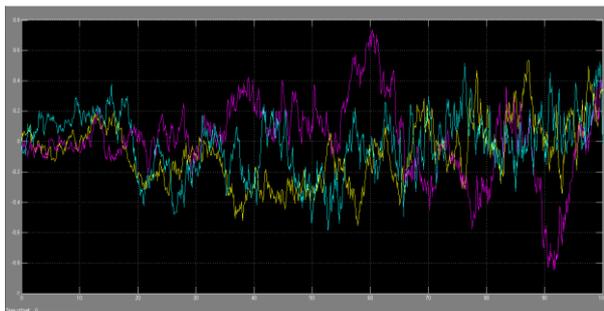
$S$  - разстояние между две точки от полета на турбулентността.

### 3. Добавяне на атмосферни смущения към модел на полета на квадрокоптер.

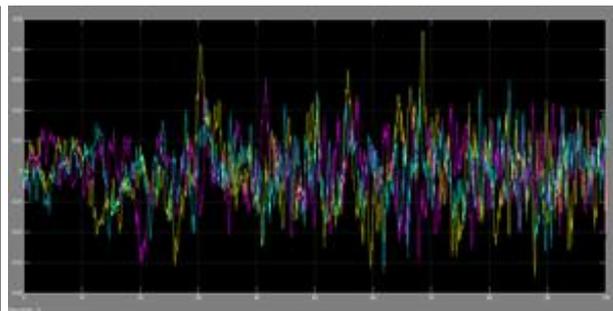
Към предварително създаден и изследван модел на квадрокоптер е добавен модел на Dryden за атмосферна турбулентност[8, 13]. Моделът на квадрокоптера е създаден в средата на Simulink. Използван е стандартен блок за моделиране на атмосферна турбулентност.



Фиг.3 Модел на полета на квадрокоптер с добавени атмосферни смущения



Фиг.4 Модел на постъпателните смущения по трите оси на квадрокоптера



Фиг.5 Модел на вихровите смущения добавени към ъгловите скорости по осите на квадрокоптера



### 4. Изводи

- Разгледани са причините за възникване на турбулентност.
- Създаден е модел на полета на квадрокоптер с добавени атмосферни смущения.
- Полученият модел може да се използва за изследване поведението на БЛА и настройка на системите за автоматично управление при наличие на атмосферни смущения.

### Литература:

1. Билидеров С. Георгиев Р., Автоматично управление на полета на малки и пределно малки височини. ЮНС на Факултет „Авиационен“, том 2, Д. Митрополия, с.281-290, ISBN 978-954-713-080-7 (т. 2). 2006г.
2. Билидеров С., Управление на автономен безпилотен летателен апарат по зададена траектория. III национална студентска научно-техническа конференция на ТУ-София, с. 79-86, ISBN 978-954-438-647-4. 2007г.
3. Георгиев Р. Ж. Технически средства и алгоритми за обработка на полетна информация. Д. Митрополия –Факултет “Авиационен”, 2004, 284стр.
4. Димитров Д. Увеличаване броя на пропорционалните команди при апаратурите за радиоуправление на дистанционно пилотируеми летателни апарати, Сборник от доклади на ЮНК, Издателски комплекс на НВУ „В. Левски” – Факултет „Авиационен”, 2014, с. 123-129, ISBN 978-954-713-216-8.
5. Маринов А. Влияние на турбулентния модел върху аеродинамичните характеристики на профил НАСА64А410 при числено симулиране. НВУ „Васил Левски”, 2010 г. ISBN 978-954-713-094-4.
6. Маринов А.А., Христов Т.М., Срез на вятъра в дадена точка от траекторията на полета, Годишна международна научна конференция на факултет „Авиационен“, 2019 г., сборник доклади, 62-69 стр., ISBN 978-954-713-123-1.
7. Doc. 7488/2., Manual of the ICAO Standard Atmosphere
8. “Military standard, flying qualities of piloted aircraft,” MIL-STD-1797A, 1990
9. <https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%B%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82> 20.04.2019г.
10. <https://skyvideo.wordpress.com/2015/12/31/understanding-turbulence/> 20.04.2019г.
11. <https://rheologic.net/en/urban-wind-assessment> 20.04.2019г.
12. [https://nauka.offnews.bg/news/Fizika\\_14/Zashto-vnezapno-vaznikva-turbulenciiia-dokato-se-vozm-sas-samolet-v\\_81188.html](https://nauka.offnews.bg/news/Fizika_14/Zashto-vnezapno-vaznikva-turbulenciiia-dokato-se-vozm-sas-samolet-v_81188.html) 20.04.2019г.
13. <https://www.mathworks.com/help/aeroblks/drydenwindturbulencemodelcontinuous.htm> 1 20.04.2019г.

## MODELING THE MOVEMENT OF QUADROPTER IN TURBULENT ATMOSPHERE

**M. Kambushev**

**Abstract:** *In this paper we examine the causes of the atmospheric turbulence and its modeling. Dryden's atmospheric turbulence model has been added to a mathematical model of a real quadrocopter.*

### Данни за автора:

Мартин Миленов Камбушев, главен асистент доктор инж., катедра “Електротехника, автоматика и информационни технологии” при ФА Долна Митрополия, Р. България, тел. 0887 525331, e-mail: mmkambushev@nvu.bg



# APPLICATION OF MACHINE VISION SYSTEMS FOR AUTONOMOUS TRAIN OPERATION

M. Pavlović, I. Ćirić, V. Nikolić, M. Simonović, D. Stamenković, J. Stevanović

**Abstract:** *This paper presents application of machine vision systems based on thermal and night vision camera for autonomous train operation (ATO). Those systems can operate in low-light and night conditions, and captured images are processed by advanced image processing algorithm in order to detect obstacles on rail tracks and in their close vicinity. Furthermore, homography based method is used for estimation of distances between detected obstacles and thermal camera. The results showed satisfying detection and distance estimation, and that this kind of machine vision systems can be part of complex ATO module.*

**Key words:** machine vision, obstacle detection, autonomous train operation.

## 1. Introduction

In future decades, automation of railway transport will be inevitable. Realization of that very complex task will be done through big projects including many fields of engineering. However, main reason for that is creating modern railway with improved safety, quality, effectiveness and capacity, etc. through implementing novel and modern technical solutions in order to offer cost-effective, flexible and attractive service for people and industry. One of important parts of automated system with reduced driver supervision is Autonomous Train Operation (ATO) module. This module includes many complex systems, among which is obstacle detection system, which should detect object on certain distance, in order to achieve on-time braking.

However, for correct detection of object/obstacle, effective machine vision system is required. The role of machine vision system is to use vision sensors in any illumination conditions, perform image processing and analysis and obtain information of existence of obstacle on railway infrastructure. Visibility of the object has great impact on further processing. As the lighting conditions are different on the field, monochromatic and RGB cameras can be used as vision sensors in conditions of day light and good illumination [1], while those systems are unusable in low-light conditions and at night.

In this paper, utilization of machine vision systems with thermal and night vision cameras for ATO is presented. Those cameras are used for acquisition of images at night, while processing of images is powered by advanced algorithms for detection of obstacles on rail tracks and in their close vicinity, as well as estimation of distances between thermal camera and detected obstacle.

## 2. Machine vision system

According to the definition by the Machine Vision Association of the Society of Manufacturing Engineers and the Automated Imaging Association, machine vision represents use of devices for optical, noncontact sensing to automatically receive and interpret an image of a real scene in order to obtain information and/or control machines or process [2]. The concept of machine vision was developed in 1930's, with food sorters machine produced by a company Electronic Sorting Machines. In this machine, specific filters and photomultipliers were used as detectors for specific type of food. In fact, concept of machine vision is based on using of human vision principle in machine.

Nowadays, machine vision systems include a large number of technologies, software and hardware products, integrated systems, actions, methods and expertise.



Principle of machine vision systems is used in a wide range of industrial and non-industrial sector, using of different hardware and software solutions, for example, testing, inspection, monitoring, data acquisition, different types of control, etc. In machine vision systems, there are three main activities: image formation/acquisition, image processing, and image analysis/decision making action [2]. Each phase has own function in machine vision system and has implemented multiple scientific approaches and techniques in order to perform given assignment and to provide satisfactory results.

Machine vision begins with an image, captured with camera, i.e. a sensor acquires electromagnetic energy from a scene. However, quality of image is very important in machine vision, because in next activities, captured image will be processed. Quality of image depends of the used sensor, existence of light in scene, illumination, external and environmental conditions. Captured image is transferred to computer for processing. This activity is generally performed in order to improve or enhance the image. For that purpose, many techniques can be used as different filtering, contrast enhancement, blurring, etc. In many cases, this activity is unified with image analysis, because application of certain techniques in image processing is in direct relations with image analysis, in order to get some information, so-called features. In addition to the already mentioned techniques, thresholding, pixel counting, segmentation, pattern recognition, etc. can be used as a part of image processing and image analysis. Also, in the most cases, a combination of several image processing techniques must be used, for obtaining satisfactory results. Proper selection and use of applied techniques, has great effect on decision making action, because after extracting of features from the image, system compares the features with previously developed standards or patterns, and outputs the results usually in the form of a response. On the other side, extracted features can be used for further analysis in order to obtain output as a different kind of information, for example object existence, classification of the object, is that object obstacle or not, etc.

### **3. Autonomous train operation**

The quality and cost competitiveness of railway need to be considerably improved. Railway must follow trend of transport automation for its own advantage to offer cost-effective, flexible and attractive service. Nowadays, automation of transport and logistics becomes more and more represented in modern harbors, with Automated Guided Vehicles (AGVs) that carry shipping containers from crane to trackside, warehouses, distribution centers, etc. However, auto-pilots are standard on air carriers and huge cargo ships, that requires minimum on-board personnel and with minimum mistakes. Development of autonomous cars and trucks has already in serious phase. Accordingly, automation of railway is very clearly imposed as a need, in order to provide quality, reduce of costs, reliability, etc.

Development of autonomous systems in railway has been present mainly in the area of in public transport services (driverless metro lines, light rail transit (LRT), people movers, and automated guided transit (AGT)). The basic idea was to use certain level of automation in order to transfer operation tasks from the driver to the train control system. According to The International Electrotechnical Commission (IEC) standard 62290-1, Autonomous Train Operation (ATO) is part of highly automated system with reduced driver supervision (Fig 1) [3].



Fig. 1 Grades of Automation and Train Control Systems [3]

The objectives of ATO are to improve the quality of rail freight in terms of punctuality, reliability and flexibility, to reduce the operating costs maximizing energy savings and resource efficiencies, to increase transport capacity on lines and hubs of the European TEN-T network and to make an important contribution to the vision of a fully automated rail freight system [4].

System for obstacle detection on railway is one of the important parts of ATO module over standardized interface. That system represents machine vision system with hardware and software solutions, in order to provide reliable information of obstacle existence on railway and/or in close vicinity, and to estimate distance from system to the detected obstacle. However, obstacle detection system should operate in different light conditions – day, low-light and at night, as well as in different weather and environmental conditions, that have great effect on selection of sensors. In addition, advanced image processing algorithms should provide satisfactory results in real time.

#### 4. Application of machine vision system for obstacle detection

The good visibility of the object has crucial importance in machine vision system. The great impact on visibility of the object has illumination of the object. However, due to different illumination conditions, as well as in low-light conditions and at night, visibility of objects can be reduced and those cameras cannot give satisfactory results, and thus object detection can be difficult and, in many cases even impossible. In these very specific conditions, thermal imaging system can be used, as well as night vision system.

Thermal imaging system operates in the invisible infrared region of the spectrum and because of that it is suitable for use in low light conditions, as well as at night [5]. For detection of obstacles on rail tracks and in their close vicinity, in [6] machine vision system based on thermal camera is used. Beside camera, as vision sensor, this system includes advanced image processing algorithm, which was tested on a set of images captured with thermal camera at night conditions, in order to achieve greater reliability and robustness. The goal of this system was to detect and localize rail tracks, to detect and mark objects/obstacles on rail tracks and/or in their close vicinity and to estimate distances between camera system and detected objects. The first step was capturing of images with thermal camera.

After image acquisition, Canny edge detector was chosen for detection and localization of rail tracks. Based on detected and localized rail tracks, region of interest (ROI) was defined, i.e. region where object detection will be performed. For detection of objects, i.e. obstacles, region based segmentation method with optimal threshold range, was used.

Four object/obstacles were detected in defined ROI, and marked with yellow rectangle, while detected rail tracks are marked with green color (Fig. 2, a), b)). In order to estimate distance from camera system and detected objects, homography based method was used [6]. Estimated distances are shown on Fig. 2, c).

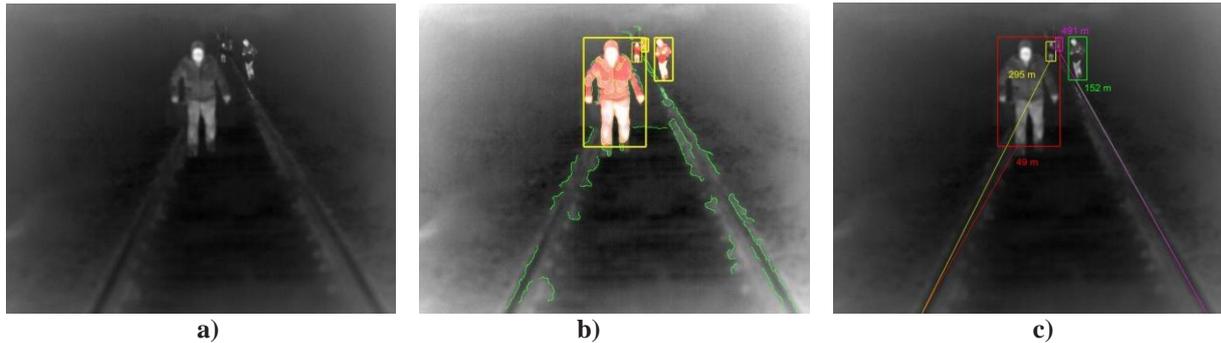


Fig. 2 Use of thermal camera for object detection and distance estimation [6]

In addition, machine vision system with night vision camera can be used at night conditions for object detection. However, this kind of camera is based on collecting of the tiny amounts of light, that are present in environment but may be imperceptible or is not enough for human eyes, and amplifying it to the point that user can easily observe the image [7]. In this case, after image acquisition with night vision camera at night conditions, rail tracks were detected using of region based segmentation method, in order to define ROI. Starting from the assumption that an obstacle exists at the place where rail tracks have discontinuity. i.e. where rail tracks are interrupted, continuity of detected rail tracks is analyzed.

Considering that, in cases where rail tracks were interrupted, image segmentation with optimal threshold was used for object detection. If object were not detected on rail tracks or in their close vicinity, i.e. in ROI, there were no obstacles (Fig. 3). In case when object is detected on rail tracks, between them or in their close vicinity, that object is marked as an obstacle and round with red rectangle (Fig 4.) [7].

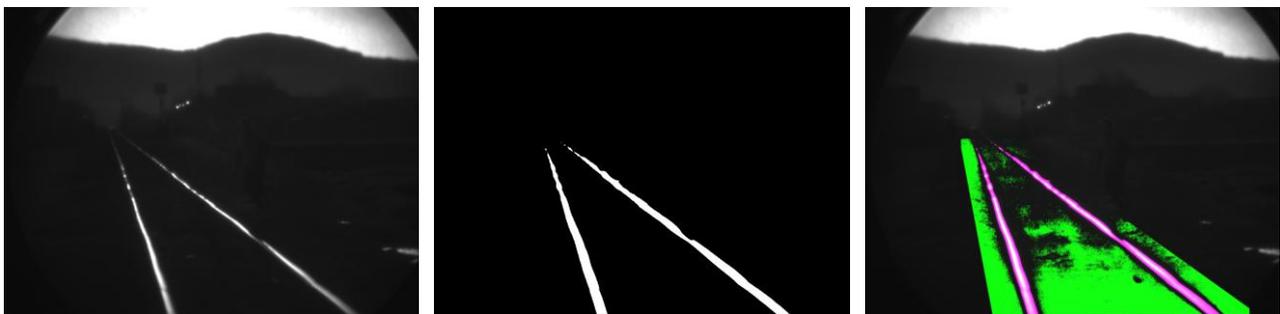


Fig. 3 Object is next to the right rail track – not an obstacle [7]



Fig 4. Object between rail tracks – marked as an obstacle [7]

#### 4. Conclusion:

Modernization of railway transport necessarily includes its automation in order to increase safety, quality, effectiveness and capacity in transport of goods and passengers. Implementing Autonomous Train Operation (ATO) module provides many benefits, especially with obstacle detection system as one of the key elements. That system should operate in any illumination conditions. In this paper, machine vision systems with thermal and night vision cameras as vision sensors for obstacle detection on rail tracks, is presented. Captured images are processed with advanced image processing algorithm with goal to detect obstacle on rail tracks and in their close vicinity, and estimate distance between thermal camera and detected obstacle. Results showed that this machine vision systems can provide reliable obstacle detection at night and low-light conditions, and can be implemented in ATO module.

#### Acknowledgment:

This research has been done in framework of Horizon 2020 Shift2Rail project "Smart Automation of Rail Transport - SMART".

#### Literature:

1. Pavlović, M., et. al. Methods for detection of obstacles on railway level crossings, 17<sup>th</sup> Scientific-Expert Conference on Railways RAILCON '16, Niš, Serbia, 2016.
2. Zuech, N., Understanding and Applying Machine Vision, Marcel Dekker, Inc., New York, USA, 2000.
3. Pieriegud, J., Digital Transformation of Railways, Siemens Sp. z o.o., 2018, Poland.
4. Multi-Annual Action Plan, Shift2Rail, 2015, Brussels.
5. Pavlović, M., Nikolić, V., Ćirić I., Ćirić, M., Application of thermal imaging systems for object detection, 13<sup>th</sup> International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering DEMI 2017, Banja Luka, Republic of Srpska, 2017.
6. Pavlović, M., Ćirić I., Ristić-Durrant, D., Nikolić V., Simonović M., Ćirić, M., Banić, M., Advanced thermal camera based system for object detection on rail tracks, Thermal Science, Vol. 22, Suppl. 5, 2018.
7. Pavlović, M., Ćirić I., Nikolić V., Petrović, E., Radovanović, D., Night vision based system for ATO obstacle detection, 18<sup>th</sup> Scientific-Expert Conference on Railways RAILCON '18, Niš, Serbia, 2018.



**Data Author's:**

Milan Pavlović, MSc in Mechanical Engineering, Department for Mechatronics and Control at Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Republic of Serbia, Aleksandra Medvedeva № 14, +38118588-255, e-mail: milanpavl@gmail.com

Dr.-Eng. Ivan Ćirić, Assistant Professor, Department for Mechatronics and Control at Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Republic of Serbia, Aleksandra Medvedeva № 14, +38118588-255, e-mail: ciric.ivan@gmail.com

Prof. Dr.-Eng. Vlastimir Nikolić, Department for Mechatronics and Control at Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Republic of Serbia, Aleksandra Medvedeva № 14, +38118588-255, e-mail: vnikolic@masfak.ni.ac.rs

Dr.-Eng. Miloš Simonović, Assistant Professor, Department for Mechatronics and Control at Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Republic of Serbia, Aleksandra Medvedeva № 14, +38118588-255, e-mail: misa.simonovic@gmail.com

Prof. Dr.-Eng. Dušan Stamenković, Department of Mechanical Constructions, Development, and Engineering at Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Republic of Serbia, Aleksandra Medvedeva № 14, +38118588-255, e-mail: dusans@masfak.ni.ac.rs

Jelena Stevanović, MSc in Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Niš, Republic of Serbia, Aleksandra Medvedeva № 14, +38118588-200, e-mail: stevanovicjelena@live.com



# MACHINE LEARNING TOOLS FOR UNMANNED VEHICLES MANAGEMENT DEVELOPMENT

M. Kurtev, N. Robson, V. Trenev

**Abstract:** *In the paper a set of machine learning tools for development of effective management and control systems for unmanned vehicles is proposed. Various unmanned (especially aerial) vehicles management missions and strategies are discussed. Furthermore, their effectiveness measures are shown. The applicability of different machine learning algorithms for developing software agents that can carry out effectively the specified missions is analyzed. A development system for vehicle management system physical testing and performance evaluation is discussed.*

**Key words:** machine learning, tools, effective management, control systems.

## 1. Introduction

Artificial Intelligence (AI) is a fast-growing and quickly developing interdisciplinary field. The term was first coined in 1956 during a conference in Dartmouth College, organized by John McCarthy [1]. It relates to intelligence manifested by a computer machine, that is close to an actual human intelligence in terms of reasoning, learning and decision making. Machine learning is a subfield of AI, that refers to a subset of algorithms that analyze big sets of data and extrapolate information in terms of data patterns and relationships within that data. The “behavior” of such algorithms, is in contrast to traditional rules-based programming. Therefore, it simulates a process where a computer would “learn” from a give dataset. This report aims to provide an overview of the different algorithms and strategies used to improve the autonomy in terms of control, endurance and data analysis in the context of unmanned vehicles.

## 2. New technologies that enable and drive demand for ML usage in UV systems

There are many factors that came together to foster an environment where AI and ML are now highly demanded by both science and industry. The exponential growth of improvement in semiconductors and sensors, as well as electrochemical systems and energy storage devices such as lithium-ion batteries, super conductors and fuel cells [2]. This fast pace of technological development also drives creation of new state-of-the-art software. In the same time U(A)V's have become cheaper and more accessible in recent years mainly due to the above factors therefore, the demand for new more “intelligent” software is created for tackling more complex tasks.

## 3. ML capabilities for improving U(A)V's management systems.

AI and ML have flourished in recent years due to enhancement of hardware devices multicore CPUs and GPUs, as well as the growing market for commercial application within smartphone and PC software. ML is generally perceived as a subfield of AI, like others - natural language processing (NLP), knowledge representation and more. It can be divided into three groups – supervised, unsupervised and reinforcement learning [3].

*Supervised learning* – this is the process of using labeled data in order to train a model to predict future behavior or outcome, it is often employed in classification problems throughout industry and academia. It can be realized through a variety of models and techniques like regression analysis, support vector machines (SVM) or neural networks.

*Unsupervised learning* – On the other hand is a type of learning that does not require predefined labels of outcome, but instead the algorithm divides the data into groups that show statistical similarities. It can be realized via K-means algorithm or other clustering algorithms.



*Reinforcement learning (RL)* – is the process of learning by “trial and error”, where an agent interacts with the environment and tries to optimize a reward function, the final reward of which is delayed in time. This promotes a behavior such, that the agent would need to learn the optimal policy in order to complete the best course of actions to succeed. Usually Q-learning algorithms are used for RL kind of problems and it is widely applicable throughout areas of gaming, robotics and any environment that a predefined policy is not constituted.

An ML model is usually consisted of a few phases, data collection, where the data is being collected, cleaned and imported. Features extraction and model creation and validation. And finally, deployment. For the realization of such models there are quite a few frameworks developed, widely used ones are Python language with various of libraries such as Scikit-learn, Tensorflow or PyTorch. The latter are built specifically for machine learning, and as the example with Tensorflow it has the advantage of running well on both CPUs and GPUs. R on the other hand could find it harder to process larger amounts on information and integrate with other environments due to its nature of a statistical software, whereas Python is a general-purpose programming language. MATLAB and LabView provide a good simulation environment where real processes could be emulated and could be combined with actual hardware for testing purposes. Cloud solutions such as Amazon Web Services (AWS), Google Cloud Platform (GCP) and Microsoft Azure or IBM Cloud are quite good for outsourcing computations on large datasets, however, they could be expensive and also not suitable where communication disruptions are possible, data security is of priority and fast remote communication is needed.

#### **4. Promising ML applications for U(A)V systems.**

In the following lines a few case studies are reviewed, to create an overview of the different ML methods and algorithms used for drafting a more efficient and effective strategies for solving various UAV missions.

*Autonomous tracking and control* - to, better analyze the applications of Machine Learning in the context of U(A)Vs it is important to differentiate between the different missions that various algorithms could be used for, in order to contribute towards their optimization. The latter would realize a more effective and efficient strategies for their completion. In Rodriguez-Ramos et al. paper [4] a ML approach is discussed for optimizing autonomous landing on a moving platform. The study involves a deep Q-learning technique for Vision-Based landing on moving platform in the context of a multirotor UAV apparatus. A technique used is Deep Deterministic Policy Gradients (DDPG). The Q-learning algorithm provides a framework of learning by “trial and error” where the agent is trying to maximize a reward function  $Q$  ( $Q$  for quality) under certain policy ( $\pi$ ) in a current state ( $S_t$ ) and accumulated reward ( $R_t$ ). The aim is to produce an optimal action ( $a$ ). for finding the optimal policy (strategy), the Q-learning algorithm solve the following equation:  $Q^\pi(s_t, a_t) = E_\pi[R_t | s_t, a_t]$ . The result of the DDPG technique shows powerful solution to the problem where the benchmark has a more predictive and stable path, but the DDPG proves more aggressive in terms landing at higher speeds and maneuverability for example.

*UAV training* - a reinforcement learning approach is also described in [5] for the purposes of training a drone to move across a room independently of a preset trajectory. In the paper the setup of the algorithm simulates the real-world environment in MATLAB and test the optimization of the  $Q$  function. This approach proves effective when exploring an unknown environment and if no concrete mathematical model is available for completing the mission. However, it does take quite a few iterations for it to find an optimum of the function especially in more complex environments for which good simulation environment is needed.

*Collision Avoidance* - Another important mission that can be realized using the help of machine learning for drone applications is the avoidance of critical situations and collisions, hence improve the “self-preservation” of a robotic platform. In Kim et al.[6].



A model is proposed that employs reinforcement learning with Q-learning, in the context of preventing a UAV from crashing into objects along a predefined path. The results show a very similar result to other path finding algorithms such as the A\* that use target points. The implementation is done on Python language and Ubuntu OS environment.

*Object detection and recognition* - There are many application of UAV systems and one common aspect of most is that they would need visual data to be collected and processed in real to near-real time. Studies such as Lee, J et al. [7] have shown ways to use Convolutional Neural Networks (CNNs) with the help of cloud-based solutions in order to solve the computational problems without putting on extra weight on the drone. The experiment conducted uses fiducial markers for better localization of the drone, where the position and speed of the drone are controlled via a ROS protocol and a local laptop. On the other hand, the most computational expensive task of object detecting and recognition is dedicated to Amazon Web Services (AWS) cloud platform. The study uses R-CNN or Region-CNN. There are several shortcomings to this approach such as usually CNNs need a lot of data in order to be trained, and the images used are not drone footage, but from opensource database (ImageNet), which biases the estimations and leads to some mismatches. What more, latency and communication interruptions might yield the need for local computing instead.

*Areal monitoring* - A successful model for distinguishing between invasive grass and other vegetation is proposed in [8]. A cheap and effective way to complete the latter is by using UAVs for imaging and later analysis of the vegetation. The model suggested employs Agisoft Photoscan Pro software as well as, Python programming language with external libraries such as Scikit-learn, OpenCV and Matplotlib. Furthermore, eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) for building the classifier is applied. The classification algorithm used (XGBoost), employs filtered images that are preprocessed and makes predictions for the new data. The model shows strong results with accuracy of 97%. Some inaccuracies however, may appear due to human error and the fact that there are many similarities among vegetation from a faraway view, so mislabels are possible. What more, large scale datasets are needed in order to have diverse view of the vegetation with respect to different weather conditions, sunny or cloudy weather for instance.

### **5. ML technology potential for UAV energy management optimization**

Energy economy tasks, like predicting, forecasting or optimizing energy resources, load, demand or prices, are very important issues that can be improved by ML technology. The vehicles fuel (energy, charge) optimization have been worked out successfully, by appropriate ML regression models and metrics, like neural networks and mean absolute percent error for instance. Similar methodology can be used for UAV energy economy improvement. The UAV flight duration is directly dependent on its energy economy, which can be crucial for some missions. A design of energy management system (EMS) of a hybrid driven UAV is described in [9]. The EMS comprises hybrid drive (engine and electric starter/generator/motor) and hybrid energy storage (battery, supercapacitor and power controllers). The design is intended to increase the energy efficiency and time of flight by using sophisticated flying and gliding strategies at proper air flows, introducing capabilities of engine repeatable restarts at flight.

However, the application of the ML technology needs huge testing data sets. That can substantially consume time, resources and costs, if the data are recorded at real UAV flight tests. Therefore, here we propose a more efficient means for ML data accumulation, which is based on data collection at laboratory tests with real: energy storages (batteries, supercapacitors, fuel cells), converters, controllers, flight missions and strategies; but computer simulated UAV at missions. The application of the proposed means is based on a development system, reported in [10]. The development system allows testing and control of the electrochemical hybrid storages operation with real electrochemical components: batteries and supercapacitors. Application specific, LabView based, computer software is developed to control the tested cells voltages and currents, as well as to acquire data (voltages, current, temperature, gas generation, pressure etc.).

Due to the multipurpose of the hardware and LabView based software, the development system can perform variety of dynamic and static tests of electrochemical cells, with dynamic bidirectional currents and voltages, by development of specialized computer program (Fig.1). The system can emulate physically the performance of hybrid energy storages, as well as their EMS operation. It can monitor system power flows, battery and supercapacitor currents, voltages and charges, and manage the power flows with accordance to specified missions and control strategies. Thus, prolonging the batteries life by reducing their current stresses, improving the supercapacitors energy and capacitance utilization, and optimizing the design by maximizing (or minimizing) specific utility metrics, e.g. life, costs, fluctuations, losses, capacities, weight, volume and more. The specified tested missions can be UAV (vehicle, robot or other mechatronic apparatus) speed or position missions: files of records ( $r$ ) of UAV positions ( $q_r$ ) or velocities ( $v_r$ ) versus time ( $t_r$ ), like the standardized vehicle driving cycle shown on Fig.1-up. To determine the power load of the hybrid storage, the supplied object is modeled in LabView using its virtual instruments (vi-s).



**Fig.1 Development system lab tests:**  
 up – 250F supercapacitor supply cell at vehicle FTP75 driving cycle  
 down-left – the supercapacitor cell at galvanostatic/potentiostatic cycling  
 down-right – the supercapacitor cell at voltammetry

A generalized mathematical model, for computer simulation of mechanical apparatus (land vehicle, robot) power dynamics, is developed in [10]. The model can be used for UAV (airplane) power simulation, with some particularities, as it is shown herein. The determination of U(A)V motor power is inverse dynamics problem – determination of the U(A)V forces/torques/effects. and summation:  $F_m = \sum_n F_{nm}(q, v, dv/dt)$ , ( $F_n$  - the symbol  $F$  denotes force ( $F$ ), torque ( $T$ ) or inertial effects ( $F_i, F_c$ ) i.e.:  $F = F \vee T \vee F_i \vee F_c$ ). According to their nature ( $n$ ), forces/torques ( $F$ ) are calculated as functions of speed ( $v = dq/dt$ ), its time derivative ( $dv/dt = d^2q/dt^2$ ) or exponent ( $v^2 = (dq/dt)^2$ ). The forces, torques or effects with different nature (physical phenomena) ( $n$ ) are designated by their index  $n \equiv a, c, e, g, i, r$ . The “n” index meanings are: a- “aerodynamic”, c- “centrifugal & Coriolis” (applicable only in rotational coordinates), e- “external”, g- “gravitation”, i - “inertia”; r- “resistance”.

The forces that act on a flying airplane are three types: weight, aerodynamic and thrust. The weight force ( $F_g$ ) is caused by the gravity ( $g$ ):  $F_g = M \cdot g$ .



The aerodynamic forces are caused by the pressure of the moving air on the airplane surface, and can be summarized in two general forces: lift ( $F_l$ ):  $F_l = \rho \cdot S_l \cdot C_l \cdot v^2 / 2$  ( $\rho = 1.2754$  [kg/m<sup>3</sup>];  $g = 9.81$  [m/s<sup>2</sup>]) - directed opposite to gravity, and drag ( $F_d$ ):  $F_d = \rho \cdot S_d \cdot C_d \cdot v^2 / 2$  - directed along and opposed to the flight direction. The inertia effect ( $F_i$ ) is time derivative:  $F_i = M \cdot dv/dt$ . ( $M$  is the mass of the plane). The thrust force ( $F_t$ ) is generated by the airplane motor (propulsion)  $F_t = F_g + F_l + F_d + F_i$ . Due to the nonlinearity of the air-propeller interaction the thrust power ( $P_t$ ) is not proportional to the thrust force ( $F_t$ ). The actual relation is nonlinear:  $P_t = F_t^{3/2} / (4\rho \cdot S_t)^{1/2}$ . The airplane motor power is  $P_m = P_t / (\eta_m)$  ( $\eta_m$  is the motor efficiency). The supply storage power is the motor power ( $P_m$ ), divided by the storage efficiency ( $\eta_s$ ) and DC converters efficiency ( $\eta_c$ ):  $P_s = P_m / (\eta_s \cdot \eta_c)$ .

### 6. Conclusion:

As a conclusion, in the current report the development of machine learning as subfield of AI was briefly explored with its types and applications. In the next sections different case studies were reviewed to get a better insight on practical solutions to real world problems especially for optimizing the strategies and missions of U(A)V apparatuses and their various applications. The pros and cons of the algorithms and frameworks that enable the above applications is also discussed. In the final section an energy optimization framework for U(A)V is presented by an energy management system design (EMS) giving a perspective approach to design optimization by maximizing different utility metrics such as life, costs, fluctuations, losses, capacities, weight, volume and other.

### References:

1. Kaplan, A. and Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), pp.15–25.
2. Vazquez, Sergio & Lukic, S.M. & Galvan, Eduardo & Franquelo, Leopoldo & Carrasco, J.M. & Leon, Jose. (2011). Recent Advances on Energy Storage Systems. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*. 10.1109/IECON.2011.6120075.
3. Taiwo Oladipupo Ayodele (February 1st 2010). Types of Machine Learning Algorithms, *New Advances in Machine Learning*, Yagang Zhang, IntechOpen, DOI: 10.5772/9385. Available from: <https://www.intechopen.com/books/new-advances-in-machine-learning/types-of-machine-learning-algorithms>
4. A. Rodriguez-Ramos, C. Sampedro, H. Bavle, I. G. Moreno and P. Campoy, "A Deep Reinforcement Learning Technique for Vision-Based Autonomous Multirotor Landing on a Moving Platform," 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, 2018, pp. 1010-1017.
5. Pham, Huy & La, Hung & Feil-Seifer, David & Nguyen, Luan. (2018). Reinforcement Learning for Autonomous UAV Navigation. Available from: <https://arxiv.org/abs/1801.05086>
6. I. Kim, S. Shin, J. Wu, S. D. Kim, C. G. Kim. (2017). "Obstacle Avoidance Path Planning for UAV Using Reinforcement Learning Under Simulated Environment", *IASER 3rd International Conference on Electronics Electrical Engineering Computer Science Okinawa*, pp. 34-36.
7. Lee, J. Wang, D. Crandall, S. Šabanovic, and G. Fox (April 2017), "Real-time, cloud-based object detection for unmanned aerial vehicles," in *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, pp. 36–43, Taichung, Taiwan
8. Sandino, J; Gonzalez, F; Mengersen, K; Gaston, K.J.(2018), "UAVs and Machine Learning Revolutionising Invasive Grass and Vegetation Surveys in Remote Arid Lands" // *Sensors (Basel)*. 18(2). P.605. doi:10.3390/s18020605



9. Trenev V., Mladenov M., Kanev K., Petrov E., Chavdarov I., Unmanned Aerial Vehicle Energy Efficiency Improvement by Battery-Supercapacitor System, ADP-2010, pp.476-481
10. Trenev V., Robson N., Petrov E., Vehicle and Robot Applications Specific Development System for Hybrid Energy Storages with Novel Electrochemical Components, Complex Control Systems, 2018, pp. 84-87

## СРЕДСТВА ЗА МАШИННО САМООБУЧЕНИЕ ЗА РАЗРАБОТКА НА УПРАВЛЕНИЕ НА БЕЗПИЛОТНИ АПАРАТИ

**М. Куртев, Н. Робсън, В. Тренив**

***Резюме:** В работата е предложен набор от средства за машинно самообучение, за разработване на ефективни системи за управление на безпилотни апарати. Разгледани са редица мисии и стратегии за управление на безпилотни апарати, както и мерките им за ефективност. Анализирани са приложимостите на различни алгоритми за машинно самообучение за разработване на софтуерни агенти които могат да изпълняват ефективно мисиите. Разгледана е и система за разработка на системи за управление на подвижни средства, чрез физическо тестване и оценка на работата им.*

### **Данни за авторите:**

Момчил Любомиров Куртев – докторант, Институт по Роботика – БАН, София, ул. Акад. Г. Бончев 1, тел: +359 889 50 61 51, e-mail: ml\_kurtev@yahoo.com

Нина Робсън – доцент, Калифорнийски Щатски Университети, Fullerton, USA. 800 N. State College Blvd., KHS 106A Fullerton, CA 92831-3599

Васил Димитров Тренив, професор доктор, инж., Институт по Роботика – БАН, София, ул. Акад. Г. Бончев 1, тел.: (+395)29792416, e-mail: vtrennev@gmail.com



# HARWARE AND SOFTWARE FOR MECHTRONICS THERAPEUTICS TOOL. APPLICATION OF MINIMALLY-INVASIVE SURGARY

V. Ivanova, D. Batchvarov, A. Boneva

**Abstract:** *The purpose of this work is to bring radical improvements to the quality and efficiency of healthcare. In contrast commercial robotic systems which instruments are designed for manipulation and video observation we offer a novel modular mechatronics device with additional functions as a local therapy of tumors. We have decided two main problems i) we ware designed and produced an original construction of an adequate experimental module and ii) we ware realized hardware and program resources for control and monitoring of this module which is the object of this work.*

**Keywords:** mechatronics device, robotics, surgical robots, robot-assisted surgery, instruments, minimally-invasive surgical procedures, therapy.

## 1.Introduction

Robotic technologies are advancing in the field of minimally invasive surgery. The last decade, more than 1.5 million laparoscopic surgical procedures, including gynecologic, cardiac, urology, thoracic, and general surgery, have been performed by daVinci (Intuitive Surgical Incorporation) [1]. In contrast to daVinci by Intuitive Surgical Incorporation and Zeus by Computer Motion [2] which instruments are designed for manipulation and video observation this paper describes a novel instrument for local therapy with application in minimally invasive surgery. This instrument is designed for programmable tissue exposure in the frequency range from 0 Hz to 500MHz or 40 MHz to 8 GHz. The aim of the work is a design of a compact, convenient, simplified, better possibilities and suitable price devices thereby and the small hospitals to have accesses to this systems and patient benefit from it. Our ultimate aim is radical improvements to the quality and efficiency of healthcare. Therefore we are designed and produced modular mechatronics tools one of which is an instrument for a local therapy of tumors.

An instrument for a therapy is a sophisticated module that incorporates engines, sensors for positioning and control of encoders and mechanical structures that perform manipulation on tissues (laparoscopic interventions). The force sensors detect and control the contact of the tool tip with delicate structures or organs. A slider is coupled on the top of the basic platform, having three degrees of freedom: translation, rotation, and jabbing between the jaws and been controlled by Controller. This instrument is designed for programmable tissue exposure in the frequency range from 0 Hz to 500MHz or 40MHz to 8 GHz. The irradiation is local. A programmed change in the intensity and frequency of the radio signal is a function of time. Main idea is to transport the end of the tool where is embedded UFR emitter and therapy to be executed locally.

The electronic interfaces board for the mechatronics therapeutics instrument is two-processors system, including wireless JN5168-001-M00 and industrial ATxMega32A4. The microcontroller JN5168-001-M00 works as a network device in local wireless network and a processor for control of different incorporated electronic modules simultaneously. ATxMega32A4 works as slave coprocessor and is responsible for the encoder's data processing and radio- therapy controlling

For adequate control of everyone instrument and device is very important to have interactive user –friendly software which to provide a graphical environment for designing, testing, editing and downloading control sequences. Software programs was developed using TCL-TK language. The TCL-TK program demonstrates the operation of the tool.

The remainder of the paper is organized as follows: Hardware of a mechatronics therapeutic tool including a basic platform of an instrument for therapy (an instrument for mechanical therapy), a design of an electronics interface board of the mechatronics therapeutics tools, a software package and experiments.

**2. Hardware of a mechatronics therapeutics tool.**

**2.1. An instrument for Therapeutics tasks.**

On Fig. 1. is shown a basic structure of the instrument for therapy in laparoscopy. We have applied a construction and principle of the work. They are described at [3]. The main elements of the instrument are a step motor by PrimoPall [4], an incremental contactless encoder, force sensors by Honeywell [5] and therapy module on the top of the slider.

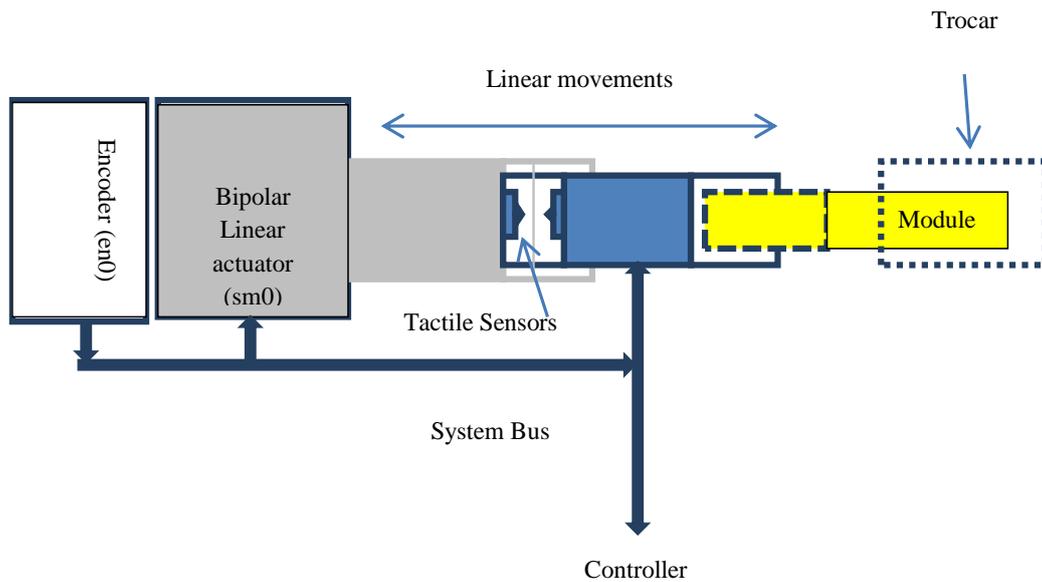


Fig. 1. A basic platform of instrument for therapy.

**2.1.1. An instrument for mechanical therapy.**

An instrument for a therapy (On Fig. 2) is a sophisticated module that incorporates engines, sensors for positioning and control of encoders and mechanical structures that perform manipulation ( a local therapy) on tissues (laparoscopic interventions). A slider, is coupled on the top of the basic platform having three degrees of freedom: translation, rotation, and jabbing between the jaws and been controlled by Controller.

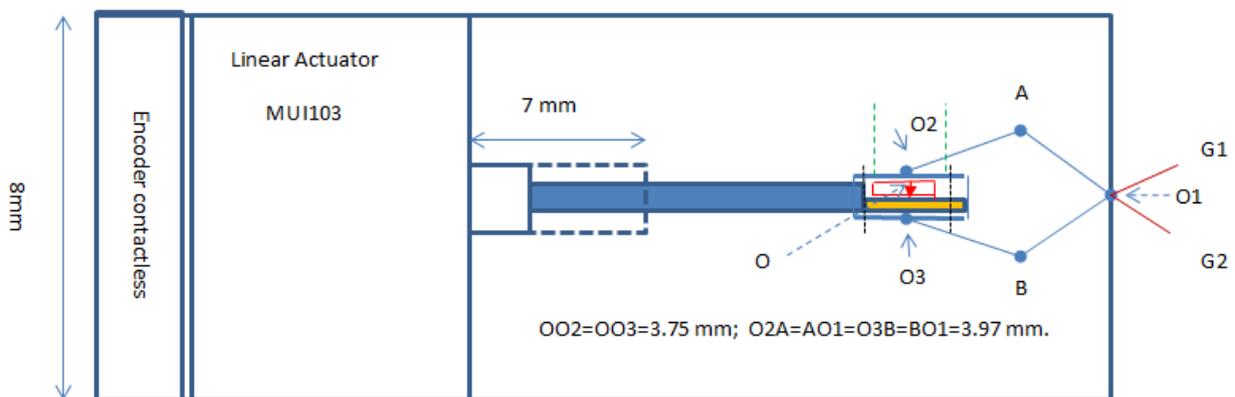
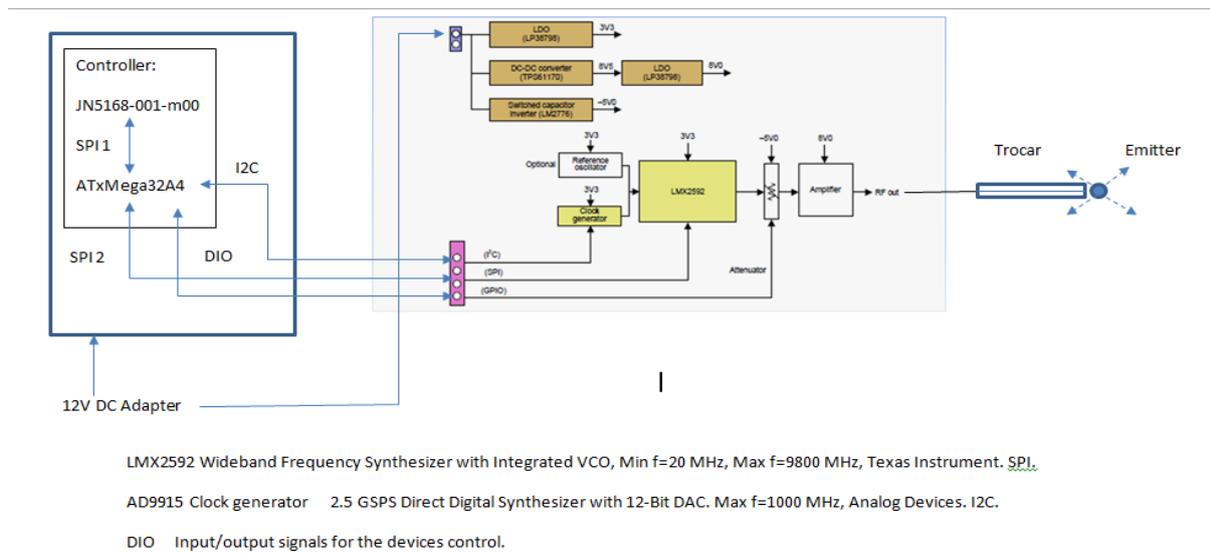


Fig.2. An instrument for mechanical therapy.

**2.1.2. An instrument for RF therapy.**

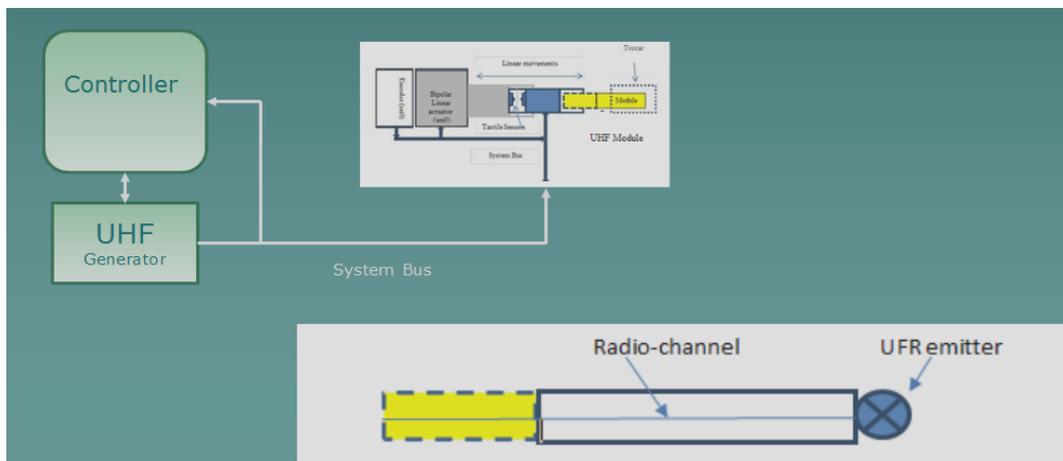
An instrument is designed for programmable tissue exposure in the frequency range from 0 Hz to 500MHz or 40 MHz to 8 GHz . The irradiation is local. A programmed change in the intensity and frequency of the radio signal is a function of time. A basic idea is to transport the end of the tool to the tissue where is embedded UFR emitter and therapy to be executed locally.

The instrument uses an UHF Generator that generates a programmed frequency, forms the required radio signal through the output stage, and outputs it to an emitter to perform radiotherapy via a wired channel. The linear displacement of the module and its positioning at a set point is provided by the main step motor, taking into account force sensors readings to confirm the contact with the object of the therapy. The UHF Generator which is shown on Fig. 3 is an external device, controlled by the Controller and generates the signal to the UFR emitter.



**Fig. 3. Controller, UHF generator and emitting device.**

The RF- generator is built on the base of a programmable PLL generator LMX 2592, using programmable frequency reference source AD9915. Odd of them are being controlled by SPI and I2C from microcontroller ATxMega32A4, embedded in the main controller. The formed radio-signal is transmitted through a wave- channel placed into the slider to the emitting block.



**Fig.4. RF therapy action.**

### 3. A Design of an electronics interface board of the mechatronics therapeutics tools.

The purpose of the electronics of the mechatronics therapeutics tools is:

- to serve as an interface between the implemented sensors and the PC that controls the work process;
- to process and transform the generated by the computer signals for the experimental module ‘stepper motor into the appropriate electrical signals needed for the motor’s normal operation;
- to ensure the necessary amplification, transformation and noise protection of the output signals of the sensors, necessary for some measurements and experiments connected with simulation of laparoscopic process.

When we designed the hardware for control of the mechatronics tool we decide two basic recommends: i) to measure force quick and precise and ii) to transfer measured data to the control system. Hardware for control and monitoring of an experimental module with force capabilities consists of Control Block where are incorporated: i) microcontroller JN5148-01- M00 [9], ii) bi-connected coordinator to the instrument and the computer by wireless connection and iii) other electronics components necessary for the provision of the helping functions.

In this case the electronic interfaces board is a two-processors system, including wireless JN5168-001-M00 and industrial ATxMega32A4. The microcontroller JN5168-001-M00 works as a network device in local wireless network and a processor for control of different incorporated electronic modules simultaneously. ATxMega32A4 works as slave coprocessor and is responsible for the encoder’s data processing and radio- therapy controlling.

On Fig 5 is shown the block diagram of the Controller. Odd microcontrollers are connected with SPI bus, JN5168-001-m00 functions as a master.

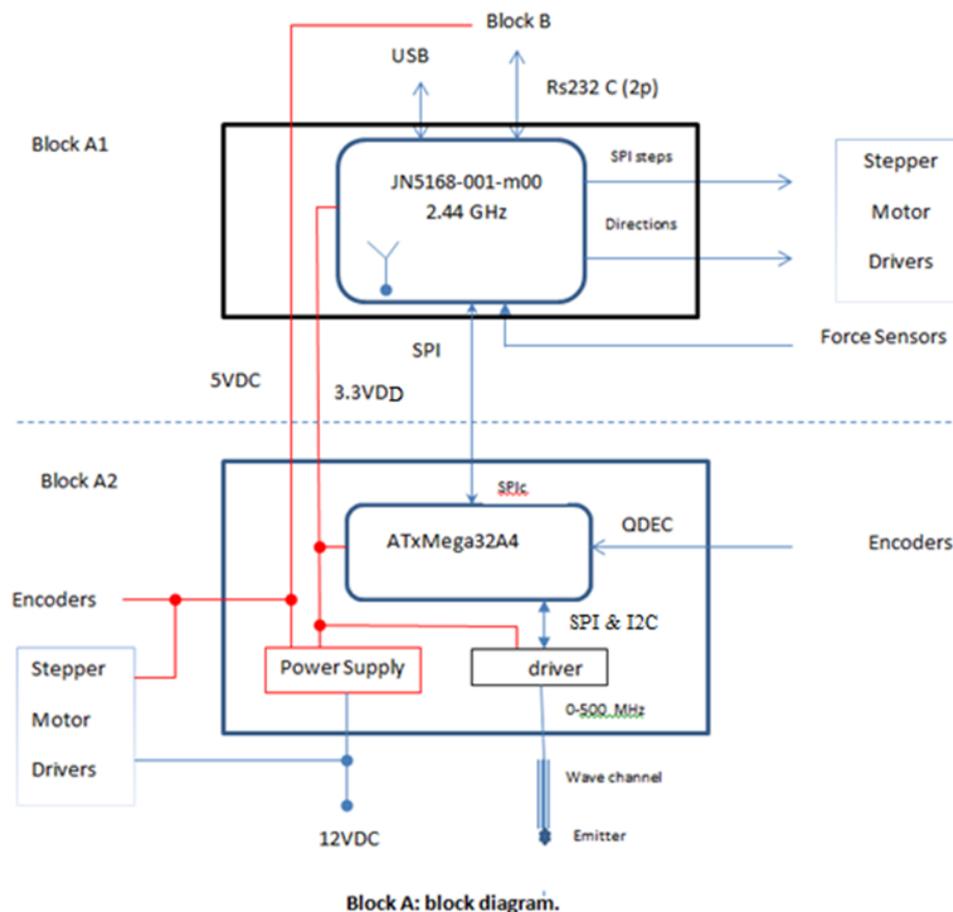


Fig. 5. Block diagram of Controller.



The control module includes as co-processor microcontroller ATxMega32A4. This microcontroller is responsible for the encoders data processing and radio-therapy controlling. The JN5168-001-M00 and ATxMega32A4 [6] controllers are connected between using on board SPI bus (primary). The ATxMega32A4 controller is controlling the frequency generator module using embedded secondary SPI and I2 C busses.

#### 4. Software package for a mechatronic therapeutics tool.

For adequate control of everyone device is very important to have interactive user –friendly software which to provide a graphical environment for designing, testing, editing and downloading control sequences The range of property program commands will allow the user to control output or input devices, which are connected to the microcontroller. It’s possible to switch devices on or off in sequences using: timing, counting, repetition, and decisions based on signals from sensors and actuators. From the way the managing software package is organized depends the movements, the work, the accuracy and the conduction of the experiments, the visually clear comprehensions of the receive results and the possibilities for their easy and unambiguous interpretation, comparison and analysis. Therefore the managing software package has to be designed in such a way to permit some principal requirements as to realize the input of the date for ensure the necessary accuracy. In conformance with the listed requirements the necessary for the purposes of the measurements software programs was developed using TCL-TK language [7]. The TCL-TK program demonstrates the operation of the tool by searching for contact, detecting the presence or the lack of the tool-surface interaction, commands for a local irradiation. The range of the commands allows the user to control the devices, which are connected to the microcontroller.

Some of basic program functions are Commands for Motion - Start and Stop machine, command for a tool insertion and retraction, Mode-Automatic and manual, current step motor positions, commands to the generator for irradiation, save in samples or results etc. On Fig 6 is shown a control panel.

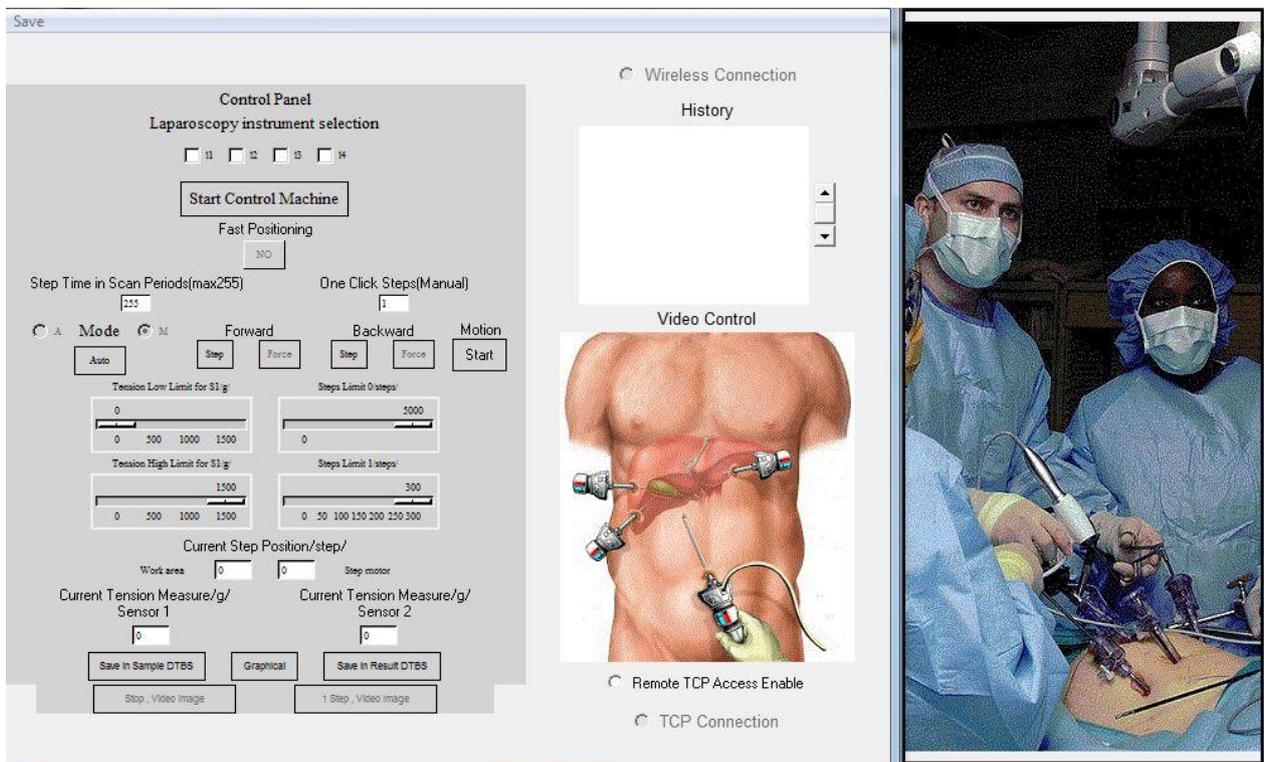


Fig 6. Control panel

### 5. Experiments and Analyzes.

The purposes of carried out experiments are to verify the functionality and working capacity of the tools, to evaluate practically whether the error introduced by the proposed module during its normal operation is well within the required target, to demonstrate the operation of the tools

The experiment includes a search in the work area for a deviation with a set force value. It is shown in the red graphic. The blue graph shows the frequency of the generated RF signal used to irradiate the subject.

When the deviation is detected, the formation of the micro steps is terminated and the generator starts operating in accordance with the set program. Upon reaching the set frequency, in the case of 434 MHz, radiation is maintained at the set frequency and intensity for the time defined by the therapy program - in this case 10 seconds. After that, the generator turns off and the frequency drops to the minimum.

The number of the micro steps is located along the X axis, along with the time in units of 100 ms. 100 ms is the time to take 1 micro step. Along the Y axis is located the power in grams, along with the frequency of the irradiation signal in megahertz.

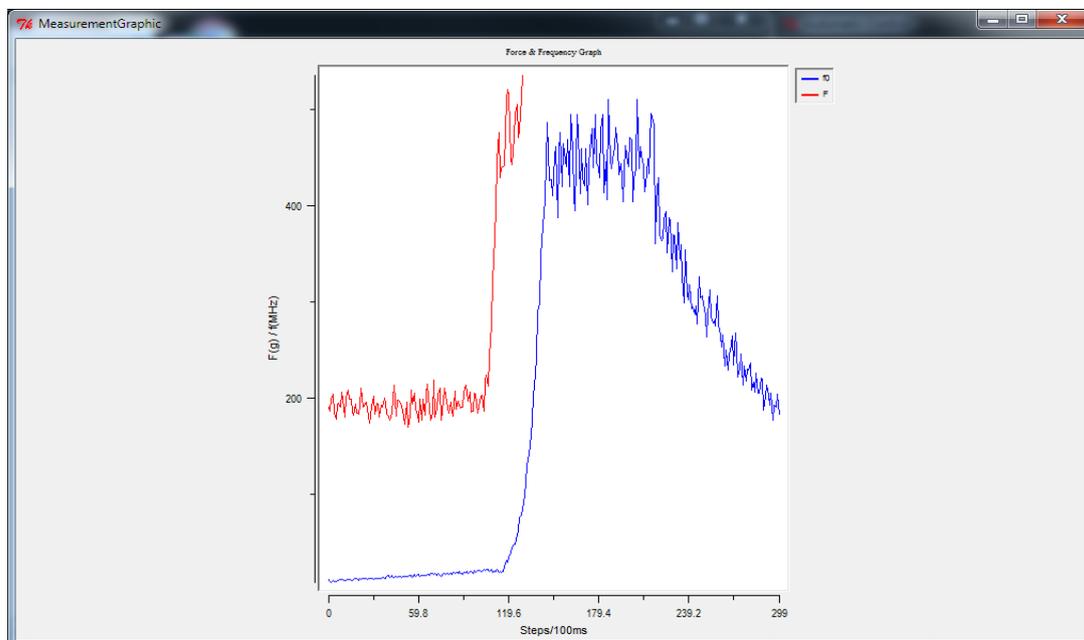


Fig.7. Graphical presentation of the Experiment.

### 6. Conclusions.

This paper described hardware and software for a mechatronics therapeutics tool with application in laparoscopic surgery. In contrast to commercial robot systems which instruments are designed for manipulation and video observation we offer a mechatronics tool with additional functions such as local therapy of tumors. The instrument is designed for programmable tissue exposure in the frequency range from 0 Hz to 500MHz or 40 MHz to 8 GHz. There are proposed an electronics interfaces board which includes a block diagram of Controller, a block diagram of microcontroller JN5148-01-M00 and a block diagram of microcontroller ATxMega32A4. User-friendly software which to provide a graphical environment for designing, testing, editing and downloading control sequences is described also. The experimental module of the mechatronic tool was realised. The same experiment was conducted. The aim of the conducted experiment was to demonstrate the precision and functionality of the experimental module of the tool. They are made an experiment to demonstrate a principle of the work of the instruments. The ultimate target of the work is to bring radical improvements to the quality and efficiency of healthcare



### References:

1. IntuitiveSurgical.Inc <http://www.intuitivesurgical.com/>.
2. Computermotion <http://www.computermotion.com/>
3. Ivanova V, K., Koleva, R., Mihailov, I., Beniozef, Family tools for robot –assisted surgery , Proceedings in Manufacturing Systems, Romanian Academy Publishing House , Vol.8 Issue 2, (2013 ) ISSN 2067-9238., pp117-122
4. PrimoPal hybrid stepper motor [www.primopal.com](http://www.primopal.com).
5. Honeywell <http://www.honeywell.com/>.
6. Microcontroller [https://www.nxp.com/products/wireless-connectivity/zigbee/zigbee-pro-and-ieee802.15.4-module:JN5168-001-M00?lang\\_cd=en](https://www.nxp.com/products/wireless-connectivity/zigbee/zigbee-pro-and-ieee802.15.4-module:JN5168-001-M00?lang_cd=en)
7. Tcl/Tk program [www.tcl.tk](http://www.tcl.tk)

### ХАРДУЕР И СОФТУЕР ЗА МЕХАТРОНЕН ТЕРАПЕВТИЧЕН ИНСТРУМЕНТ. ПРИЛОЖЕНИЕ В МИНИМАЛНА ИНВАНЗИВНА ХИРУРГИЯ.

**В. Иванова, Д. Бъчваров, А. Бонева**

***Резюме:** Последните десетилетия в хирургическите зали се извършват не малко операции с роботизирани системи. Голяма част от учените работят върху подобряване на техническите характеристики на инструментите и роботите. За разлика от широко използваната хоботизирани системи, чиито инструменти са проектирани за манипулации и видеонаблюдение, ние предлагаме нов тип мехатронно устройство с допълнителни функции една от които е локална терапия на тумори. За целта, i) ние сме проектирали и създали адекватен експериментален модул с оригинална конструкция, в който са вградени два силови сензора , осигуряващи информация за моментното силово взаимодействие между инструмента и тъканите, необходимо за локалната терапия и ii) проектирали сме и изработили съответния хардуер и софтуер за работа.*

### Data Author's:

Veronika Ivanova Atanasova - Georgieva, Assist. Prof. PhD Student Eng. Department of Robotized executive mechanisms and Intelligent Systems, Institute of Robotics - Bulgarian Academy of Sciences, Akad Georgi Bonchev Str. Bl. 1, 1113 Sofia, Bulgaria, Tel.: +359 887 920 816, Fax: +359 2 2 870 33 61, E-mail: [iwanowa.w@abv.bg](mailto:iwanowa.w@abv.bg)

Ditchko Entchev Batchvarov, Mag. Math., Department of Communication Systems and Services, Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences, Akad Georgi Bonchev Str. Bl. 2, 1113 Sofia, Bulgaria, Tel.: +359 2 979 32 20, E-mail: [dichko1952@abv.bg](mailto:dichko1952@abv.bg)

Ani Todorova Boneva, Assist. Eng., Department of Communication Systems and Services, Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences, Akad Georgi Bonchev Str. Bl. 2, 1113 Sofia, Bulgaria, Tel.: +359 2 979 32 20, E-mail: [a\\_boneva1964@abv.bg](mailto:a_boneva1964@abv.bg)



**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 7**

**“СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ В  
ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО”**



# IMPROVING FAULT DETECTION OF TRANSMISSION LINE WITH BIG DATA

A. Perçuku, D. Minkovska, L. Stoyanova

**Abstract:** *The capability to prevent faults in different devices is most important nowadays for normal operation and reliability of power transmission system. In industry, widespread rates and scales of data are being generated fast and from multiple sources. Gathering and analysis of those data offer a significant opportunity to enhance fault detection. This paper presents an improvement in fault detection of high voltage transmission line by using Big Data. As a case study is used 110 kV transmission line SS Prizreni2 - SS Rahoveci, part of Kosovo power transmission system.*

**Keywords:** fault detection, power transmission line, Big Data.

## 1. Introduction

The new digital technology in industry, which is known as Industry 4.0, and emerging Big Data, make possible gathering and analyzing data from various devices and sources, enabling faster, flexible and efficient way to increase quality services and reduce costs. This speed up innovations, improvements in productivity, cost efficiency and business performance. As devices and machines becoming smarter, the production will be enriched and the tasks will be simplest. Thanks to sensors and connectivity, the products will be improved by services like is prediction and they will be transformed also.

The ability to detect and diagnose the fault early on high voltage transmission line, as an important component, help on normal functioning and operation of power system. Detection, classification and location identified of a fault in transmission line are a challenge.

The aim of this paper is to propose a method by using Big Data to improve fault detection on power transmission line. The data analyses in this model is applied to large amounts of data set in order to improve fault detection, minimize loss and assure operability of power system.

As a case study is used high voltage transmission line 110 kV SS Prizreni2 - SS Rahoveci, part of Kosovo power transmission system. Actually this transmission line is operated in radial operation.

## 2. The fault detection of transmission line

Power transmission line is one of the main components on electric power system, and interconnects the power plants and loads and form an electrical network [1]. When a fault occurs on a transmission line, it is important to detect it and to find location in order to restore the power system as soon as possible and minimize possible interruptions. The ability to detect and diagnose the fault early, help on normal functioning and operation of power system. Detection, classification and location identified of a fault in transmission line are a challenge.

A fault on power system is an abnormal condition that involves an electrical failure of power system equipment operating at one of the primary voltages within the system. In transmission line the short circuit faults can occur between phases, or between phases and earth, or both. The types of faults can be one phase to earth, phase to phase, two phases to earth, three phases clear of earth and three phases to earth [2]. More methods have been developed to detect the faults; in this research paper is used Big Data technologies to improve fault detection.

## 3. Big Data, OrientDB NoSQL data store

Power electrical systems are very complex and have a lot of requirements. The advances on information technology and emerging of Big Data can improve the reliability of the system,

increase efficiency and decrease the costs. In general, Big Data is used for collection and analyzing large amounts of data and documents which are complex.

Big Data is a term applied to data sets whose size or type is beyond the ability of traditional relational databases to capture, manage and process them with low latency. Big data analytics is the use of advanced analytical techniques against very large, and diverse data sets that include structured, semi-structured and unstructured data, coming from different sources. To describe better Big Data, there are using 5 Vs [3], see Fig.1:

- Volume: refers to the vast amounts of data
- Velocity: refers to the speed at which new data is generated and the speed at which data moves around
- Variety: refers to the different types of data we can now use
- Veracity: refers to the trustworthiness of the data
- Value: refers to the ability turn our data into value

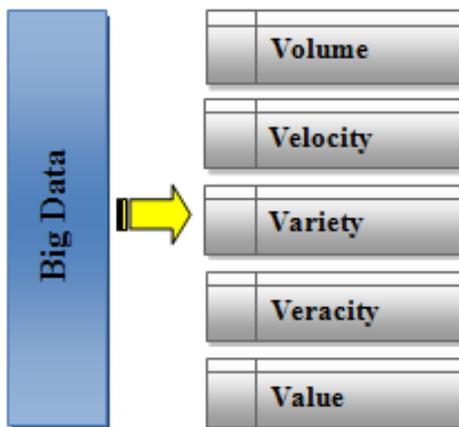


Fig.1 Big Data characteristics



Fig.2. The factors underling Big Data movement [4]

Big Data movement stems from the availability of data, high power computer technology, and analytics to handle data characterized by Vs [4], see Fig.2. The potential benefit from using Big Data and its challenge differ from study area. Big Data in industry facilitates process monitoring, and by uses them we can detect faults, diagnose them and predict future.

As a Big Data NoSQL data store in our study is used OrientDB. The OrientDB engine supports Graph, Document, Key/Value, and Object models, so we can use OrientDB as a replacement for product in any of these categories. The comparisons between OrientDB graph model vs relational model are: class (extends V for Vertex and E for edges) as table, vertex as row, vertex and edge property as column, edge as relationship [5]. In our case study the OrientDB has been used as Graph database.

The paper is conducted by reviewing more research papers. Golzer at al. [6] provided a category scheme for data processing requirements of Industry 4.0; this scheme can be used to match requirements and capabilities of solution-components to get new insights of necessary application. Perçuku et al. [7] proposed a model for collecting and storing large amounts of data, using Neo4j graph technology, for prediction more efficiently the maintenance of power transformer equipment. Xu et al. [8] studied fault diagnosis, divided into knowledge-drive, data-driven, and value-driven diagnosis based on different factors; a novel diagnostic idea called the DEKG (Device Electrocardiogram) is introduced witch transforms a diagnostic strategy. Reis et al. [9] provided a critical outlook of the evolution of Industrial Process Monitoring (IPM) since its appearance as an industrial activity. Wang et al. [10] established a fault data collection model by taking advantages of the high efficiency and stability of Big Data on data collection with the purpose to provide fast, accurate and unified data for upper layer fault diagnosis program.

Severson et al. [11] provided an overview of process monitoring methods and introduces the major challenges facing the next generation, and supported for the use of hybrid methods to address these challenges.

**4. Case study**

The large amount of data that can be captured from sensors can uncover much useful information, as identifying and detection a fault. In this research paper OrientDB graph NoSQL data store is used to store large data and as analytical tool for fault detection in high voltage transmission line.

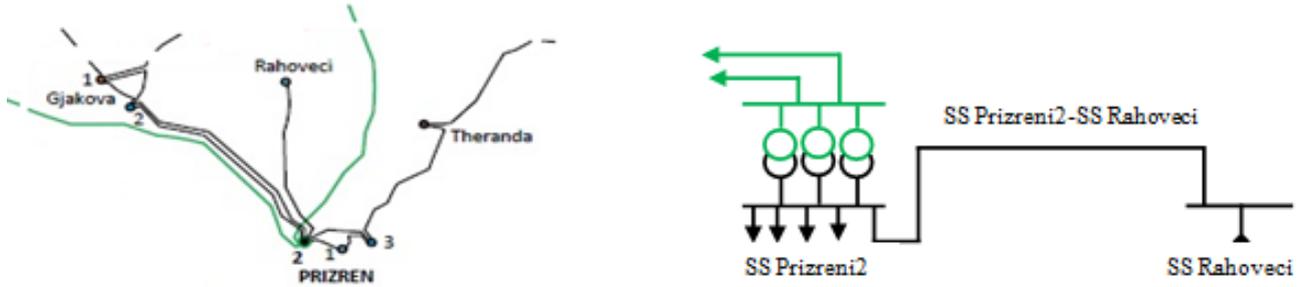


Fig.3. a. South part of Kosovo transmission system

b. Single line diagram of SS Rahoveci

As a case has been studied the high voltage transmission line 110 kV (kilo voltage) between substation (SS) Prizreni2 and SS Rahoveci, see Fig.3 a and b.

From Fig.3 can be seen that actually SS Rahoveci has not redundant overhead transmission line, it means this substation has only one possible alternative way to receive electricity (it is in radial operation), and early detection of any fault on this line is most important to avoid possible interruptions.

The necessary OrientDB types of data model like class, vertexes, edges and their properties are used to model our case study such as SS Rahoveci, line SS Prizreni2-SS Rahoveci, weather\_data, using these statements:

```
orientdb> CREATE CLASS <class>
orientdb> CREATE VERTEX [<class>] [SET <field> = <expression>[,]*]
orientdb> CREATE EDGE <class> FROM <rid>|(<query>)|<rid>* TO
<rid>|(<query>)|<rid>*
orientdb> CREATE PROPERTY <class-name>.<property-name> <property-type>[<linked-
type>][<linked-class>]
```

The technical parameters on transmission line and substation (SS) Rahoveci that are included as properties are: system frequency (Hz), voltages on three phases (kV), active power (MW) and reactive power (MVar) on three phases, and current (A) on three phases. As weather parameters are included: temperature (°C), humidity (%), wind speed (m/s), and pressure (bar). Voltages, active and reactive power, and current will be collected every min, and weather conditions every 15 min. All these technical parameter’s data will be inserted into OrientDB in very short period of time.

Q (MVar)	P (MW)	H
7,875	22,680	12:48
9,135	24,255	12:49
10,710	24,255	12:50
9,450	22,680	12:51
10,710	22,995	12:52
9,450	27,090	12:53
10,710	22,680	12:54
7,875	22,995	12:55
10,710	25,515	12:56
10,710	22,995	12:57
7,875	22,680	12:58
9,450	22,680	12:59
10,710	22,680	13:00
9,135	22,680	13:01
4,095	13,545	13:02
0	0	13:03
0	0	13:04
0	0	13:05
0	0	13:06
0	0	13:07
0	0	13:08
0	0	13:09
0	0	13:10
0	0	13:11
0	0	13:12
0	0	13:13
0	0	13:14
0	0	13:15
0	0	13:16
0	0	13:17
0	0	13:18
1,260	2,835	13:19
1,575	1,575	13:20
2,835	4,410	13:21
1,575	7,560	13:22
1,575	7,245	13:23
4,410	12,600	13:24
6,300	26,775	13:25
9,450	23,940	13:26
8,190	24,570	13:27
8,190	21,735	13:28

Fig.4 The data of P(MW) and Q(MVar) between 12:48 and 13:28 (08/09/2018)

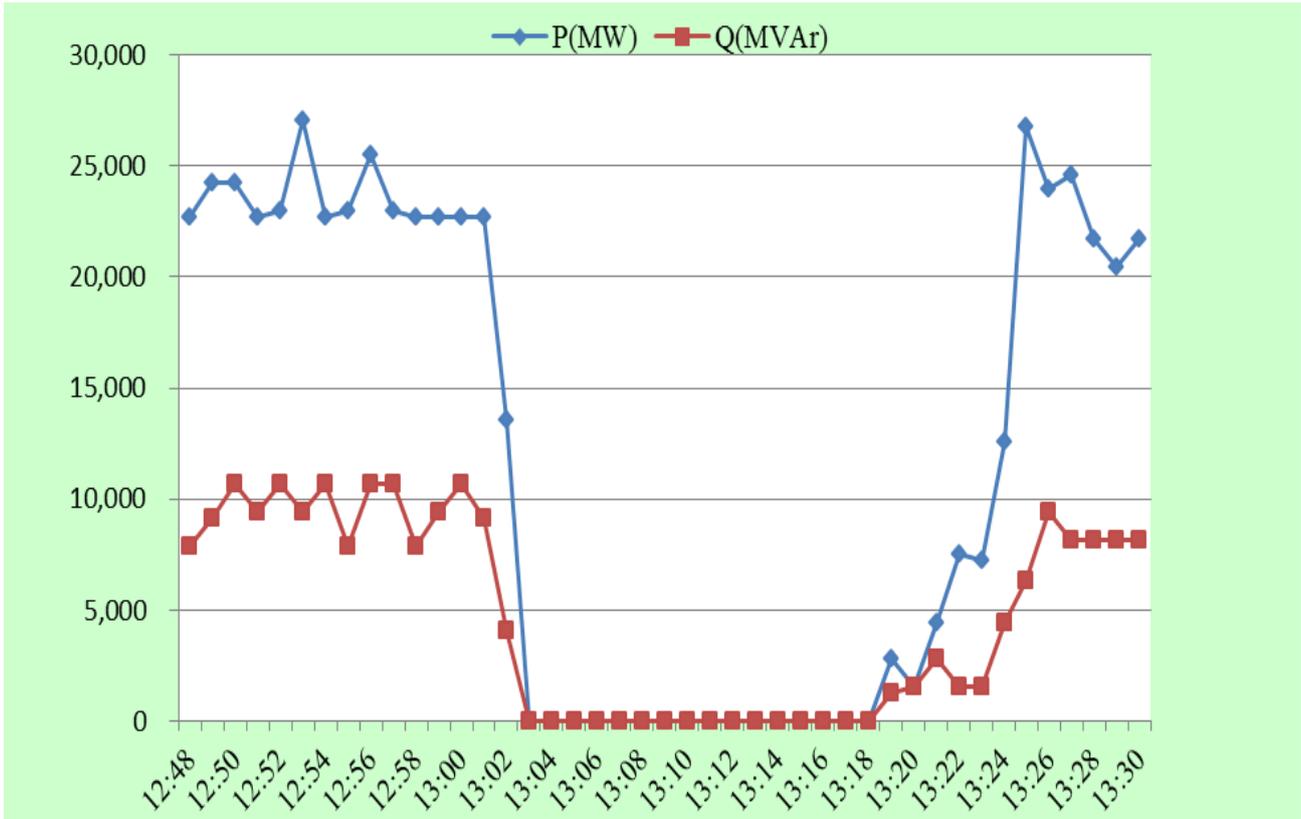


Fig.5 The P and Q during fault 08/09/18

Tab.1. Weather data in SS Prizreni2

Hour	T (°C)	H (%)	WS (m/s)	P (bar)
12:15	27.9	33.9	0.2	1012
12:30	28.4	34.2	0.4	1013
12:45	28.5	34.1	0.1	1011
13:00	28.3	34.8	0.3	1014
13:15	28.9	35.1	0.5	1013

After every insertion of data, a query will be done regularly, and if there is a difference on values between phases on any parameter's data than the query in OrientDB will identify that, and by this a fault will be detected.

This model is analyzed and tested by using archiving data. The archiving data for 2018 year have been putted in OrientDB database in very short period of time, and a fault that happened on transmission line SS Prizreni2-SS Rahoveci is analyzed. The data used are real data. The fault has happened on 08/09/2018 at 13:03. In Fig.4 have shown the data archived for one phase on transmission line SS Prizreni2-SS Rahoveci during the fault, and in Fig.5 has shown the chart from both P (MW) and Q (MVar). The weather data in this region for the time between 12:00 and 13:15 are shown in Table 1. From analyses can be seen, how active power P (MW) and reactive power Q (MVar) values have changed before the fault.

By using this model developed by OrientDB NoSQL data store, for collecting, storing and analyzing those technical parameters data in very short time, for three phases of transmission line is improved the fault detecting.



## 5. Conclusions

Power electrical systems are very complex and have a lot of requirements. The advances on information technology and emerging of Big Data can improve the reliability of the system, increase efficiency and decrease the costs. Detection, classification and identify location of a fault in transmission line as an important component on power system are a challenge.

The aim of this paper is to propose a method by using OrientDB as Big Data NoSQL store to improve fault detection on power transmission line. The data analyses in this model are applied to large amounts of data set. This proposed method has two stages:

a). In the first stage, the large amounts of data for all relevant technical parameters for three phases, are collected and stored in OrientDB NoSQL store, in very short period of time – every minute

b). In the second stage, the regular query clause is done on these data for three transmission line phases, to check and compare them and identify faults

As a future works, is the ability to make diagnostics of faults by using the developed model.

## References:

1. Leonard L. Grigsby: Electric Power Generation, Transmission, and Distribution, Third Edition, CRC Press, ISBN 13: 978-1-4398-5637-6, 2012, USA
2. Nasser D. Tleis: Power Systems Modelling and Fault Analysis Theory and Practice, Elsevier, ISBN-13: 978-0-7506-8074-5, 2008, UK
3. <https://www.ibm.com/analytics/hadoop/big-data-analytics/>, /accessed 14.04.2019
4. Reis, M.S.; Braatz, R.D.; Chiang, L.H. Big data-challenges and future research directions. Chem. Eng. Prog. 2016, 46–50.
5. <http://orientdb.com/docs/>, /accessed 02.04.2019
6. Philipp G., Patrick C., Michael A.: Data Processing Requirements of Industry 4.0 – Use Cases for Big Data Applications, AISEL, ECIS 2015, Paper 61
7. Arbër P., Daniela M., Lyudmila S.: THE PREDICTIVE MAINTENANCE OF POWER TRANSFORMER USING BIG DATA ANALYTICS, ADP-2018, TU Sofia, Bulgaria
8. YAN X., YANMING S., JIAFU W., XIAOLONG L., AND ZHITING S.: Industrial Big Data for Fault Diagnosis: Taxonomy, Review, and Applications, 2017 IEEE, Volume 5
9. Marco S. R., Geert G.: Industrial Process Monitoring in the Big Data/Industry 4.0 Era: From Detection, to Diagnosis, to Prognosis, Processes; 2017, 5, 35
10. Lei W., Lingling Sh., Mengchao M., Zhiguang M.: Fault Diagnosis and Trace Method of Power System Based on Big Data Platform; ACMME, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 394 (2018) 042116
11. Kristen S., Paphonwit Ch., Richard D. B.: Perspectives on process monitoring of industrial systems, 9th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes SAFEPROCESS 2015: Paris, 2015, Volume 48, Issue 21, Pages 931-939

## ПОДОБРЯВАНЕ ОПРЕДЕЛЯНЕТО НА НЕИЗПРАВНОСТИ ПО ТРАНСМИСИОННАТА ЛИНИЯ С ГОЛЕМИ ДАННИ

А. Перцуку, Д. Минковска, Л. Стоянова



**Резюме:** Способността за предотвратяване на повреди в различни устройства е важна в днешно време за нормалната експлоатация и надеждността на електропреносната система. В промишлеността се генерират бързо широко разпространени данни от множество източници. Събирането и анализирането на тези данни предлага значителна възможност за подобряване откриването на повреди. Тази статия представя подобрение в откриването на неизправности на високоволтовите предавателни линии с помощта на големите по обем данни (Big Data). Като казус се използва 110 kV електропровод СС Призрени2 - СС Раховец, част от косовската електропреносна система.

### **Data Author's:**

Arbër Perçuku, Mr. sc. Elec. Eng., Pristina, Rep. of Kosovo, PhD Candidate at Faculty of Computer Systems and Technologies, Department of Programming and Computer Technologies, Technical University of Sofia, Rep. of Bulgaria, Sofia bul. “Kl. Ohridski”, tel.: 00383 44 215 165, e-mail: arber.percuku@gmail.com

Daniela Minkovska Assoc. Prof. PhD, Faculty of Computer Systems and Technologies, Department of Programming and Computer Technologies, Technical University of Sofia, Rep. of Bulgaria, Sofia bul. “Kl. Ohridski”, tel.: 00359 (2) 965-3317, e-mail: daniela@tu-sofia.bg

Lyudmila Stoyanova Assoc. Prof. PhD, Faculty of Computer Systems and Technologies, Department of Programming and Computer Technologies, Technical University of Sofia, Rep. of Bulgaria, Sofia bul. “Kl. Ohridski”, tel.: 00359 (2) 965-3453, e-mail: lstoyanova@tu-sofia.bg



## ИЗБОР НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ (ДИГИТАЛЕН КОМПОНЕНТ) ЗА ВГРАЖДАНЕ В Е-СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДИСКРЕТНИ ПРОЦЕСИ

П. Томов, Е. Енчев

**Резюме:** Новите технологии от рода на разбиране на естествения език и разпознаване на говор вече могат да се използват по време на обслужване на клиентите, чрез прилагане на изкуствен интелект. Това означава, че се дава възможност за приоритет на съответната информация при използването на изкуствен интелект (дигитален компонент) и се създава възможност да се увеличи компетентността и удовлетвореността на клиентите като крайни потребители. Целта на настоящия доклад е да се предложи един подход за избор на изкуствен интелект за вграждане в Е – системите за автоматизирано управление на дискретни процеси.

**Ключови думи:** автоматизирано управление на дискретни процеси, изкуствен интелект, дигитален асистент.

### 1. Въведение - състояние и изходна ситуация

Автоматизираните информационни системи за управление на дискретни процеси обикновено използват интерфейс за прехвърляне на данни от CMS към търсачката "Apache SOLR". Поръчките за "Нови страници", "Промени на страници" и "Заявки за заличаване" понастоящем се предават чрез интерфейса. Данните за поръчката се предават чрез XML стандарт.

Прилагат се следните разновидности и особености:

- Е-системата се състои от няколко клиента;
- Има няколко пълномощия на клиент;
- Всяка страница може да бъде създадена с няколко пълномощия;
- В рамките на страницата съдържанието може да бъде разрешено отделно (например текстови части, свойства, препратки и т.н.).

Всеки потребител на интерфейса (операционен потребител) получава при въвеждане на термин за търсене само показване на съдържанието, за което е получил разрешение (т.е. по време на въвеждането на думата за търсене съответният разрешителен набор на потребителя се предава на търсачката и съответно се обработва). Освен интерфейса за набиране, сега няма API, който ви позволява да предоставяте информация на система на трети страни.

За да се активира изкуствен интелект (дигитален компонент) в Live-Pilot, информацията от Е-системата трябва да бъде достъпна чрез интерфейс. Съществуващият push интерфейс трябва да бъде разширен с цел вмъкване на "дигитален компонент". В тясна връзка със защитата на данните трябва да се обмисли дали могат да се прехвърлят всички данни от съответните класове за защита на данните. При необходимост обаче интерфейсът трябва да бъде адаптиран с цел да не се прехвърлят различни разрешения[1,2,3].

За да може оперативно да се внедрят Live-Pilot, то Widget трябва да може да се показва на всеки отделен случай в Е-системата за тестова група – например с ново разрешение за Е-системата. Резултатите от цифровия асистент трябва да се предоставят само на съответната тестова група. Този Widget ще покаже съдържанието на цифровия асистент.

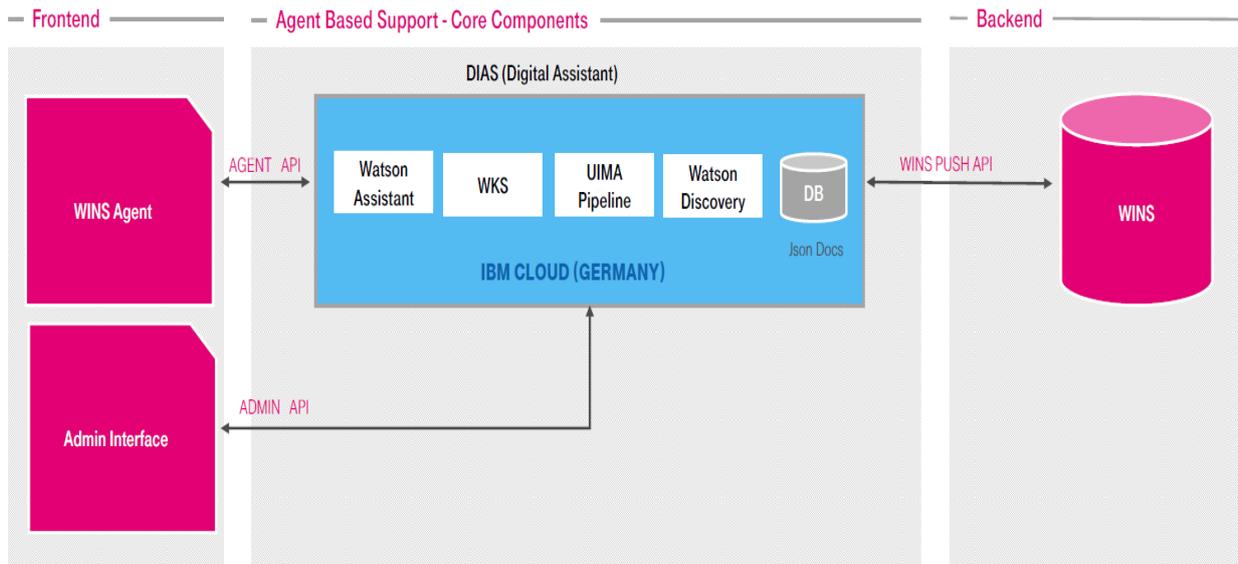
Чрез специална програма в Е-системата се интегрира изкуствен интелект (дигитален интелект), който подпомага консултанта за бързото намиране на подходящ отговор.

Изкуствения интелект (дигиталния интелект) трябва да бъде допълнително свързан със системите (производствени системи) в следващ етап на разширяване. Освен това, дигиталният интелект трябва да внимателно да следи клиентската дискусия в бъдеще и да представя на консултанта предложения за решение/отговори (без текстово въвеждане) [4,5].

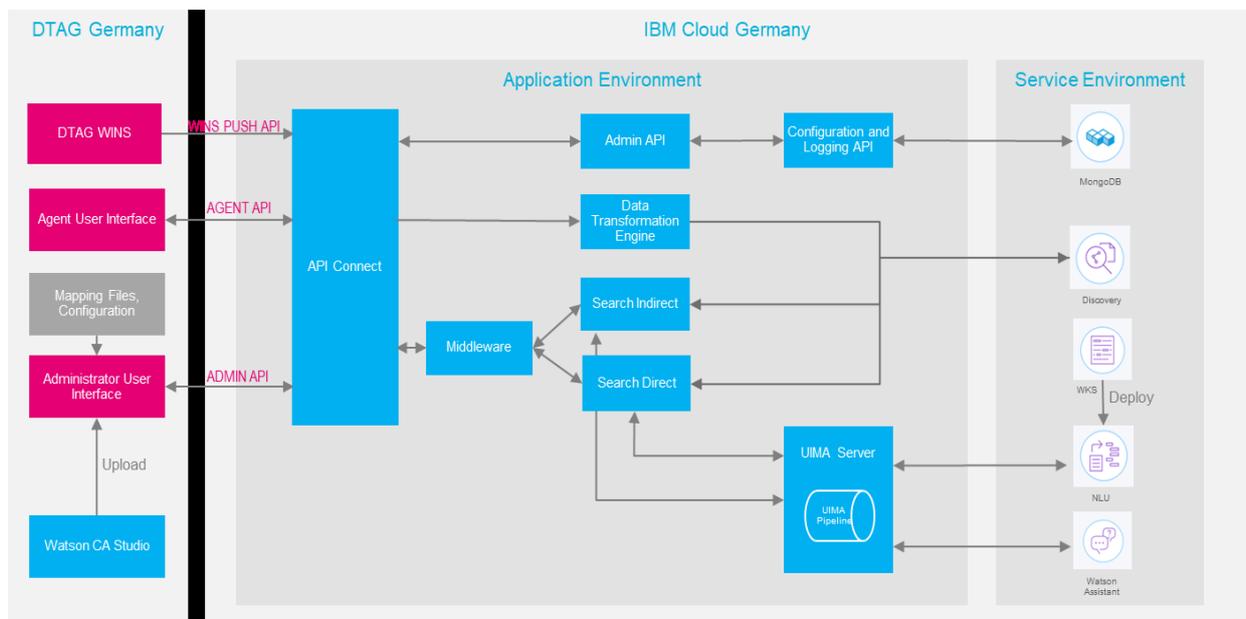
## 2. Последователността на избора включва следната структурна даденост:

### 2.1. Целева архитектура

Целеви архитектурен модулен подход за гъвкава работа е даден на фиг.1.(а,б)



Фиг.1а) Целева архитектура



Фиг.1б) Целева архитектура

### 2.2. Е-система

- Е-Система за информация, която автоматично комуникира с DIAS / Watson през PUSH API



- Потребителски интерфейс на агент: ръчен интерфейс към Watson
- Администраторски интерфейс: комуникира с Watson през ADMIN API и предоставя информация (картографиране на файлове, конфигурации и т.н.) чрез Watson CA Studio (Watson Content Analytics Studio)
- Watson Studio: IBM Уотсън Студио ускорява процеса на машинно обучение, необходим за интегрирането на ИИ в предприятието с цел стимулиране на иновациите. То предоставя на разработчиците на приложения и на експертите инструменти за научни данни, за да могат да боравят съвместно и лесно с общи данни и да използват тази информация така, че да бъдат създадени, изпробвани и анализирани AI модели в голям мащаб и то в единна интегрирана среда.

Внедрени Watson-инструменти: Изпробване на Watson с вградени AI услуги, включително Watson Visual Recognition и Natural Language Classifier. Моделите се адаптират и след това се предоставят като приложни програмни интерфейси (API) с Watson Machine Learning или CoreML.

База с отворен код: Използване на добре познати инструменти с отворен код за научни данни и машинно обучение.

Интуитивно визуално моделиране: Без кодекс на визуално моделиране с Neural Network Modeler за проектиране на невронни архитектури, използвайки най-популярните рамки за дълбоко учене. Моделите могат лесно да бъдат използвани със SPSS.

По-лесна подготовка на данни: Интерактивно идентифициране, изчистване и трансформиране на данни с каталога на Watson. По-лесно е да се разбере качеството и разпространението на данни с интегрирани диаграми и статистически данни.

Интерактивни табла за управление: Изследване на данни и споделяне по този начин на убедителни визуализирани резултати чрез интерактивни табла за управление, създадени в мощна среда за създаване и преместване.

Еластични възможности за изчисления: Може лесно да се мащабират изчислителните ресурси и да се персонализират зависимостите на пакетите, за да се създадат персонализирана и възпроизводима среда, която може да се използва в цялата организация.

### 2.3. DIAS

- API-Connect: интерфейс за свързване, базиран на JSON формат
- Admin API: Административен интерфейс
- API за конфигуриране и регистриране: интерфейс за конфигуриране и регистриране
- Двигател за преобразуване на данни: мощен и гъвкав двигател за трансформация на данни за проверка или нормализиране на потоците от данни
- Middleware: междинен слой към функциите за търсене
- Индиректно търсене: Компонент за търсене, който е свързан директно с Watson Discovery, без стъпки за обработка, т.е. много лесни заявки за търсене
- Директно търсене: Комплексни заявки за търсене, които минават през цялата верига на обработка
- UIMA сървър (UIMA проводник): Неструктурираните приложения за управление на информацията са софтуерни системи, които анализират големи обеми от неструктурирана информация, за да открият информация, която е от значение за крайния потребител. Например: UIM приложение може да вземе обикновен текст и да идентифицира обекти като хора, места или организации, или отношения, като например "За кого сте работили" или "Кое е мястото." UIMA позволява разграждането на приложенията в компоненти, напр. "идентификация на език" => "специфична за езика сегментация" => "Разпознаване на границите на изречението" => "идентифициране на обекти (имена на лица/ места и т.н.)." Всеки



компонент изпълнява интерфейси, дефинирани от рамката, и предоставя самоопределящи се метаданни за XML дескрипторни файлове. Рамката управлява тези компоненти и потока от данни между тях. Данните, които протичат между компонентите, са предназначени за ефективно разпределение между тези потоци. UIMA също така предоставя функции за обхващане на компоненти като мрежови услуги и може да бъде мащабиран до много големи обеми чрез репликация на обработващите проводници през клъстер от мрежови възли (UIMA спецификация).

### 2.4. Обслужваща среда

- **Mongo DB:** Съхранение на данни за JSON Docs.
- **Watson Discovery:** Преобразуване и отключване на скрити стойности в данни, за откриване на отговори и наблюдаване на тенденциите и повърхностните модели с най-модерния двигател на Insight, създаден в облака.

**Вграден NLP:** Watson Discovery се доставя с интегрирана обработка на глас. Чрез лесното избиране на няколко опции може да се извлече настрояване, субекти, концепции, семантични роли и др.

**Обучение за уместност:** След като се запознае с въпросите, от които основно се интересуват потребителите или служителите, Watson може да се научи на основите - и Watson ще се научи как да организира резултатите точно за съответните потребители.

**Анотация/извличане на персонализирани модели:** IBM Discovery също може да бъде персонализирана за конкретен домейн. Във всяка организация има термини, които не се разбират от публичните модели. С помощта на обучението за уместност е възможно лесно адаптиране на решението.

- **WKS (Watson Knowledge Studio):** Този продукт учи Watson на езика на домейна.

**Учене чрез примери:** Това ще накара специалистите да научат Watson на езика на бранша или организацията без необходимите задълбочени технически знания или програмни умения.

**Експертна ангажираност:** Това превръща експертите и знанията им в съвместна онлайн среда, за да научат Watson как да разбира езиковите нюанси на домейна.

**Използваемост навсякъде:** Прилагане на знанията, които Watson е придобил в различните приложения, използвайки модели на Watson Knowledge Studio в Watson Discovery, Watson Natural Language Understanding и Watson Explorer.

- **NLU (Разбиране на естествения език):** обработка в естествен език за усъвършенстван текстов анализ.

**Мощни познания:** Задълбочаване на познанията за неструктурираните данни на съвсем ново ниво с набор от усъвършенствани възможности за анализ на текст за извличане на обекти, взаимоотношения, ключови думи, семантични роли и др.

**Широко езиково покритие:** интерпретиране на текста на много различни езици.

**Персонализиране на домейна:** Прилагане на знанията на уникалните обекти и взаимоотношения в съответния бранш или организация.

**Watson асистент:** Watson асистент предоставя мащабируеми решения, които отговарят на нуждите на съответния бизнес и трансформира взаимодействието с клиенти и служители. Независимо е бизнес потребител, който се нуждае от сериозно решение в бранша или разработчик, който се нуждае от стабилна платформа за изграждане на AI съветник от самото начало, Watson асистент покрива тези нужди.

**Watson Assistant решения:** Решенията на Watson Assistant са предназначени за множество браншове и се основават на водеща платформа за разговори. Решенията помагат на компаниите да предоставят персонализиран опит на своите клиенти и да дават знания, които правят всяко взаимодействие по-добро от последното. Watson асистентът може да бъде



вграден в различни канали, за да осигури последователни клиентски изживявания, които са ценни, частни и сигурни.

### 3. Пример:

Табл.1. Ефективно предоставяне на информация (напр. Консултация за тарифите)

<i>Сега</i>	<i>С изкуствен интелект</i>
Потребителят търси подробна информация за дадена тарифа: Процес: 1. След като въведете думата за търсене, се показва списък с резултати от търсенето 2. Консултантът трябва да отвори страница с подробности 3. Консултантът на клиента трябва да търси съответната функция в основните данни на тарифата Примери: - Цена на предоставяне MultiSIM в тарифа ...? - Максимална скорост на използване на данните в старата тарифа ...?	Потребителят търси подробна информация за дадена тарифа Процес: 1. След като въведете въпроса, ще се покаже желаната тарифа. Потребителят може незабавно да види отговора на съответния въпрос.

Табл.2. Ефективно предоставяне на информация (например обработка на процес)

<i>Сега</i>	<i>С изкуствен интелект</i>
Потребителят търси подробна информация за дадена тарифа Процес: 1. След като въведете думата за търсене, се показва списък с резултати от търсенето 2. Консултантът трябва да отвори страница с подробности 3. Консултантът на клиента трябва да търси съответната функция в основните данни на тарифата Примери: - Цена на предоставяне MultiSIM в тарифа ...? - Максимална скорост на използване на данните в старата тарифа ...?	Потребителят търси подробна информация за дадена тарифа Процес: 1. След като въведете въпроса, ще се покаже желаната тарифа. Потребителят може незабавно да види отговора на съответния въпрос.

### 4. Заключение

Направен е избор за въвеждане на изкуствен интелект за обслужване на клиенти включен в Е-системата на компанията X. Предимствата са: Повишена компетентност в областта на продуктите и процесите; Отварянето на страницата с подробности е сведена до минимум; Ако страницата с подробности трябва да бъде отворена в случай на много големи процеси, консултантът се подпомага от маркирането на съответното съдържание; Оптимизирано и съобразено с нуждите оформление (UI / UX); Функция за сравнение и MT-Finder се показват директно на страницата с резултати от търсенето; Оптимизирано представяне на филтъра; Оптимизирана възможност за въвеждане на въпроса.



**Литература:**

1. Buchanan D.A., J McCalman, High performance work systems: The digital experience, 2018
2. Jacquot R.G., Modern digital control systems, 2019
3. Reuver M., Sørensen C., The digital platform: a research agenda, 2018
4. [www.oreilly.com](http://www.oreilly.com)
5. [www.nyu.edu](http://www.nyu.edu)

**SELECTION OF ARTIFICIAL INTELLECT (DIGITAL COMPONENT) FOR INSURANCE IN E-DISTRIBUTION SYSTEMS MANAGEMENT SYSTEM**

**P. Tomov, E. Entchev**

***Abstract:** New technologies such as natural language recognition and speech recognition can now be used during customer service by applying artificial intelligence. This means that it is possible to prioritize relevant information in the use of artificial intelligence (digital component) and to create the opportunity to increase the competence and satisfaction of customers as end users. The purpose of this report is to propose an approach to select artificial intelligence for embedding in E - systems for automated management of discrete processes.*

**Данни за авторите:**

Панчо Кръстев Томов, доцент доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел. 965 29 80, e-mail: [pkt@tu-sofia.bg](mailto:pkt@tu-sofia.bg)

Емил Енчев маг.инж., e-mail: [entchev@gmx.de](mailto:entchev@gmx.de)

## ПРОГРАМИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕМЕН ДОЗАТОР

С. Димитров

**Резюме:** В настоящата статия се разглежда програмирането и управлението на обемен дозатор с множество цикли на работа. Целта е да се разработи електрическо управление, пневматична схема и програмен код за различните цикли на работа на обемен дозатор.

**Ключови думи:** електрическа апаратура, програмируем логически контролер, пневматика, програма, програмен код.

### 1. Въведение

Обект на настоящата разработка е обемен дозатор с различни режими на работа (фиг.1). Той включва следните компоненти:

- Обемен дозатор.
- Новопроектирана пневматична схема и пневматични елементи.
- Новопроектирано електрическо табло.
- Новопроектирана електрическа апаратура.
- Създаване на нова програма.
- Създаване на нова циклограма за дозиране на по-голяма доза.



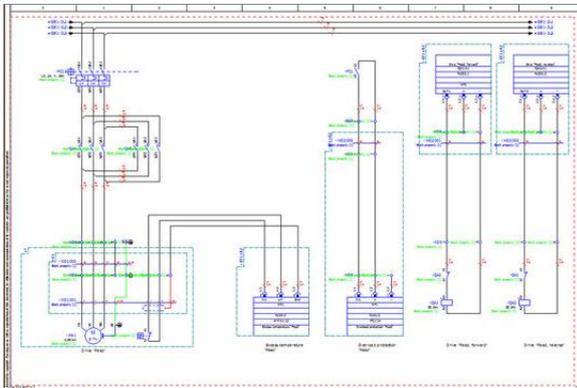
Фиг.1 Модел на обемен дозатор

За създаване на електрическата схема на обемен дозатор е използвана програмна среда “EPLAN” (фиг. 2). Всички използвани елементи за изработване на електрическата апаратура за изобразени на графичната електрическа документация. Показано е и правилното електрическо свързване на всички сензори и актори. За създаване на пневматичната схема е използвана програмна среда „Fluid Sim“ (фиг. 3). При начертаване на пневматичната схема са заложили всички разпределители и цилиндри с нужната спецификация. Програмната среда позволява симулация на избрания процес и премахване на конструктивни грешки. За изработване на програмен код е използвана среда “SoMachine Basic” (фиг. 4).

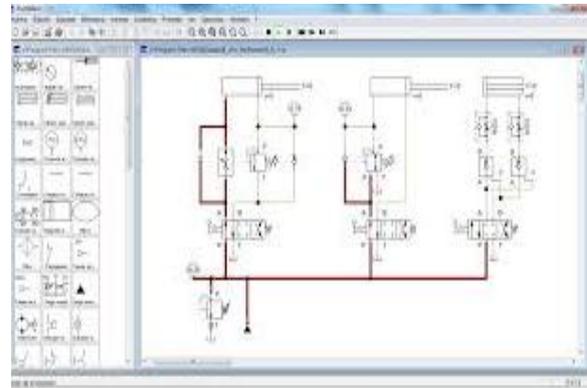


## XXVIII МНТК „АДП-2019”

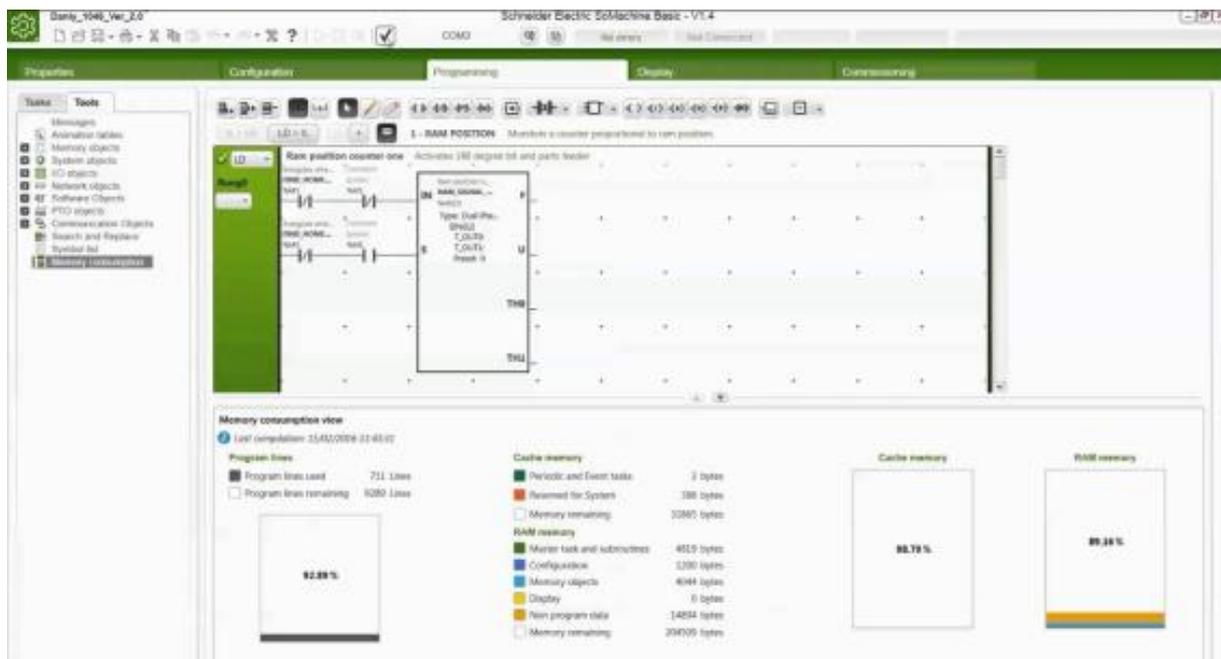
Това е специализиран софтуер за програмиране на контролери Shneider и периферни към него устройства, като позволява използване на различни видове визуализация. Това включва компютърни системи или външен дисплей. Също така, позволява използването на външни устройства, управлявани посредством различни протоколи. Програмата притежава вътрешна диагностика, която помага на програмиста лесно да поправя грешките си.



Фиг.2 Среда за електрическа схема EPLAN



Фиг.3 Среда за пневматична схема Fluid Sim



Фиг.4 Среда за създаване на програмен код

## 2. Принцип на работа и използвана апаратура

### 2.1. Принцип на работа

- Системата се стартира от зелен бутон “B1” (Старт).
- След натискане на старт цилиндър 1 и цилиндър 2 се връщат в задно положение.
- На линейна транспортна система се подават елементи за пълнен.
- При засичане на елемент от сензор S1 (барьерен тип), цилиндър 2 стартира своето движение.
- При достигане на преден сензор S2 (сензор за положение на цилиндър), се подава сигнал към контролера, че детайла е на правилна позиция.

- Следва стартиране на цилиндър 1 до достигане на сензор S3. Положението на сензор S3 се определя в зависимост от грамажа необходим за напъване. Системата е снабдена с линеен измервателен уред за показване на грамаж. Обемният дозатор е с максимален капацитет 100 [ml], затова програмата позволява двоен или троен цикъл в зависимост от нужния обем.
- След достигане на S3 обемният дозатор тръгва да се връща в стартово положение до сензор S4.
- При необходимост цикъла се повтаря.
- При достигане на пълното количество материал, цилиндър 2 се връща в задна позиция и системата очаква нов детайл.
- При позициониране на нов детайл пред сензор S1 цикъла се повтаря.

### 2.2. Основна използвана апаратура

**Табл.1 Контролер M221**



Гама на продукта	Modicon M221
[Us] номинално захранващо напрежение	24 VDC
Дискретен номер на вход	14 Дискретен вход в съответствие с IEC 61131-2
Вид дискретен изход	Транзистор
Дискретен номер на изход	10 Транзистор
Дискретно напрежение на изход	24 V DC
Дискретен изходен ток	0.5 A

**Табл.2 Импулсно захранване**



Входно напрежение:	Монофазно, 100 до 240 VAC, 50/60 Hz
Изходно напрежение:	24 VDC
Изходен ток:	2,5 A
Изходна мощност:	60 W
Промяна на изходното напрежение, %	От -10 до +15
Ефективност при 230 VAC вход, %:	88
Размери Ш x Д x В, mm :	32x110x90

**Табл.3 Цилиндър за движение на обемен дозатор**



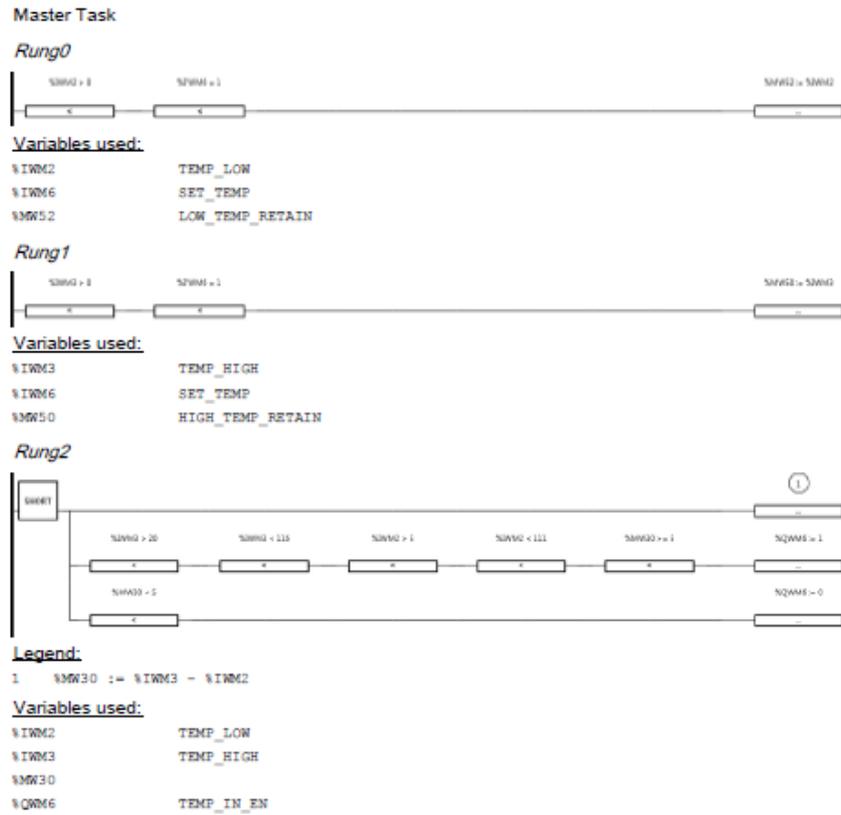
Диаметър на бутало	50 [mm]
Дължина на хода	500 [mm]
Сила	700 [N]

### 3. Разработване на електрическа схема, програмен код и пневматична схема

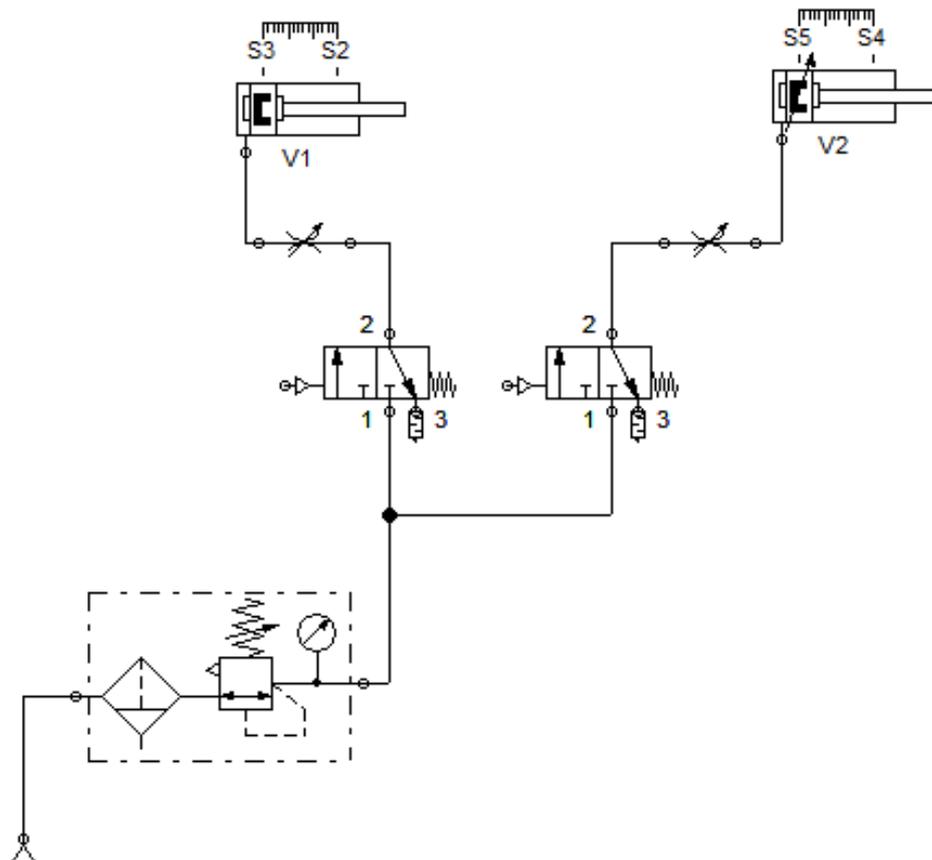
Електронна схема се нарича електрическа верига, съдържаща отделни пасивни и активни електронни компоненти като резистори, транзистори, кондензатори, индукционни бобини и диоди, свързани с проводници така. Комбинацията от компоненти и тяхното взаимно разположение позволява генерирането на електрически или електромагнитни сигнали и изпълнението на разнообразни прости и сложни операции с тях: те могат да се усилват, преобразуват, с тях да се извършват логически операции и изчисления и да се пренасят данни или да се управляват сложни изпълнителни механизми, в т.ч. и на далечно разстояние.

Пневматичните механизми се използват широко в промишлеността. Подобно на мрежите за електрозахранване в промишлените предприятия се изграждат мрежи за подаване на сгъстен въздух (или друг газ).





Фиг.6 Част от програмен код



Фиг.7 Пневматична схема



### 4. Изводи:

- Създадена е система за дозиране.
- Създаден е цикъл за работа на двоен и троен ход.
- Представена е електрическа схема.
- Представена е пневматична схема.
- Представен е програмен код за управление

### Литература:

1. Dimitrov S, Dimitrov L, Dimitrova R, Nikolov S, 2019 Examination of the process of automated closure of containers with screw caps. Studies in Systems, decisions and control, v.199 502-514.
2. Димитрова Р., В. Павлов, Автоматизация на дискретното производство като движение и действие с материални обекти, Научни известия на НТС по машиностроене, ISSN 1310 3946, год. XXIII, бр. 9/172, стр. (16-23), 2015 г.
3. <https://www.se.com/bg>
4. <https://gemamex.com>
5. <https://www.festo.com>

## PROGRAMMING AND CONTROL OF A LOAD DISPENSER

**S. Dimitrov**

***Resume:** This article discusses the programming and management of a multi-cycle Load Dispenser. The aim is to break down electrical control, pneumatic circuit and program code for the various volumetric dispenser operating cycles.*

### Данни за автора:

Слав Боянов Димитров, гл. ас. д-р., кат. АДП, МФ, ТУ-София, e-mail: [sbd@tu-sofia.bg](mailto:sbd@tu-sofia.bg)

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА СЕНЗОР ЗА НАЛЯГАНЕ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА СКОРОСТИ НА МАЛОГАБАРИТЕН БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ

К. Каменов

**Резюме:** Приложението на евтините и леки микромашинни сензори (MEMS) при управление и навигация на малогабаритен безпилотен летателен апарат (МБЛА) създава големи възможности за повишаване на надеждността при намаляване на теглото на информационната част на пилотажно-навигационния комплекс (ПНК). В статията е направено изследване на сензор за въздушна скорост. Направена е теоретична обосновка за снемане на данните от изследвания сензор. Предложен е вариант за добиване, обработка и анализ на данни за сензор за скорост.

**Ключови думи :** скорост, сензор, пълно и статично налягане, ПНК полетен контролер.

## 1. Въведение

За използването на МБЛА в различни мисии и задачи е необходимо изграждането на качествен и сравнително евтин пилотажно-навигационен комплекс (ПНК). Качеството на информацията, след обработката на данните от сензорите, пряко влияе на процесите на навигация и управление на МБЛА.

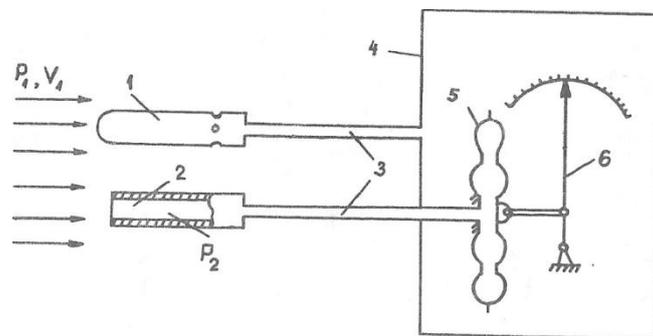
Скоростта на полета е векторна величина, за определянето на която трябва да се знае модулът и направлението ѝ [1].

При малки скорости на полета /  $V \leq 400 \text{ km/h}$  / въздухът може да се счита за несвиваем. Разликата в наляганята между пълното и статичното:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{\gamma}{g} \frac{V_1^2}{2} \quad (1)$$

където  $\Delta p = \frac{\gamma}{g} \frac{V_1^2}{2}$  се нарича **динамически или скоростен напор**, а  $p_2$  - **пълно налягане**.

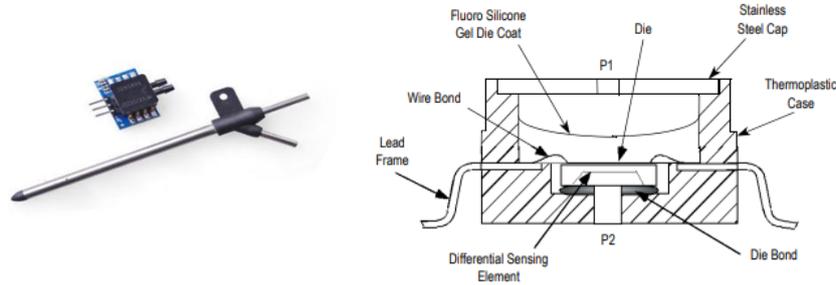
То е равно на сумата от статичното налягане  $p_1$  в налитания поток и скоростния напор  $\Delta p$  [2].



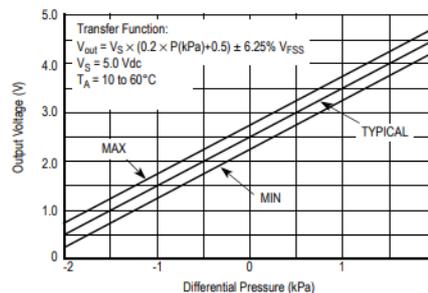
Фиг.1. Принципна схема на указател на скоростта

На фиг.1 е показана принципната схема на указател на скоростта. От израза (1) следва, че за измерване на скоростта на полета, равна на скоростта на налитания поток  $V_1$ , трябва да се измери разликата на наляганята  $\Delta p = p_2 - p_1$  и да се извлече квадратен корен от тази величина.

Пиезоизмервателните преобразуватели от серията MPXV7002 (фиг.2) са най-съвременните монолитни силиконови сензори за налягане, проектирани за широк спектър от приложения и подходящи за микропроцесорни или микроконтролерни системи [3].



Фиг. 2. Сензор MPXV7002 и конфигурация на диференциалното измерване



Фиг.3. Характеристика на MPXV7002DP по отношение на входовете за налягане

### 2. Теоретична постановка за измерване на скорост със MPXV7002

За предавателната функция, се използва линейното уравнение на наклона на изходната характеристика, след което се извлича отново функцията за прехвърляне [4]:

$$y = ax + b; \quad (2)$$

където  $a$  и  $b$  са съответно наклонът,  $y$  е показанието на напрежението, а  $x$  е разликата между входните налягания. Избират се две точки от горната линия, след което се решават за  $a$  и  $b$ :

$$\frac{V_s}{2} = b; \quad (3)$$

$$V_s = 2.5 a + \frac{V_s}{2}, \text{ където } a = \frac{V_s}{5}; \quad (4)$$

След заместване се получава:

$$y = \frac{V_s}{5} x + \frac{V_s}{5}; \quad (5)$$

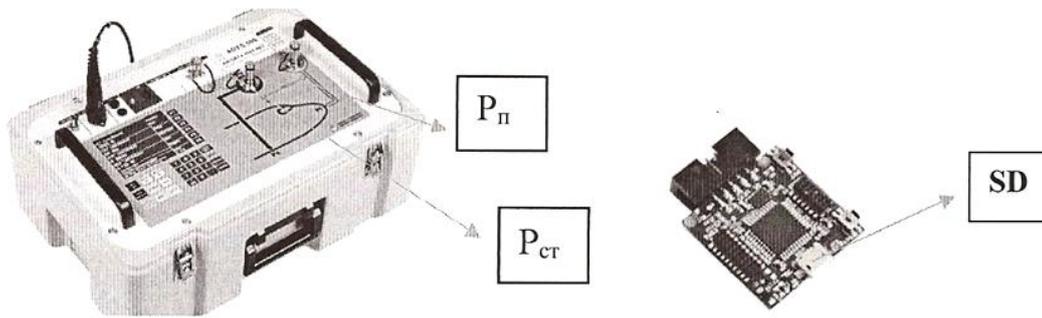
Изразът (5) е връзката за преобразуване на налягането в напрежение, а за преминаване от напрежение към налягане:

$$x = \frac{5y}{V_s} - \frac{5}{2} \quad (6)$$

Табл. 2 Връзка между налягането и напрежението получавани от сензора

Налягане ( kPa) във ( V)	Волтове (V) в ( Pa)
$V_r = \frac{V_s}{5} \Delta P + \frac{V_s}{5}$	$\Delta P = 1000(5 \frac{V_r}{V_s} - \frac{5}{2})$

В таблица 2 е показана връзката между напрежението на сензора и налягането.

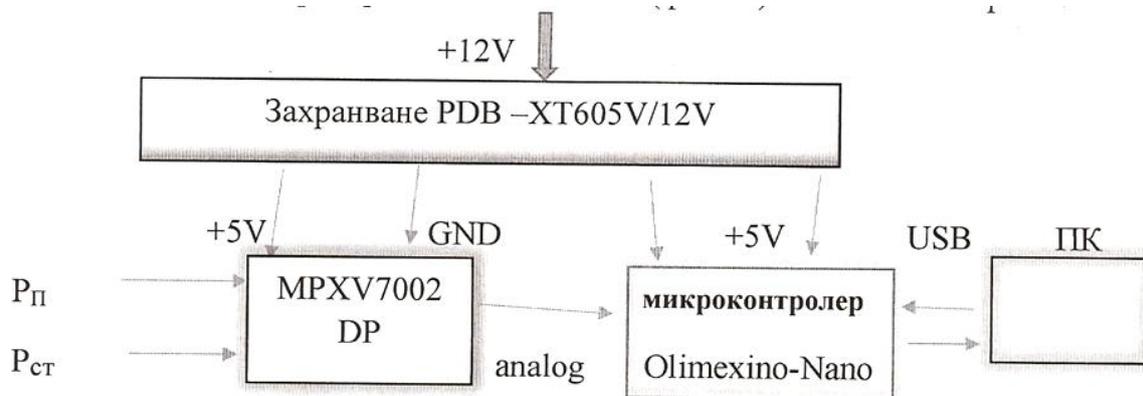


а) установка за създаване на налягане

б) Ардуино контролер Olimexino

Фиг.4. Използван хардуер

Свързването към сензора за диференциално налягане MPXV7002DP (фиг.4а) и към контролера, Olimexino-Nano (фиг.4б) е показано на фиг.5.



Фиг.5 Опитна постановка на системата за измерване

За да се определи приблизително скоростта, трябва да се свърже уравнението на скоростта с диференциалното налягане, прочетено като напрежение от сензора MPXV7002DP. Това се осъществява чрез:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_n - P_{cm})}{\rho}} \quad (6)$$

Зависимостта на диференциалното налягане от напрежението е :

$$\Delta P = 1000 \left( 5 \frac{V_r}{V_s} - \frac{5}{2} \right) \quad (7)$$

За скоростта се получава:

$$V = \sqrt{\frac{2000 \left( 5 \frac{V_r}{V_s} - \frac{5}{2} \right)}{\rho}} \quad (8)$$

За преобразуване от битове в напрежение се получава зависимостта:

$$V_r = \frac{ADC \text{ Value} \cdot V_s}{2^{10} - 1} \quad (9)$$

Окончателно уравнението за преобразуване на измерването в скорост е:

$$V = \sqrt{\frac{10000 \left( \frac{F}{2^{10} - 1} - 0.5 \right)}{\rho}} \quad (10)$$

Където F е показанието на аналоговия вход на Olimexino-Nano, а ρ е плътност на флуида ( в случая е въздух) и (2<sup>10</sup> - 1) е 10 битова резолюция на ADC на Ардуино.



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

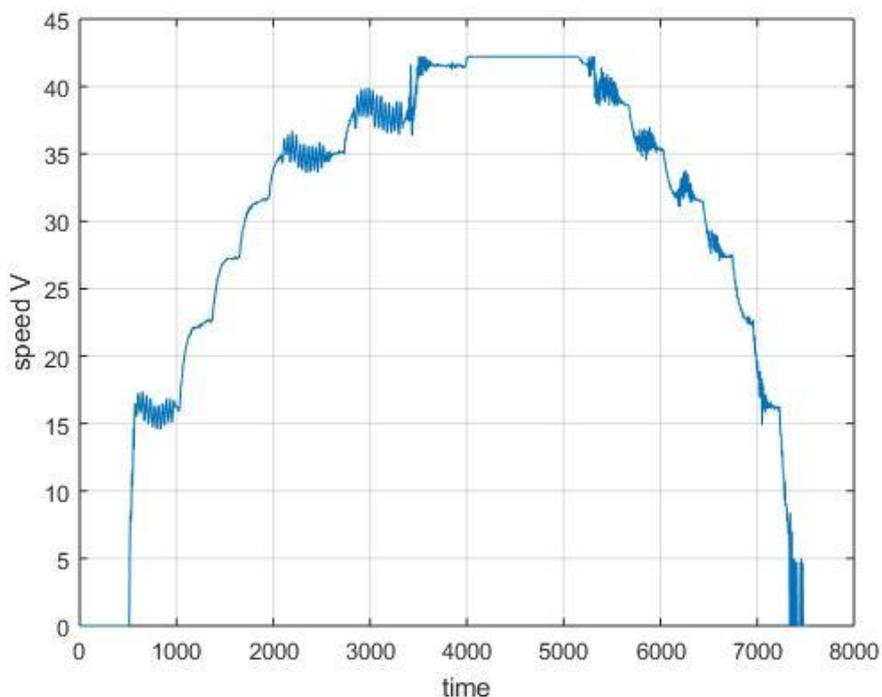
Създаден е код за снемане и запис на данни на SD карта от сензор MPXV7002DP, с цикъл на осредняване, който има за цел да стабилизира изходната стойност.

Снети са данни от 3 сензора MPXV7002DP, показани в таблица 2.

Таблица 2 Измерени резултати от три сензора

Сензор 1			Сензор 2			Сензор 3		
Налягане P <sub>n</sub> в (кПа)	Прав ход (km/h)	Обратен Ход (km/h)	Налягане P <sub>n</sub> в (кПа)	Прав ход (km/h)	Обратен Ход (km/h)	Налягане P <sub>n</sub> в (кПа)	Прав ход (km/h)	Обратен Ход (km/h)
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	15.22	14.82	0.1	17.25	18.09	0.1	15.89	16.08
0.2	21.64	21.60	0.2	21.78	21.96	0.2	22.46	22.34
0.3	26.19	26.60	0.3	27.89	27.30	0.3	27.23	27.31
0.4	30.40	30.90	0.4	31.02	31.24	0.4	31.48	31.47
0.5	34.50	35.87	0.5	34.98	34.92	0.5	34.96	35.29
0.6	37.41	37.41	0.6	38.06	38.10	0.6	37.18	38.68
0.7	39.84	39.84	0.7	40.75	40.75	0.7	41.45	41.58
0.8	39.84	39.84	0.8	40.75	40.75	0.8	42.21	42.21
0.9	39.84	39.84	0.9	40.75	40.75	0.9	42.21	42.21
1.0	39.84	39.84	1.0	40.75	40.75	1.0	42.21	42.21

На фиг.6 са показани графично получените резултати от сензор 3 в табл. 2.



Фиг.6. Данни от сензор 3

Необходимите налягания в (кПа) съгласно входно-изходната характеристика (фиг.3) на сензора MPXV7002DP са зададени с тарирана установка ADTS 505AIR DATA TEST SET за самолет Pilatos 9C (фиг.4а).

**Резултати:** Направена е теоретична обосновка на метода за снемане и анализ на данни от сензор за скорост MPXV7002DP. Разработено е програмно осигуряване за измерване на скорост и запис на данни на SD карта.



**4. Изводи:**

- Изяснена е теоретичната обосновка на метода за снемане и анализ на данни от сензор за скорост.
- Създадената методика може да се използва и за изследване на други сензори за скорост.
- Записа на данни на SD карта ще позволява да се изследват показанията и шумовете на други скоростни сензори в автономен режим.

**Литература:**

1. Пътов, В.М. Авиационни прибори, датчици и навигационни системи, част 1, София, „ВТС“ 1977, с.182-186.
2. Стоянов Ц. Т., „Авиационно оборудване“, МО, с.140-142.
3. <https://www.nxp.com/products/sensors/pressure-sensors/vacuum-sensors-50-to-115-kpa/-2-to-2kpa-vacuum-pressure-sensor:MPXV7002>[online] 01.05.2019)
4. <https://makersportal.com/blog/2019/02/06/arduino-pitot-tube-wind-speed-theory-and-experiment> [online](01.05.2019).

**SURVEY OF THE CHARACTERISTICS OF THE PRESSURE SENSOR IN MEASUREMENT OF SPEEDS OF A SMALL SIZE UNMANNED AERIAL VEHICLE**

**К. Кamenov**

***Abstract:** The application of cheap and lightweight micromechanical sensors (MEMS) to the control and navigation of small size unmanned aerial vehicle (SSUAV) creates great opportunities to increase reliability in reducing the weight of the information portion of the pilot-navigation complex (PNC). In the article, an airspeed sensor was studied. A theoretical rationale for acquisition the data from the sensor was made. An option for capturing, processing and analyzing data for a speed sensor is proposed.*

**Данни за автора:**

Красимир Русанов Каменов, асистент инж., катедра “Електротехника, автоматика и информационни технологии” от факултет „Авиационен“ при НВУ “Васил Левски”, Велико Търново № 8, тел.: 0898735276, e-mail kam\_kr@abv.bg



# ПРЕВКЛЮЧВАНЕ НА УПРАВЛЕНИЕТО НА ДПЛА С ПОМОЩТА НА МИКРОКОНТРОЛЕР

К. Коев, В. Уручева, М. Видева

**Резюме:** В настоящата статия е разгледана една концепция за развитие на система за управление на дистанционно пилотируем летателен апарат (ДПЛА) за видеонаблюдение, чрез използване на два радиоприемника. Предложен е начин за реализирането на концепцията за превключване на управлението, с използване на микроконтролер от серията на Atmel в развойната платка Arduino MEGA 2560. Синтезиран е обобщеният алгоритъм на работа на микроконтролера и е представена принципната схема на реализираното устройство.

**Ключови думи:** дистанционно пилотируем летателен апарат, превключване на управлението, микроконтролер.

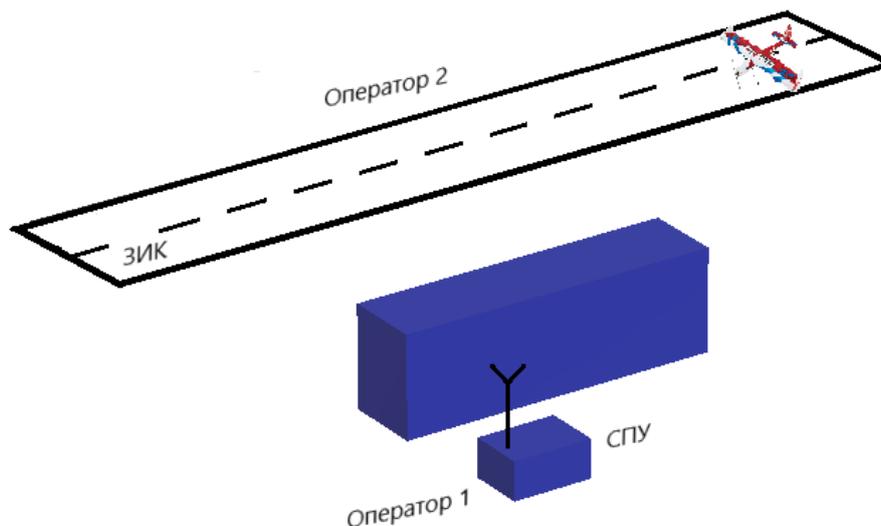
## 1. Въведение

Дистанционно пилотируемите летателни апарати (ДПЛА) намират все по-широко приложение в решаването на различни задачи, като в последно време се използват за предаване на видео изображение в реално време на големи разстояния [1, 5]. Това налага използването на специално оборудване на борда на ДПЛА [1], което осигурява предаване в реално време на полетната информация от ДПЛА към пункта за управление и визуална информация за обстановката пред ДПЛА. Управлението на такъв ДПЛА изисква радиопредавател, радиоприемник и антени, които да осигурят сигурна връзка в обхвата на предвиденото разстояние и качествено управление. В частен случай на управление, се налага използването на втори оператор, който извършва излитане и кацане на ДПЛА във видимата зона, поради невъзможността за извършване на тази операция от стационарен пункт за управление (СПУ). Това води до необходимостта от използване на допълнителен модул, който да превключва управлението от единия оператор към втория и обратно. В доклада е показан един начин за реализация на модул за превключване управлението на ДПЛА от два радиоприемника.

## 2. Теоретична постановка

В системите за въздушно видео наблюдение с използване на ДПЛА е необходимо да се осигури надеждна връзка за управление между оператора и безпилотния апарат, както и получаване на телеметрична и видео информация към пункта за управление. В концепцията на такава система, описана в [1], е включено оборудване, което е разположено както на борда на ДПЛА, така и на земята – в подвижна наземна станция (ПНС). В ПНС са разположени две работни места за оператори, снабдени с два монитора. Едното работно място е предназначено за оператор, който извършва управлението на полета на ДПЛА. Второто работно място служи за управление на камерата за видеонаблюдение.

Едно от възможните развития на показаната концепция е ПНС да бъде заменена със СПУ, поради възможността на посоченото оборудване да осигури покриване на радиус за видеонаблюдение от 10 километра извън зоната на пряка видимост. Конкретна реализация на тази възможност върху местността, в района на град Долна Митрополия, е показана на Фиг. 1.

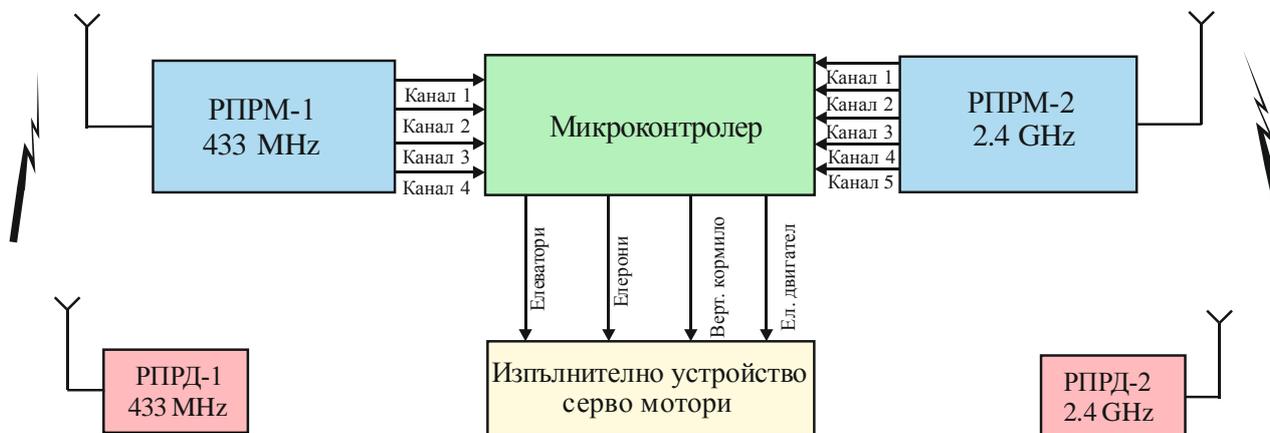


Фиг. 1 Схема на разположение на ЗИК и СПУ

От Фиг.1 се вижда, че между зоната за излитане и кацане (ЗИК) и СПУ няма пряка видимост. Това затруднява управлението на ДПЛА при извършване на маневрите излитане и кацане, въпреки че в СПУ операторът разполага с полетна информация от ДПЛА, която е визуализирана на единия от мониторите. При извършване на двата процеса, е удачно операторът да може да наблюдава ДПЛА, за да реагира своевременно при възникване на смущаващи въздействия като порив на вятъра, поява на подвижен обект в ЗИК и други.

Едно решение на този проблем е излитането и кацането да се извършва от втори оператор – оператор 2, който да се намира в ЗИК. Необходимо е той да разполага със стандартна система за управление, включваща радиопредавател на управляващи команди към ДПЛА, както и поставянето на втори радиоприемник на борда на ДПЛА. Синтезираната структурна схема на такава система за управление от два оператора е показана на Фиг. 2.

От Фиг. 2 се вижда, че системата съдържа две двойки радиопредавател-радиоприемник. Първата двойка работи на честота 433 MHz и е предназначена за далечно (извън зоната на пряка видимост) управление на ДПЛА. Радиопредавателят РПРД-1 на тази двойка е разположен в СПУ при оператор 1. Втората двойка работи на честота 2,4GHz и е предназначена за управление на ДПЛА в зоната на пряка видимост. Радиопредавателят РПРД-2 на тази двойка се намира при оператор 2 (Фиг. 1).



Фиг. 2 Структурна схема на система за управление на ДПЛА от два оператора

Броят на използваните канали от радиоприемниците са стандартните четири изхода за управление на елероните, елеватора, електрическият мотор и вертикалното кормило. Целесъобразно е изборът, кой оператор да управлява ДПЛА, да се извършва от оператор 2. Поради това от радиопредавателя РПРД-2 е предвидено да се използва допълнителен канал (канал 5), който служи като команда за превключване на управлението към изпълнителните устройства от радиоприемника РПРМ-1 или РПРМ-2.

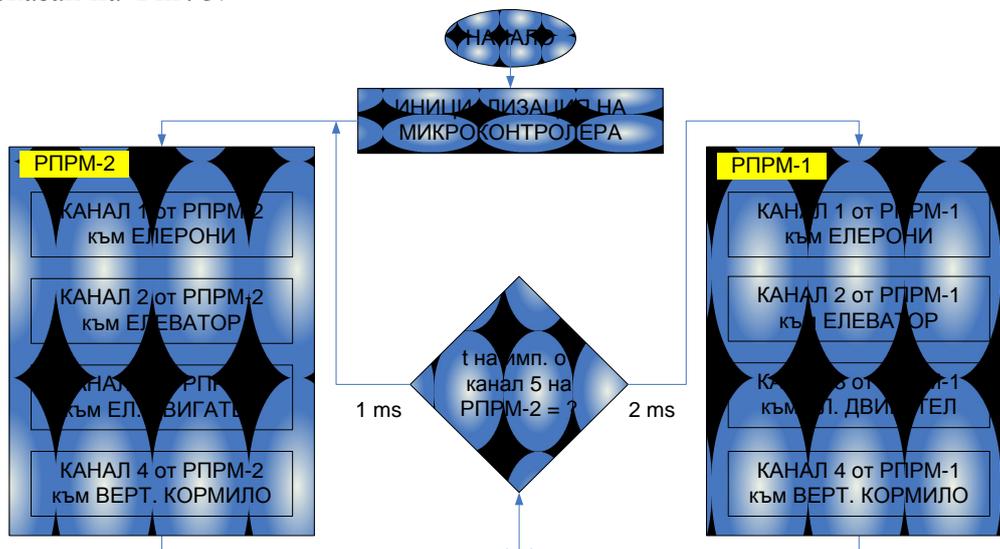
За осигуряване работата на системата е предвиден микроконтролер, който да следи за наличието на команда от канал 5 на радиоприемника РПРМ-2 и да осъществява превключването на управлението от съответния радиоприемник, в зависимост от състоянието на канал 5.

От изхода на един радиоприемник от системите за дистанционно управление на ДПЛА, управляващите команди се подават към изпълнителните устройства (серво мотори) във вид на широчинно импулсна модулация (ШИМ) [2,3]. Периодът на повторение на импулсите за управление на серво моторите е 20 ms, а широчината на импулса варира от 1 ms до 2 ms, в зависимост от ъгловото положение на органите за управление на съответния канал. В предложената система е предвидено управляващата команда по канал 5 да бъде импулс с продължителност 2 ms, когато управлението на ДПЛА се извършва от оператор 1 (РПРМ-1) и с продължителност 1 ms, когато управлението се извършва от оператор 2 (РПРМ-2). Избрани са двете крайни стойности, за да се избегнат възможности за грешни превключвания. В този случай, микроконтролерът трябва непрекъснато да следи продължителността на импулсите от канал 5 на РПРМ-2.

Първоначално е необходимо управлението да бъде предоставено на оператор 2, който се намира в ЗИК, където се извършва непосредствена подготовка на ДПЛА за излитане или се извършва кацане. Оператор 2, след като извърши маневрата по излитане, подава управляваща команда (импулси с ширина 2 ms) по канал 5 за превключване на управлението към оператор 1. Оператор 1 извършва пилотиране на ДПЛА на разстояние до 10 km и след изпълнение на задачата по видеонаблюдение го завърща в района на ЗИК. В тази зона оператор 2 има пряка видимост с ДПЛА и може да подаде команда за превключване на управлението от РПРМ-2.

### 3. Алгоритъм на работа на микроконтролера и принципна схема

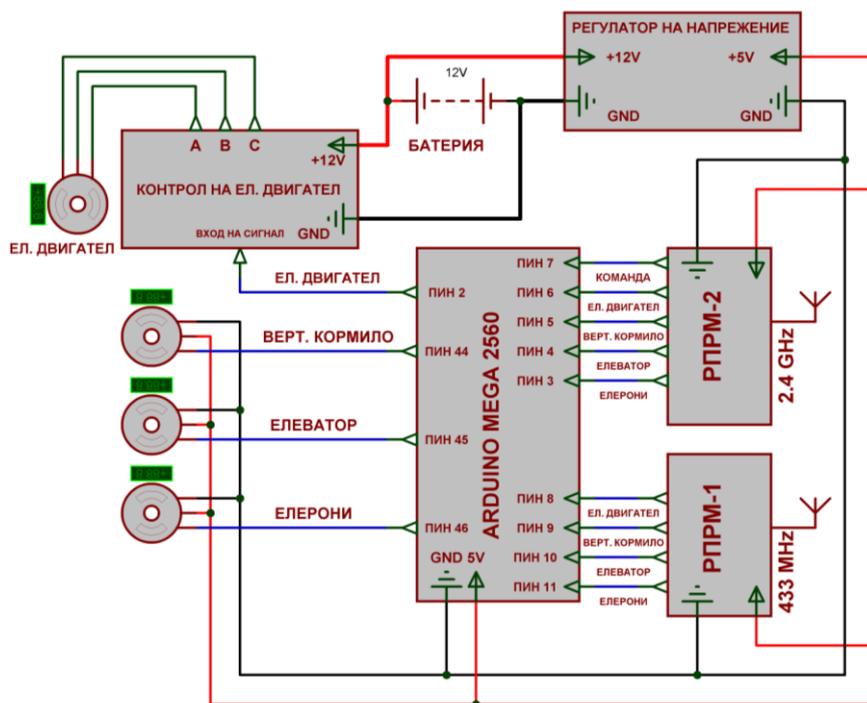
Въз основа на изложените съображения и предложената структурна схема от Фиг. 2 на системата за управление, е синтезиран обобщен алгоритъм на работа на микроконтролера, който е показан на Фиг. 3.



Фиг. 3 Обобщен алгоритъм на работа на микроконтролера

След включване на захранването се извършва инициализация на микроконтролера, която включва: конфигурация на входно-изходните портове, инициализация на всички използвани променливи и други. Първоначално управлението се превключва към оператор 2. Микроконтролерът измерва продължителността на импулсите от всеки канал на радиоприемника РПРМ-2 и формира импулси със същата продължителност на съответните изходи към серво моторите. След тази процедура се измерва продължителността  $t$  на импулса на канал 5. Ако  $t=1$  ms, това съответства на команда за управление от оператор 2 и микроконтролерът повтаря гореописаната процедура. Ако  $t=2$  ms, то микроконтролерът измерва, по същия начин, продължителността на импулсите от изходите на РПРМ-1 и формира управляващи импулси със същата продължителност към серво моторите.

Многообразието от микроконтролери позволява да бъде избран подходящ за реализация на концепцията. Широко приложение в ДПЛА намират Raspberry [4,6], Microchip [2,3], Arduino [7,8] и други. В конкретния случай е избран микроконтролерът да бъде ATMEGA 2560, интегриран в развойната платка Arduino Mega 2560. Принципната схема на реализираното устройство е показана на Фиг. 4, където са показани номерата на изводите (пинове) на Arduino Mega 2560, към които са включени изпълнителните устройства и радиоприемниците РПРМ-1 и РПРМ-2. Използвани са пиновете, които са конфигурирани да работят с ШИМ сигнали [7].



Фиг. 4 Принципна схема на устройство за превключване на управлението на ДПЛА

#### 4. Изводи:

- Направена е обосновка на необходимостта от използване на два радиоприемника за управление на ДПЛА, при осъществяване на видеонаблюдение на големи разстояния, когато няма пряка видимост между зоната за излитане и кацане и стационарния пункт за управление.
- Синтезирана е структурната схема на управление на ДПЛА с използването на два радиоприемника и микроконтролер AtMega 2560.
- Разработен е обобщеният алгоритъм на работа на микроконтролера.
- Показана е принципната електрическа схема на синтезираното устройство за превключване управлението на ДПЛА.



- Устройството за превключване е реализирано на практика и внедрено в ДПЛА, използван за видеонаблюдение, със СПУ разположен в района на Факултет „Авиационен” – гр. Долна Митрополия.

### Литература:

1. Димитров, Д, П. Пенев. Система за въздушно наблюдение с използването на дистанционно пилотируем летателен апарат, Сборник от доклади на ЮНК, Факултет „Авиационен”, 2014, с. 116-122, ISBN 978-954-713-216-8.
2. Димитров Д, М. Маринов, Ж. Петров. Електронно устройство за предаване на дискретни команди в апаратурите за радиоуправление, Сборник доклади от НК, Ф-т „Авиационен”, 2012, Том 2, с. 77-86, ISBN 978-954-713-106-4.
3. Димитров Д. Увеличаване броя на пропорционалните команди при апаратурите за радиоуправление на дистанционно пилотируеми летателни апарати, Сборник от доклади на ЮНК, Издателски комплекс на НВУ „В. Левски” – Факултет „Авиационен”, 2014, с. 123-129, ISBN 978-954-713-216-8.
4. Станчев Г, Д. Димитров. Възможности за използване на Raspberry Pi в дистанционно управляеми авиационни платформи, Сборник от доклади на НК, Факултет „Авиационен”, 2017, с. 159-165, ISBN 978-954-713-110-1.
5. Erdos D, A. Erdos, S. Watkins. An Experimental UAV System for Search and Rescue Challenge. Aerospace and Electronic System magazine, IEEE, v. 28, № 5, May 2013, p. 32-37, ISSN 0885-8985.
6. Schneider D, Using Commodity Wi-Fi for High-definition First-person Viewing Has Rough Edges. IEEE Spectrum. p. 19-20. 2017.
7. <https://www.arduino.cc>
8. [http://kasnakoglu.etu.edu.tr/Yayin/Hardware\\_in\\_the\\_Loop\\_01.pdf](http://kasnakoglu.etu.edu.tr/Yayin/Hardware_in_the_Loop_01.pdf)

### SWITCHING THE CONTROL OF AN UAV WITH THE HELP OF A MICROCONTROLLER

**K. Koev, V. Urucheva, M. Videva**

**Abstract:** *In the current paper is shown a concept for developing a control system for unmanned aerial vehicles (UAVs), which finds application in video surveillance, using two radio receivers. The implementation of the concept of switching the control between the operators is achieved through using Atmel microcontroller on the Arduino AtMega 2560 development board. The microcontroller's algorithm is synthesized and the main scheme of the implemented device is presented.*

#### Данни за авторите:

Калоян Орлинов Коев, курсант във Факултет „Авиационен” на Национален военен университет – Долна Митрополия, Р. България, тел.: 0882 398181, e-mail: KaloyanKoev9601@gmail.com

Виктория Чавдарова Уручева, курсант във Факултет „Авиационен” на Национален военен университет – Долна Митрополия, Р. България, тел.: 0896 727179, e-mail: viktoriaurucheva96@gmail.com

Мария Иванова Видева, курсант във Факултет „Авиационен” на Национален военен университет – Долна Митрополия, Р. България, тел.: 0895 489339, e-mail: mariavideva1@abv.bg



# ИКТ В ИНОВАТИВНИ ПРОЕКТИ ЗА ЕНЕРГИЙНО ЕФЕКТИВНИ СГРАДИ И КОМПЛЕКСИ

Р. Петров, Д. Карастоянов

**Резюме:** Предмет на статията са различни подходи в иновативни проекти за създаване на енергийно ефективни домове, сгради, сградни комплекси и умни градове, съчетаващи прилагане на ИКТ, възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), рециклиране на отпадните продукти и интегрирани системи за транспорт, сградна автоматизация и акумулиране на енергия.

**Ключови думи:** умен град, ИКТ, ВЕИ, енергийна ефективност.

## 1. Въведение

Големите технологични, икономически и екологични промени повишиха интереса към интелигентните градове поради изменението на климата, икономическото реструктуриране, преминаването към онлайн търговия и забавления, застаряването на населението, растежът на градското население и натискът върху публичните финанси [1].

ИКТ се използват за повишаване на качеството, ефективността и интерактивността на градските услуги, за намаляване на разходите и потреблението на ресурси. Интелигентните градски приложения са разработени за управление на градските потоци и позволяват реагиране в реално време. Следователно един интелигентен град може да бъде по-готов да отговори на предизвикателства, отколкото една традиционна урбанистична структура, [1].

Умният град е градска зона, която използва различни сензори за събиране на данни и след това използва тези данни за ефективно управление на активите и ресурсите. Това включва данни от граждани, устройства и активи, които се обработват и анализират за наблюдение и управление на системи за трафик и транспорт, електроцентрали, водоснабдителни мрежи, управление на отпадъци, разкриване на престъпления, информационни системи, училища, библиотеки, болници. Концепцията за интелигентния град интегрира ИКТ и различните физически устройства, свързани с мрежата на интернет, за да се оптимизира ефективността на градските операции и услуги и да се свърже с гражданите. Интелигентната градска технология позволява на градските власти да си взаимодействат пряко както с общността, така и с градската инфраструктура, както и да наблюдават какво се случва в града и как градът се развива, [1].

## 2. Иновативни подходи за интелигентни сгради, комплекси и градове

Няколко концепции на интелигентния град зависят в голяма степен от използването на иновативни технологии; съществуват различни комбинации от технологична инфраструктура, даващи концепция за интелигентен град.

Цифров град: съчетава инфраструктура, ориентирана към иновационни услуги и комуникационна инфраструктура, [2]. Цифров град е "свързана общност, която съчетава широколентова комуникационна инфраструктура; гъвкава, ориентирана към услугите изчислителна инфраструктура, основана на отворени индустриални стандарти; иновативни услуги, отговарящи на нуждите на правителствата и техните служители, граждани и предприятия". Основната цел е да се създаде среда, в която гражданите да бъдат взаимно свързани и лесно да споделят информация навсякъде в града.

Виртуален град: Тук функциите се изпълняват в киберпространството; включва понятието хибриден град, който се състои от реалност с истински граждани и единици и паралелен виртуален град на реални субекти и хора. Наличието на интелигентен град, който



е виртуален, означава, че в някои градове е възможно едновременното съществуване между тези две реалности, но въпросът за физическата дистанция и местоположение все още не е лесен за управление. Визията за света без дистанция остава неизпълнена по много начини. На практика тази идея се задържа чрез физическа ИТ инфраструктура на кабели, центрове за данни и обмен.

**Информационен град:** Събира местна информация и я доставя на публичния портал; В този град много жители могат да живеят и дори да работят в интернет, защото могат да получат всяка информация чрез ИТ инфраструктура, благодарение на метода за споделяне на информация сред самите граждани. Използвайки този подход, един информационен град може да бъде градски център както в икономически, така и в социален план; най-важното е връзката между гражданските служби, взаимодействията между хората и държавните институции.

**Интелигентен град:** включва функция на научни изследвания или технологични иновации за подпомагане на процеса на учене и иновации. Понятието се появява в социален контекст, в който знанието, процесът на учене и творчеството имат голямо значение и човешкият капитал се счита за най-ценния ресурс в този вид технологичен град. По-специално една от най-важните особености на интелигентния град е, че всяка инфраструктура е актуална, разполага с най-новите технологии в комуникациите, електронните и механичните технологии. Опитът за изграждане на "интелигентен" Smart City е по-скоро радикална иновация, дължаща се на голямо количество усилия да се използва ИТ, опитвайки се да трансформира ежедневието, [3].

**Повсеместен град (U-city):** Той създава среда, която свързва гражданите с всякакви услуги чрез всяко устройство. U-city е по-нататъшно разширяване на концепцията за цифровия град, защото позволява достъпността на всяка инфраструктура, [4]. Това улеснява гражданите да използват всички налични устройства за свързването им. Целта е да се създаде град, в който всеки гражданин може да получи всякакви услуги навсякъде и по всяко време чрез всякакви устройства. Важно е да се подчертае, че въпросният град е различен от виртуален град: докато виртуалният град създава друго пространство чрез визуализиране на реалните градски елементи във виртуалното пространство, U-city се дава от компютърните чипове, вмъкнати в тези градски елементи.

**Cognitive Smart City:** Когнитивният интелигентен град разширява концепцията за интелигентния град, като се позовава на сближаването на новите интернет неща (IoT) и интелигентните градски технологии, техните генерирани големи данни и техники за изкуствен интелект.

### **3. Примери за иновативни проекти на сгради и комплекси**

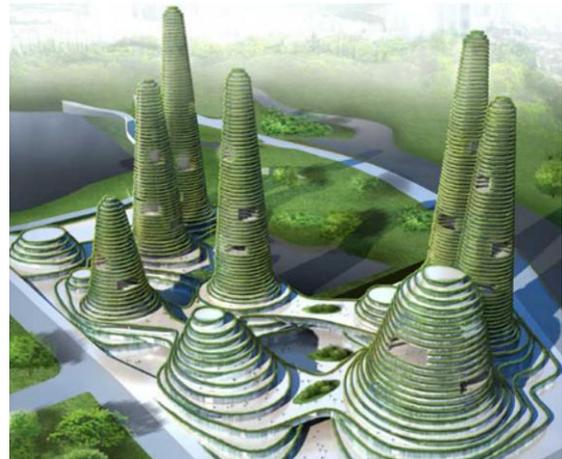
На брега на Червено море саудитският принц Мохамед Бин Салман през 2017 г. обявява плановете си за построяване на чисто нов град от нулата, разположен на площ от 26500 км<sup>2</sup>, името „НОЕМ“ означава – Ново бъдеще (фиг. 1). Плановете са този мега град да бъде независима специална зона, която ще бъде автономна икономически, културно и политически. Градът ще се захранва изцяло от ВЕИ, предимно слънце и вятър. Благодарение на местоположението си на световната карта, „НОЕМ“ ще бъде достъпен за 70% от световното население за по-малко от осем часа. Повечето от тях ще могат да идват благодарение на амбициозните плановете за мостови съоръжения, които да свързват „НОЕМ“ с Египет и други части на Африка, [5].

Саудитското правителство очаква стойността на проекта да достигне 500 милиона щатски долара. Плановете за изграждане са доста амбициозни като сроковете за завършване на първата фаза са през 2025 г.

Може би един от любопитните проекти, които могат да се видят на чертожната дъска, дело на датската фирма MVRDV, спечелил наградата за енергийно независим и умен град, който се предвижда да бъде построен на 35км. от столицата на Южна Корея, Сеул. Сградите са с различна височина, като по този начин напомнят за естествена околна среда, която неусетно се вписва със заобикалящият го свят – фиг. 2. Фокусиран върху броя на жителите, който е 77000, ще предлага достатъчно място за почивка, търговия и други дейности, нужни на живеещата там общност. В сърцето на комплекса ще бъдат разположена електроцентрала, използваща най-модерните технологии за производство на чиста енергия, както и разумното и използване, [6].



Фиг. 1. The independent special zone NOEM



Фиг. 2. Gwanggyo (Seoul, South Korea)

Подобен проект, който частично е изпълнен е „Масдар Сити“ Абу Даби, Обединени Арабски Емирства. Проектиран от английската фирма „Фостърс и партньори“, той се очаква да се захранва със слънчева енергия и възобновяеми енергийни източници, [7]. В града се намира централата на „Международната агенция за възобновяеми енергийни източници - International Renewable Energy Agency. Градът е замислен да стане център на компании за зелена енергия. Първият наемател е местният „Masdar Institute of Science and Technology“.

Началото на проекта е от 2006г., предвидено е той да се разпростира на територия от шест квадратни километра, а заложената прогнозна стойност на този проект е в интервала от 18-22 милиарда щатски долара.

Изпълнението на проекта започва през 2008г., първите шест сгради за завършени през октомври 2010 г. - фиг. 3. Настъпилата глобална финансова криза се отразява на изпълнението на проекта като финала се отлага за периода от 2022 до 2025 г., през 2016 г. срока отново е удължен за 2030 г.



Фиг. 3. Изгледи от Масдар Сити

Разработен като място за живот за 45000-50000 души, както и 1500 фирмени офиса, в проекта се залага на множество сгради, изградени с екологични материали. Очакванията са в града всеки ден да пристигат 60000 души на работа. Но само 2000 са те през 2016 г. и само 300 студента от университета в Масдар живеят постоянно.

Градът е замислен комплексно да бъде удобен за пешеходци и велосипедисти. Характерни са стените с арабски мотиви. Погледнат от далеч, градът има формата на куб. Температурата в комплекса е по-ниска от заобикалящата го пустиня с 15-20°C. 45-метра висока въздушна кула, проектирана по оригинален арабски дизайн засмуква въздух в горната си част и осигурява хладен бриз по улиците за удобство на жителите и посетителите на града. Нивото на града е по-високо, което създава лек охлаждащ ефект. Сградите и улиците са подредени по такъв начин, че да осигуряват сянка и защита от преките слънчеви лъчи. При изготвянето на проекта са използвани идеи от древни градове като Кайро и Мускат, и как те са успявали да се предпазят от жегата на заобикалящите ги пустини. Архитектите и инженерите от „Фостърс и партньори“ установили, че това става с относително къси улици (не по-дълги от 70 м), сградите разположени в началото на тези улици създават турбулентен ефект като карат въздуха да се придвижва напред, а на края на улиците създават засмукващ ефект.

Първоначалният дизайн изключва автомобилното движение на неговата територия. За придвижване е предвидена сложна система за масов транспорт. Системата се нарича „personal rapid transit (PRT)“ система, която би трябвало да използва съществуващите пътища и железопътни линии, за да свързва града с други външни точки за комуникация и логистика – фиг. 4.



Фиг. 4. „personal rapid transit (PRT)“ система

За съжаление през 2010г. е обявено, че “PRT” ще остане само в пилотния си вариант и няма да има по-нататъшно разширение, заради високата цена. Като резервен вариант са купени електромобили, които изпълняват ролята на транспорт „от точка до точка“. За притежателите на конвенционално задвижвани автомобили са предвидени буферни паркинги в близост до града.

За задоволяване на енергийните нужди на града първоначално е замислено да се използват до 100% възобновяеми енергийни източници с нулеви въглеродни емисии. На площ от 22 хектара са разположени 87777 слънчеви панела, както и допълнителни на покривите на сградите. Въпреки обещанията градът е закачен към енергийната мрежа на ОАЕ. В целия град няма електрически ключове или водни кранове, сензори за движение, контролират консумацията на електричество и вода. 80% от водата, която се използва ще се рециклира за повторна употреба, колкото пъти е възможно. Централата на „Сименс“ е построена на територията на Масдар. Сградата претендира да бъде най-зелената на територията на целия Абу Даби. Тя притежава платинен сертификат за енергийна ефективност.

Сградата се нуждае от 45% по-малко енергия и 50% по-малко вода от подобни сгради. Проектирана е, така че, използвайки ефекта на Вентури се осигурява прохладен въздух за офисните помещения и общите части. Светлината в атриума се осигурява от слънцето, с което се елиминира нуждата от изкуствено осветление. Всички системи се управляват от най-модерна система за сградна автоматизация, дело на специалистите от „Сименс“.



### 4. Заключение

Повечето сгради и комплекси с акцент върху екологията и евергийната ефективност, са още в процес на изграждане или проектиране. Въпреки това, с развитието на ИКТ части от тях стават реалност с минимална консумация на енергия и вода, а същевременно с големи удобства и свързаност на хората.

### Благодарности:

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепа по линия на средства за редовни докторанти – 2019 г.

### Литература:

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_city](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city)
2. Yovanof, Gregory S.; Hazapis, George N. (19 March 2009). "An Architectural Framework and Enabling Wireless Technologies for Digital Cities & Intelligent Urban Environments". *Wireless Personal Communications*. 49 (3): 445–463. doi:10.1007/s11277-009-9693-4. ISSN 0929-6212.
3. N. Komninos and E. Sefertzi., "Intelligent Cities: R&D offshoring, web 2.0 product development and globalization of innovation systems" (PDF)., Paper presented at the Second Knowledge Cities Summit 2009, Shenzhen, China, 5-7 November 2009 (<http://www.kcsummit2009.com/eng/index.html>)
4. Anthopoulos, Leonidas; Fitsilis, Panos (23 September 2009). Sideridis, Alexander B.; Patrikakis, Charalampos Z., eds. *Next Generation Society. Technological and Legal Issues. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*. Springer Berlin Heidelberg. pp. 360–372. doi:10.1007/978-3-642-11631-5\_33. ISBN 9783642116292.
5. [https://www.vice.com/en\\_au/article/gyjgzz/saudi-arabia-is-building-a-dollar643-billion-green-powered-megacity](https://www.vice.com/en_au/article/gyjgzz/saudi-arabia-is-building-a-dollar643-billion-green-powered-megacity)
6. <http://www.energytrendsinsider.com/2009/05/12/ten-of-the-greenest-skyscrapers-in-the-world/>
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Masdar\\_City](https://en.wikipedia.org/wiki/Masdar_City)

## ICT IN INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR ENERGY EFFICIENT BUILDINGS AND COMPLEXES

**R. Petrov, D. Karastoyanov**

**Abstract:** *The subject of the article is different approaches in innovative projects for creating of energy efficient homes, buildings, building complexes and smart cities, combining the use of ICT, RES, waste recycling and integrated transport systems, building automation and energy storage.*

### Данни за авторите:

Росен Петров, докторант, ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 2, 1113 София, България, e-mail: [rosen\\_p@yahoo.com](mailto:rosen_p@yahoo.com)

Димитър Карастоянов, професор д-р инж. ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 2, 1113 София, България, e-mail: [dkarast@iinf.bas.bg](mailto:dkarast@iinf.bas.bg)



**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 8**

**“ИНОВАЦИИ И ИНЖЕНЕРИНГ НА  
АВТОМАТИЗИРАНОТО ДИСКРЕТНО  
ПРОИЗВОДСТВО”**



# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ПАНЕЛЕЙ С ЛИНЕЙНЫМ ГИБКИМ ЭЛЕМЕНТОМ НАГРЕВА

И. Врублевский, К. Чернякова, В. Видеков

**Резюме:** Настоящая статья посвящается изучению тепловых характеристик алюминиевых нагревательных панелей с резистивным элементом из углеродной нити. Показано, что использование дополнительного слоя стеклосетки в конструкции нагревательной панели не приводило к ухудшению тепловых свойств диэлектрического слоя. Результаты исследований подтвердили, что нагревательные элементы из углеродной нити являются эффективным способом нагрева.

**Ключевые слова:** алюминиевая нагревательная панель, углеродная нить, стеклосетка, тепловые характеристики, силиконовый компаунд.

## 1. Введение

Одним из перспективных видов электрического теплового элемента являются плоские электронагреватели. Конструкция таких нагревателей обеспечивает возможность получения равномерного теплового потока по всей поверхности нагревателя при сохранении необходимых эксплуатационных характеристик. Электронагреватели такого вида позволяют расширить области применения электронагрева, и открывают пути для создания на их основе новых видов экономичных тепловых приборов.

Наиболее эффективными среди плоских нагревателей являются металлические нагревательные элементы [1,2]. В [3] описана конструкция плоского нагревательного элемента на основании из анодированного алюминия. Однако в случае алюминиевых нагревательных панелей большой площади имеется большая вероятность образования дефектов на поверхности анодного оксида алюминия, которые могут приводить к неконтролируемому снижению сопротивления изоляции нагревателя. Следовательно, в этом случае только одного слоя анодного оксида алюминия уже не достаточно для образования надежного изоляционного слоя и требуются новые подходы, для которых состав сплава алюминия, используемого для анодирования алюминия, уже не будет являться критичным параметром.

Для повышения надежности изоляции в настоящей работе предложена конструкция алюминиевых панелей с использованием помимо анодного оксида алюминия дополнительного изолирующего слоя стеклосетки, герметизированного силиконовым компаундом. В работе приведены результаты тепловых исследований алюминиевых нагревательных панелей с такой комбинированной изоляцией.

## 2. Экспериментальная часть

Плоская нагревательная панель из алюминия (А99, содержание алюминия 99,99%) имела размеры 100x120 mm. Толщина алюминия составила 1,5 mm. На экспериментальных образцах слой пористого анодного оксида алюминия, сформированный методом анодирования, имел толщину около 5  $\mu\text{m}$ . Затем на подготовленную поверхность образца накладывалась стеклянная сетка толщиной 80  $\mu\text{m}$ . На поверхности стеклянной сетки фиксировали нитевидный нагреватель из углеродной нити [3]. После этого сверху под давлением на поверхность с нагревателем наносился слой силиконового компаунда. При такой обработке герметик полностью заполнял все пустоты в стеклянной сетке и надежно

фиксировал нагревательный элемент к поверхности стеклянной сетки. На заключительной стадии проводилась полимиризация силиконового компаунда.

Панель электрического нагревателя с нитью из углеродного волокна имела электрическое сопротивление 40  $\Omega$ . Измерение сопротивления диэлектрической изоляции проводилось с помощью мегаомметра Ф4101. Для получения термограмм поверхности нагревательной панели использовали тепловизионную камеру MobIR M4.

### 3. Результаты и их обсуждение

Для нагревательных панелей важной характеристикой является способность равномерного нагрева по всей площади нагревателя. В работе представлены результаты исследований таких параметров нагревателя при электрической мощности 30 W.

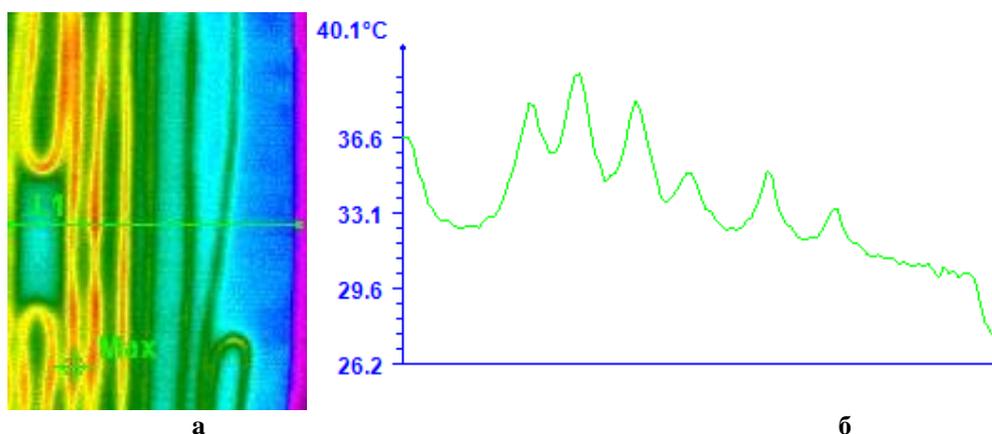


Рис. 1 Термограмма поверхности нагревательной панели из алюминия с резистивным элементом из углеродной нити (а) и профиль распределения температуры (б) вдоль заданной линии для временного интервала нагрева 60 s

На рисунке 1 показана термограмма поверхности нагревательной панели (Рис.1 а) и профиль распределения температуры вдоль заданной линии, пересекающей различные секции нагревателя из углеродной нити (Рис.1 б) для временного интервала нагрева 60 s.

Как видно из профиля распределения температуры, температура углеродной нити приблизительно на 7 $^{\circ}$ C выше температуры поверхности алюминия. В то же самое время поверхность алюминия имеет равномерное распределение температуры со средней температурой 32,5  $^{\circ}$ C (Рис.1 б).

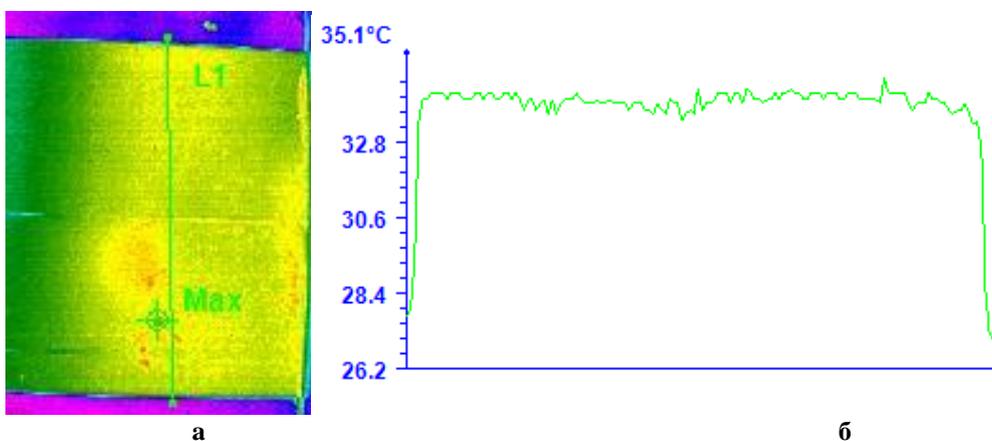


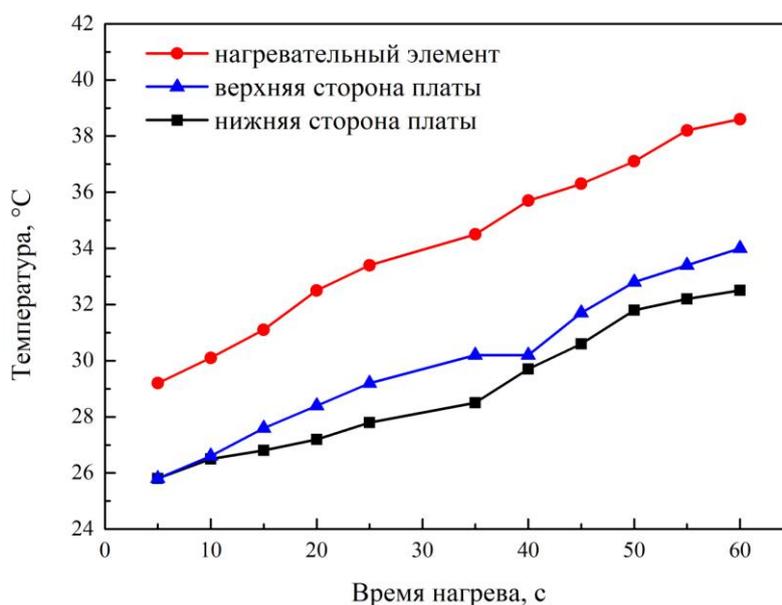
Рис. 2 Термограмма теплоотдающей (обратной) поверхности нагревательной панели из алюминия и резистивным элементом из углеродной нити (а) и профиль распределения температуры (б) вдоль заданной линии для временного интервала нагрева 60 s

Термограмма теплоотводящей поверхности нагревательной панели (рис.2 а) и профиль распределения температуры вдоль заданной линии, пересекающей меньшую сторону (Рис.3 б), на 60 с нагрева показана на рисунке 2.

Теплоотдающая сторона нагревательной панели, как видно из термограммы поверхности нагревателя (Рис.2 а) и профиля распределения температуры вдоль заданной линии (Рис.2 б), имеет равномерное распределение температуры по поверхности со средней температурой 33 °С.

Таким образом, при приложении электрической мощности 30 W плоская нагревательная панель на 60 с нагрева выходит на температуру 33 °С для теплоотдающей поверхности.

Зависимости изменения температуры от времени нагрева на поверхности нагревательной панели с резистивным элементом и на ее обратной стороне (теплоотдающей) показаны на рисунке 3.



**Рис. 3** Изменение температуры на лицевой и обратной (теплоотдающей) стороне электронагревательной панели в различные интервалы времени нагрева (мощность нагревателя 30 W)

Результаты исследований показали, что температура на поверхности нагревательной панели как с резистивным элементом, так и на ее обратной стороне имели близкие значения на всех стадиях нагрева. Это свидетельствует о высокой теплопроводности алюминиевой нагревательной панели, благодаря чему обеспечивается равномерный профиль распределения температуры с двух сторон нагревателя.

#### **4. Выводы:**

- Применение дополнительного изолирующего слоя из стеклоткани с герметизацией силиконовым компаундом совместно с тонким слоем анодного оксида алюминия позволило значительно улучшить электроизоляционные свойства алюминиевой нагревательной панели.
- Результаты испытаний показали, что предложенные решения с использованием дополнительного слоя стеклоткани в конструкции нагревательной панели не привели к ухудшению тепловых свойств диэлектрического слоя. Перегрев углеродной нити не превышал 7 °С при электрической мощности 30 W.



- Использование линейного нагревательного элемента из углеродной нити является эффективным способом нагрева алюминиевых нагревательных панелей, позволяющим обеспечить равномерный профиль распределения температуры по поверхности на всех этапах нагрева.

### Литература:

1. Врублевский, И. и др. Сравнительный анализ работы плоского нагревательного элемента на основании из анодированного алюминия. XXIV МНТК “АДП 2015”, Созопол, 2015, стр.422–428.
2. Vrublevsky, I., et al. Improvement of the thermal characteristics of the electric heater in the architecture with aluminum, nanoporous alumina and resistive component of carbon fiber. *Nanoscience & Nanotechnology*, 16, № 1, 2016.
3. Чернякова, К. и др. Характеристики и тепловые свойства тонких плоских алюминиевых нагревателей с углеродной нитью в качестве резистивного элемента. XXVII МНТК “АДП 2018”, Созопол, 2018, стр.175–180.

## ELECTRICAL AND THERMAL CHARACTERISTICS OF ALUMINUM PANELS WITH LINEAR FLEXIBLE HEATING ELEMENT

I. Vrublevsky, K. Chernyakova, V. Videkov

**Abstract:** *This paper is devoted to the study of the thermal characteristics of aluminum heating panels with a carbon filament as a resistive element. It is shown that the use of an additional layer of fiberglass in the design of the heating panel did not lead to a deterioration of the thermal properties of the dielectric layer. Results of investigations have confirmed that carbon fiber heating elements are an effective way of heating.*

### Данни за авторите:

Игорь А. Врублевский, доцент д-р инж., воедщ наущен сотрудиик НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: vrublevsky@bsuir.edu.by.

Катерина В. Чернякова, д-р фмн., воедщ наущен сотрудиик НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: katerinach\_85@mail.ru.

Валентин Христов Видеков, проф. д-р инж., преподавателъ Технического университета – Софии. Область интересов: гибридные схемы, поверхностный монтаж, МЭМС, нанотехнологии, e-mail : videkov@tu-sofia.bg.

# СВЕТОВЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ НА АЛЮМИНИИ С НАНОПОРИСТЫМ ОКСИДОМ АЛЮМИНИЯ

К. Чернякова, И. Врублевский, В. Видеков, Б. Цанева

**Резюме:** В настоящей статье рассматриваются особенности теплового рассеивания в платах из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Показано, что конструкция светодиодного модуля на алюминии с нанопористым оксидом алюминия позволила существенно повысить эффективность отвода тепла и снизить рабочую температуру перехода кристалла светодиода. В результате светодиоды могли работать в режимах при более высоких токах, что обеспечило им более высокий квантовый выход излучения.

**Ключевые слова:** светодиодная плата, алюминий, нанопористый оксид алюминия, тепловые характеристики, освещенность.

## 1. Введение

Светодиодное освещение – одно из быстроразвивающихся современных технологий искусственного освещения, основанное на применении светодиодов в качестве источников света. Принцип действия таких полупроводниковых приборов основан на преобразовании энергии электронов и дырок, связанных с протеканием электрического тока, в световую энергию. Светодиодные источники излучения уже занимают существенную долю рынка освещения. Развитие этого направления напрямую связано с техническим и технологическим совершенствованием элементной базы светодиодной техники и развитием технологий изготовления светодиодных устройств.

Следует отметить, что вопросы теплового управления или отвода тепла в светодиодах и влияние типа и материала платы на световую эффективность являются актуальными задачами, на решение которых, в настоящее время, направлены многочисленные усилия разработчиков в светодиодной технике [1].

Целью данной статьи было изучение тепловых и световых характеристик светодиодных плат на алюминии с нанопористым оксидом алюминия.

## 2. Экспериментальная часть

Печатные платы на основе алюминия с нанопористым оксидом алюминия изготавливались по технологии подробно описанной в [2]. В качестве светодиодов при изготовлении светодиодного модуля применялись SMD2835, мощностью 0,2 W.

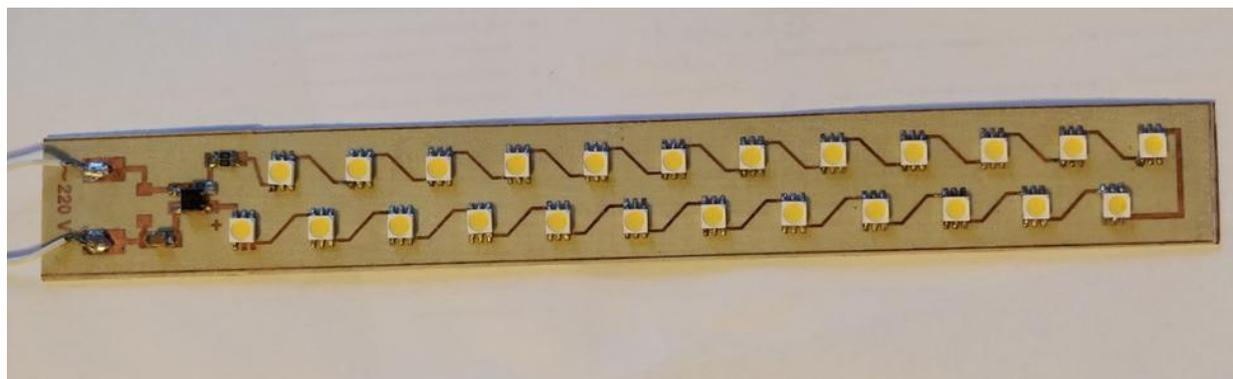


Рис. 1 Светодиодный модуль на плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия мощностью 5 W

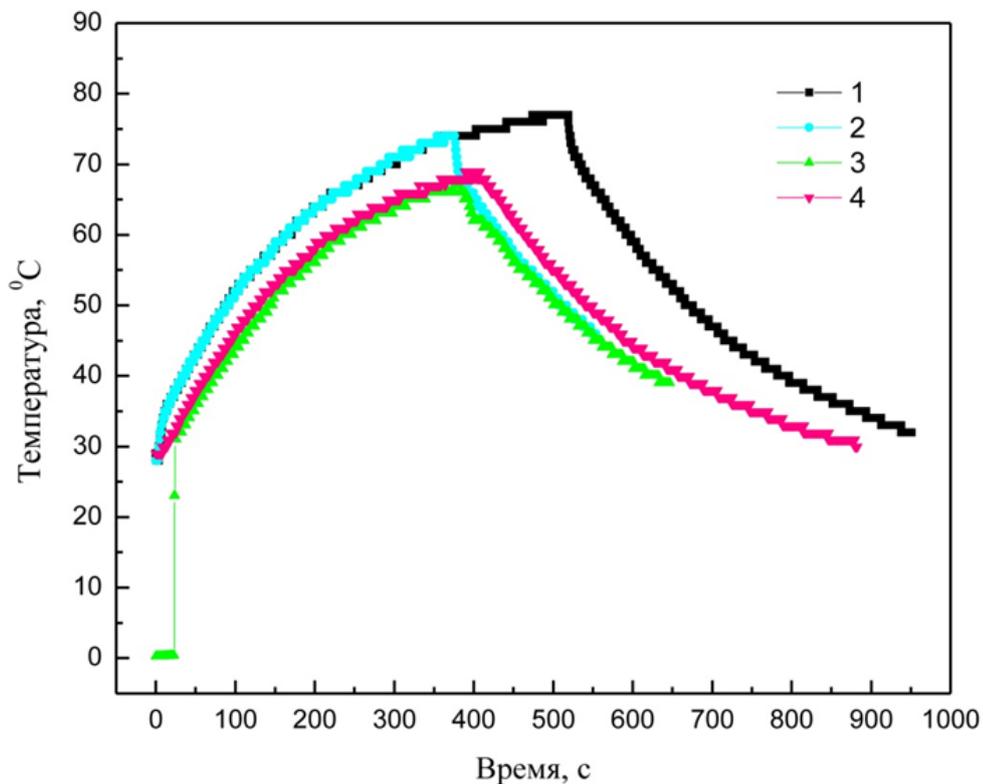
На рисунке 1 представлен светодиодный модуль. На плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия размещено 24 светодиода (SMD2835, мощность 0,2 W). Светодиодный модуль был рассчитан на питание от сети 220 V.

Для измерения температуры при тепловых исследованиях использовалась термопара. Измерение освещенности исследуемых светодиодных плат проводили с использованием люксметра Ю-116. При тепловых измерениях в качестве теплового источника был выбран диод MBRB16H60, так как в рабочих режимах он обладал высоким уровнем тепловыделения. В качестве источника тока использовался источник тока В5-78/1.

### 3. Результаты и их обсуждение

Влияние тока, протекающего через диод MBRB16H60, на температуру кристалла и распределение температур на поверхности платы на основе алюминия с нанопористым анодным оксидом алюминия показано на рисунке 1. В эксперименте с платой из алюминия напряжение питания для диода (мощность 3,48 W) подавали в течение 376 s. За это время кристалл нагревался до 74 °С (рис. 2). Металлический теплоотвод корпуса диода был нагрет до 74 °С. Сама плата имела температуру в среднем около 69 °С, а вывод диода 66 °С. После отключения питания от платы, кристалл продолжал нагреваться еще 190 s и его температура увеличилась на 3 °С. Такое увеличение температуры было объяснено плохим тепловым контактом между платой и кристаллом.

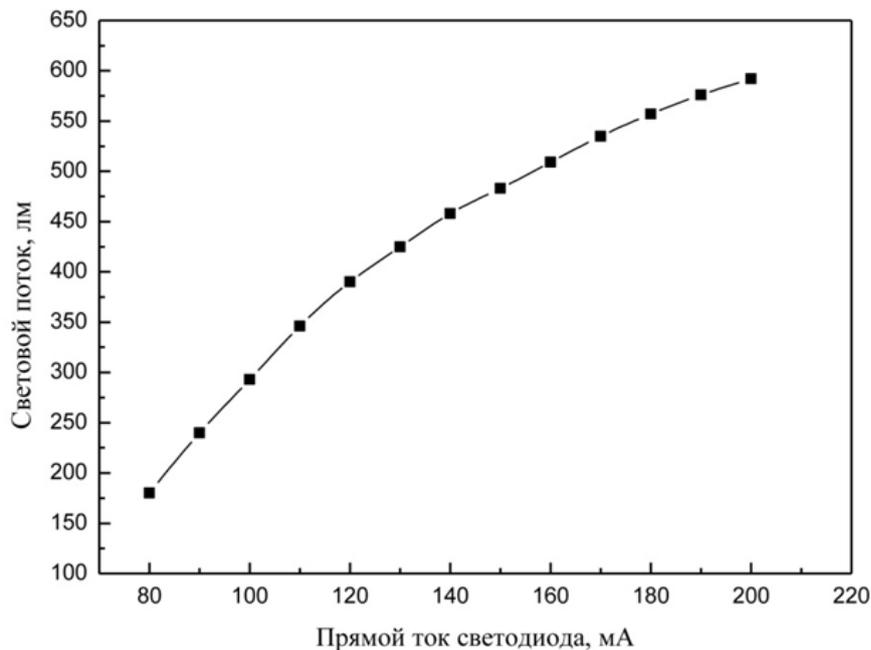
Как видно из рисунка 2, на плате из алюминия наблюдается равномерный нагрев всех элементов конструкции. Следовательно, использование плат на основе алюминия при изготовлении светодиодных модулей эффективно для достижения целей снижения теплового сопротивления в звене кристалл – подложка.



**Рис. 2** Изменение температуры в различных контрольных точках на алюминиевой плате с диодом при подаче импульса тока

1 – сверху на корпусе диода, 2 – на внутреннем радиаторе диода, 3 – на контактной площадке дорожки металлизации, 4 – на плате на удалении 1 см от диода

На рисунке 3 показана экспериментальная зависимость освещенности от тока для светодиодного модуля на алюминии с нанопористым оксидом алюминия.



**Рис. 3** Зависимости светового потока от прямого тока для светодиодного модуля на алюминиевом основании с нанопористым оксидом алюминия (24 светодиода, мощность светодиода 0,2 W)

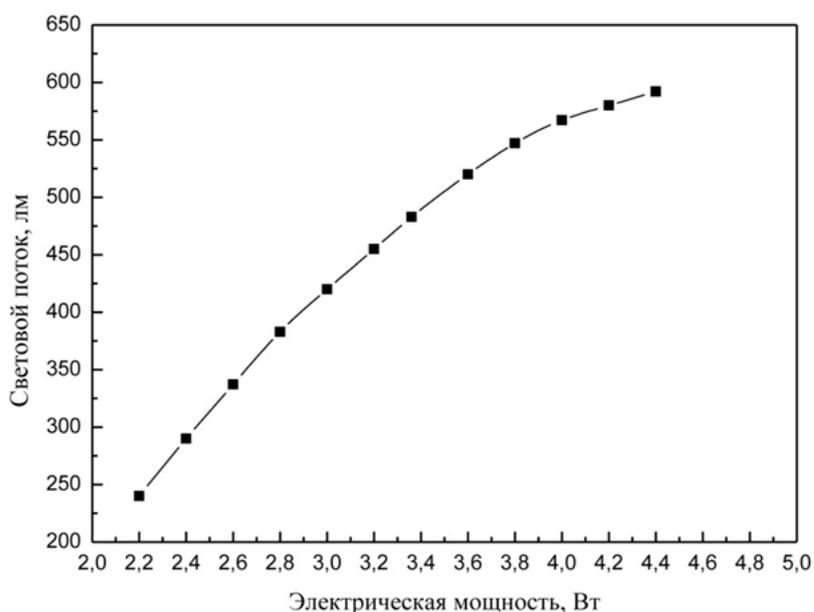
Измерение фотометрических характеристик показало, что матрица из 24 светодиодов мощностью 4,5 W (мощность одного светодиода 0,2 W), размещенных на алюминиевом основании с нанопористым анодным оксидом, позволила получить на расстоянии 60 см освещенность на уровне 590 lm. Проведенные исследования позволили выбрать ток 200 mA в качестве номинального рабочего тока такой матрицы.

На рисунке 4 показана экспериментальная зависимость освещенности от электрической мощности, характеризующая эффективность светового потока исследуемого модуля. Такая конструкция светодиодного модуля позволила существенно повысить эффективность отвода теплового потока за счет снижения рабочей температуры перехода кристалла светодиода. В результате светодиоды могли работать в режимах при более высоких токах, что обеспечило им более высокий квантовый выход.

В таблице 1 представлены основные электрические и светотехнические характеристики модуля на алюминии с нанопористым оксидом алюминия.

**Таблица 1** Электрические и светотехнические характеристики светодиодного модуля на 24 светодиода

Название параметра		Характеристика	
1	Номинальный (максимальный) ток модуля, mA	150	
2	Мощность электрическая, W	при $I = 150$ mA	3,36
		при $I = 200$ mA	4,40
3	Световой поток (5000 K, $T_a = 25$ °C), lm	при $I = 150$ mA	480
		при $I = 200$ mA	592
4	Эффективность модуля (5000 K, $T_a = 25$ °C), lm/W	при $I = 150$ mA	143
		при $I = 200$ mA	134
5	Угол раскрытия светового потока:	120°	
6	Материал платы:	Алюминий	
7	Количество установленных светодиодов:	24	



**Рис. 4** Зависимости светового потока от электрической мощности для светодиодного модуля на алюминиевом основании с нанопористым оксидом алюминия (24 светодиода, мощность светодиода 0,2 W)

#### **Результаты:**

Тепловые измерения показали, что на плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия наблюдался равномерный нагрев всех элементов конструкции. Измерение фотометрических характеристик показало, что матрица из 24 светодиодов мощностью 4,5 W (мощность одного светодиода 0,2 W), размещенных на алюминиевом основании с нанопористым анодным оксидом, позволила получить на расстоянии 60 см освещенность на уровне 590 lm.

#### **4. Выводы:**

- Платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия имеют высокую теплопроводность, что обеспечивает равномерный нагрев всех элементов конструкции без возникновения скачков температуры.
- Конструкция светодиодного модуля на алюминии с нанопористым оксидом алюминия позволила существенно повысить эффективность отвода тепла и снизить рабочую температуру перехода кристалла светодиода. В результате светодиоды могли работать в режимах при более высоких токах, что обеспечило им более высокий квантовый выход.

#### **Литература:**

1. Врублевский, И., Чернякова, Е., Видеков, В., Тучковский, А. Сравнительный анализ работы плоского нагревательного элемента на основании из анодированного алюминия. Сб. доклады «XXIV Международна научно-техническа конференция, АДП 2015», Созопол – юни 2014, стр. 422-438.
2. Чернякова, Е., Врублевский, И., Видеков, В., Тучковский, А. Применение наноструктурированного анодного оксида алюминия при изготовлении теплонагруженных плат для силовых модулей. Сб. доклады «XXV Международна научно-техническа конференция, АДП 2016», Созопол – юни 2014, стр. 257-263.



LIGHT AND HEAT CHARACTERISTICS OF LED MODULES ON ALUMINUM WITH NANOPOROUS ALUMINA

K. Chernyakova, I. Vrublevsky, V. Videkov, B. Tsaneva

**Abstract:** *This paper presents the features of thermal scattering in boards made of aluminum with nanoporous alumina. It was shown that the design of the LED module on aluminum with nanoporous aluminum oxide significantly allowed improving the efficiency of heat removal and reducing the operating temperature of the junction of the LED die. As a result, the LEDs could operate in modes at higher currents, which provided them with a higher quantum yield of radiation.*

**Данни за авторите:**

Катерина В. Чернякова, д-р фмн., водещ научен сотрудник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: [katerinach\\_85@mail.ru](mailto:katerinach_85@mail.ru).

Игорь А. Врублевский, доцент д-р инж., водещ научен сотрудник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: [vrublevsky@bsuir.edu.by](mailto:vrublevsky@bsuir.edu.by).

Валентин Христов Видеков, проф. д-р инж., преподавател Технического университета – София. Область интересов: гибридные схемы, поверхностный монтаж, МЭМС, нанотехнологии, e-mail : [videkov@tu-sofia.bg](mailto:videkov@tu-sofia.bg).

Боряна Рангелова Цанева, доц. д-р инж., катедра “Химия”, ФЕТТ, Технически Университет–София. Область интересов: анодирование, электрохимическое поведение пассивных металлических систем, электрохимическое и химическое заполнение нанопорезных матриц с металлом, e-mail: [borianatz@tu-sofia.bg](mailto:borianatz@tu-sofia.bg)



## SOME METHODS FOR INTEGRATION BETWEEN E-LEARNING AND CAD/CAM/CAE SYSTEMS

D. Minkovska, L. Stoyanova

**Abstract:** *In the paper a brief overview of the e-learning forms is presented – knowledge databases, online support, asynchronous education and synchronous education. The main principles of CAD/CAE/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Engineering/Computer Aided Manufacturing) are reviewed. In the last part of this paper the methods of integration between e-learning and the CAD/CAM/CAE systems are explained.*

**Keywords:** E-learning, CAD/CAM/CAE systems, Higher education.

### 1. Introduction

In the modern world, the dynamic changes in computer technology and the broad capabilities of software tools for designing and manufacturing engineering products and machines by using CAD / CAM / CAE systems for everyday tasks are not just demonstrative. It is necessary in the teaching process to change the way in which courses related to basic design principles are taught so that the learners acquire knowledge about them with appropriate platforms and e-learning methods. With this knowledge of the basics, the student can quickly learn a specific system in a particular environment and use it for maximum ability [1].

The goal of this paper is to present a brief overview of the nature of e-learning environments as well as some methods of education used in traditional e-learning environments. After clarifying of the basic principles of the CAD/CAM/CAE systems, the different methods of integration between e-learning and the CAD/CAM/CAE systems are described.

### 2. A brief overview of the E-learning

With the increasing implementation of computer-based technology (CBT) in the learning process, the terms E-learning, Distance Learning, Online Learning and Web-based Learning are used interchangeably. Inherently, E-learning is defined as: education and learning activities involving the use of computers, networks and multimedia technologies to improve the quality of training process through organized access to resources and services [2].

E-learning allows learning anywhere, anytime, if a computer is properly configured. It can be CD-ROM-based, Network-based, INTRANET or INTERNET-based. Typically, it includes text, video, audio, animation, and virtual environments. The quality of e-learning is in its content and its supply. E-learning can suffer from the same disadvantages as traditional classroom training such as boring slides, uniform speech, and little interaction [3].

E-Learning has four main forms of training [4]:

- Knowledge databases – from the actual training point of view, these databases are the most important form of E-learning. Numerous sites offer knowledge databases with indexed explanations and guides for performing specific tasks. They are usually interactive, and by entering a keyword or phrase you can search the database or make a selection from an alphabetical list.
- Online Support –in this form are included "chat rooms", online boards - ads, forums, e-mail, and instant notification of "live". It is more interactive than knowledge databases and offers opportunities for more specific questions and answers as well as immediate answers.
- Asynchronous education – this is E-learning in the most traditional sense of the word. It includes self-learning using CD-ROM-based, Network-based, INTRANET or



INTERNET-based training. It can include access to the trainer (teacher) through online bulletin boards, online newsgroups, or email. Or it could be totally self-teaching - the teaching material taught by a lecturer in a traditional classroom.

- Synchronous education – this form is realized in real time with a teaching assistant. Every trainee enters in an established time and can communicate with the teacher or any other trainee. This lasts for a certain time - from a single session to a few weeks, months or even years. This type of training is usually conducted through Internet Web sites, audio or video conferencing, Internet telephony or traditional live teaching of students in a classroom [5].

### **3. The main principles of the CAD/CAM/CAE systems**

The systems for Automated Design, Production and Engineering Systems, called CAD/CAE/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Engineering/ Computer Aided Manufacturing) are the best forms of organization of automated design [6].

- CAD - Computer Aided Design – a set of technical and software tools (hardware and software) serving to optimally solve all tasks in product design. With CAD systems, the task of describing the geometry of parts, nodes and articles as a whole (drawings or 3D models) is solved, but in recent years their capabilities have expanded and cover other non-geometric functions necessary for their integration with other subsystems SAR, CAM, etc.). The aim is to avoid "manual" data reformatting At the design stage all the assembly activities of some of its component parts (details) and the design of the details themselves are carried out The purpose is to obtain new or improve existing products The results of these activities are geometrical, digital and technological data used to describe the designed products (drawings, calculation results, materials, etc.), production data (specifications), experimental results (eg protocols i.e. measurements), and additional text information (eg. technical descriptions, instructions, servicing, maintenance, installation and repair).
- CAE - Computer Aided Engineering – unlike the CAD concept that includes geometrically oriented tasks, the CAE includes all the calculation tasks that need to be solved during the construction stage (for example - strength, deformation, dimensions, etc.) and all optimization tasks of this process. There is therefore a close link between CAD and CAE, as the CAD generated system can be considered the basis of the CAE system and vice versa.
- CAM - Computer Aided Manufacturing - this activity is connected to all tasks relating to the management and control of the production and installation of the products. The data is processed, for example data on direct control of CNC machines, robots, transport and storage systems, etc. At this stage, the problems of management of the production as a whole, the movement of materials, the instrumental economy, the warehouse economy, etc. [7].

### **4. Methods and approaches for integration of the e-learning and CAD/CAM/CAE systems**

One of the best approaches to successful CAD / CAM / CAE training is combining classical pedagogical approaches with web-based learning that provides student interactivity, the ability to exchange views and materials in an e-learning environment. According to the main concepts of e-learning, teaching and learning are interactive and "live" [8].

One of the e-learning approaches for CAD/CAM/CAE systems is the use of the Moodle e-learning environment. Moodle Environment is a Learning Management System (LMS) specifically designed to help teachers develop online courses. The software is provided with tools to facilitate collaboration and co-development and development of content across disciplines [9]. In the CAD /



CAM / CAE training process, students can initially offer the theoretical bases of engineering design, and then provide them with a specific 3D model analysis through its geometric synthesis. Every trainee can track progress through test controls, which is extremely easy to develop in Moodle environment. After synchronizing the data from the local and global Moodle distance learning platform, complete information is provided on the progress of each student on the topic [10].

There are also other specifically developed e-learning environments specified to support databases for working with graphical software packages. The content of these courses is primarily presented using web pages written on HTML. These systems provide students with a semantic way of studying production technology through a graphical user interface. Students study the general shape of the part, and define geometric information of the workpiece, designing it as 2D or 3D graphics [11].

And the third method is combination between the first two methods (fig. 1). The e-learning environments specified to support databases for working with graphical software packages are being used as the traditional learning method for delivering lectures and the learning material and the e-learning systems like the Moodle e-learning environment are used for the assessment of students' knowledge in the beginning, in the middle of the course and for final control.

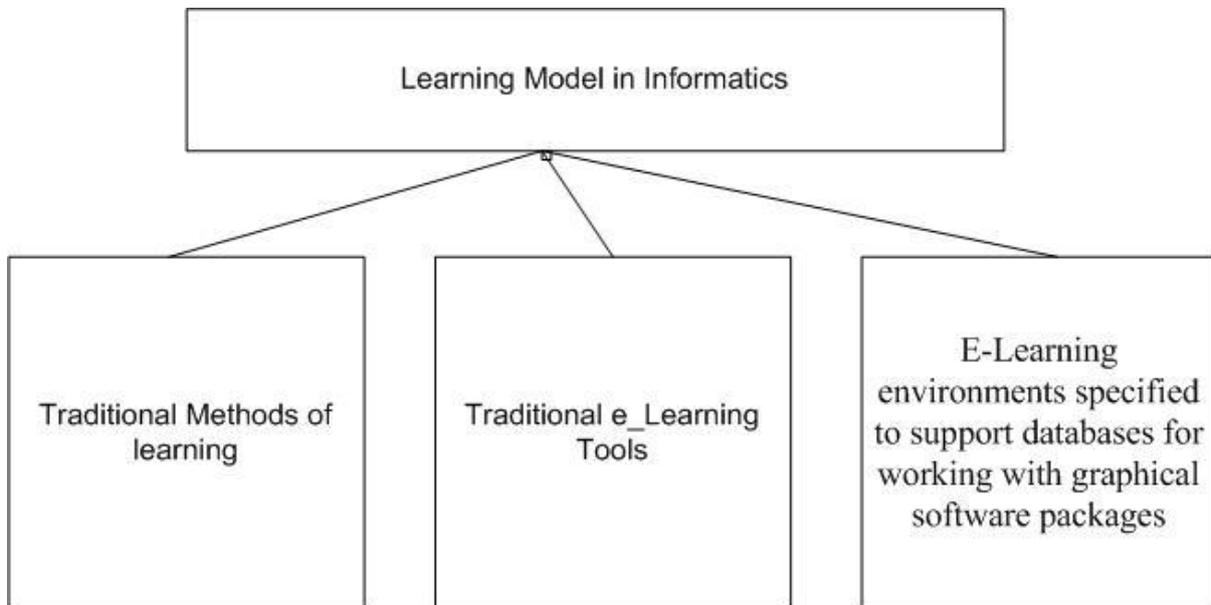


Fig. 1 Learning model applied in the Informatics course

This method is widely used in the universities because all the advantages of each method are used in the field where they are the strongest and the being used.

One of the largest companies in Bulgaria offering free online training for students in the field of machine building is SpaceCAD [12].

SpaceCAD offers an online portal for remote free CAD / CAM training. Students can learn themselves using SIEMENS NX - a tool for developing and manufacturing high added value products, and through Solid Edge ST - a highly productive 3D CAD system for machine building using synchronous technology.

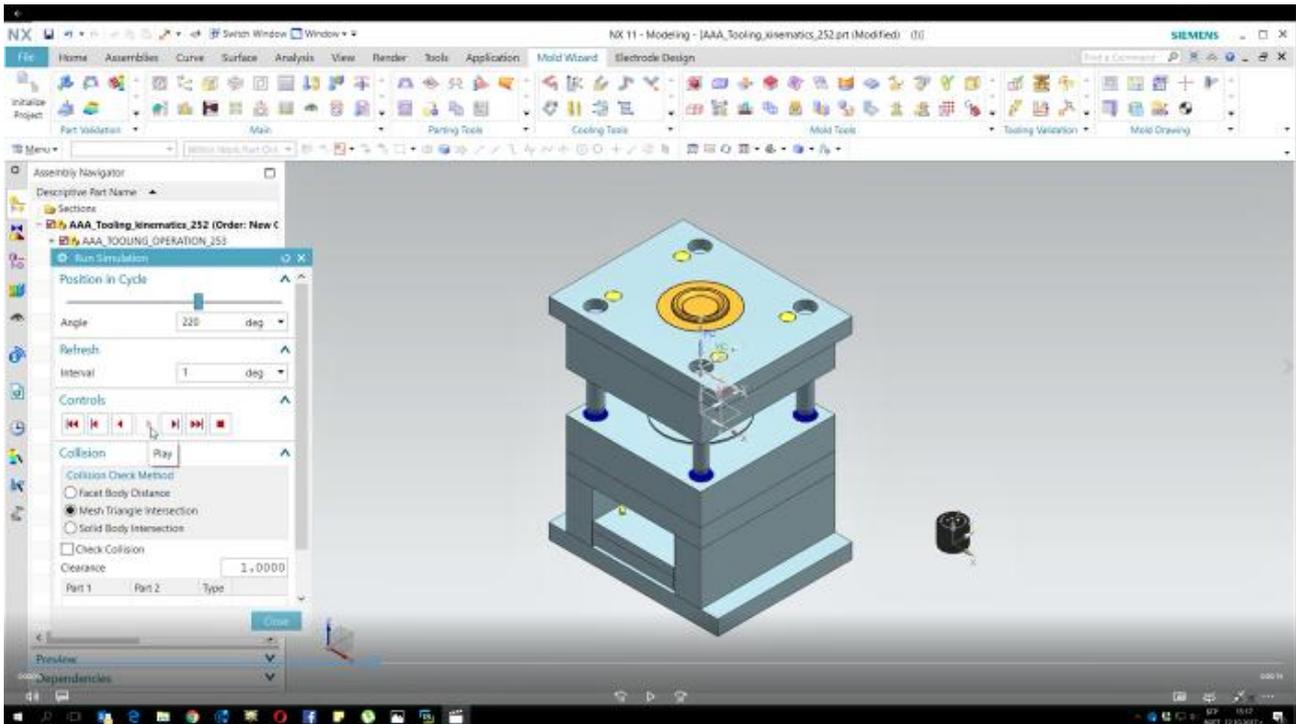


Fig. 2 Learning Management System of the SpaceCAD [12]

#### 4. Conclusion

In this paper we have discussed the benefits of the some methods for integration between e-learning environments and CAD/CAM/CAE systems , based on adaptation and application.

The use of integration methods through e-learning environments is a quick and reliable approach to objectively training and increasing of the students' knowledge. The benefits of training in e-learning environments are that students are given the opportunity to authenticate modeling tasks through settings that are hidden and adapted to the user. Students are also able to carry out precision design of elements in realistic scenarios.

So in a "modern" educational paradigm, student learning methods should focus on the use of specialized learning environments in the e- learning environment.

#### References:

1. Kunwoo Lee, Principles of CAD/CAM/CAE Systems, Addison Wesley Longman, Inc., USA, 1999, ISBN 0-201-38036-6
2. Porter L. R. – Developing an Online Curriculum: Technologies and Techniques, published by Information Science Publishing of Idea Group Inc., ERAU, USA, 2004
3. Conrad R.M., Donaldson A. J. - Engaging the Online learner: Activities and Resources for Creative Instruction, published by Jossey – Bass, CA, USA, 2004
4. Tsai S., Machado P. - E-learning, Online Learning, Web-based Learning, or Distance Learning:Unveiling the Ambiguity in Current Terminology, published by InkiTiki Corporation, Island of Kauai, Hawaii
5. Daniela Minkovska - Creation, Development and Analysis of Models for E-Education – Technologies and Techniques, Proceedings, Anniversary “Sixty Years Technical University – Sofia”, Vol .55, 2005; pp:43-50
6. [http://valtecltd.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=101:cad-cam-cae-camcam-&catid=44:2009-03-28-14-19-33&Itemid=66](http://valtecltd.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=101:cad-cam-cae-camcam-&catid=44:2009-03-28-14-19-33&Itemid=66)



7. Д. Минковска – Методи и подходи за интегриране на технология виртуалната реалност с Cad/Cam системи, Proceedings, XXII МНТК „АДП”, Созопол, 2013, pp: 582-587, ISSN 1310-3946
8. Alexandra Raicu, Emil Oanta, Modern Education Facilities for CAD/CAM/CAE Training of the Future Maritime Engineers, Advanced Materials Research (Volume 837), ISSN: 1662-8985, 2014, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.837.769>
9. <https://www.online-learning.bg/moodle>
10. Z. P. Rastovic, R. B. Stulic, The Use of Moodle Distance Learning System in CAD Education - Three Year Experiences, icee, 2008
11. Reggie Kwan, etc., Enhancing Learning Through Technology: Research on Emerging Technologies and Pedagogies, World Scientific Publishing Co., 2008, ISBN: 13 978-981-279-944-9
12. <http://www.spacecad.bg/>

### НЯКОИ МЕТОДИ ЗА ИНТЕГРАЦИЯ МЕЖДУ Е-ОБУЧЕНИЕ И CAD/CAM/CAE СИСТЕМИТЕ

Д. Минковска, Л. Стоянова

*Резюме:* В статията е представено накратко състоянието на формите за електронно обучение – бази данни от знания, online поддръжка, асинхронно обучение и синхронно обучение. Основните принципи на CAD/CAE/CAM (компютърно подпомогнато проектиране/компютърно подпомогната инженерна дейност/ компютърно подпомогнато производство) са разгледани. Представени са методите за интеграция между е-обучение и CAD/CAM/CAE системите.

#### Author's data:

Daniela Minkovska Assoc. Prof. PhD, Faculty of Computer Systems and Technologies, Department of Programming and Computer Technologies, Technical University of Sofia, Rep. of Bulgaria, Sofia bul. "Kl. Ohridski", tel.: 00359 (2) 965-3317, e-mail: [daniela@tu-sofia.bg](mailto:daniela@tu-sofia.bg)

Lyudmila Stoyanova Assoc. Prof. PhD, Faculty of Computer Systems and Technologies, Department of Programming and Computer Technologies, Technical University of Sofia, Rep. of Bulgaria, Sofia bul. "Kl. Ohridski", tel.: 00359 (2) 965-3453, e-mail: [lstoyanova@tu-sofia.bg](mailto:lstoyanova@tu-sofia.bg)



# ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ЕНЕРГИЙНО ЕФЕКТИВНИ ИНДУСТРИАЛНИ И БИЗНЕС СГРАДИ

Р. Петров

**Резюме:** Предмет на настоящата статия са различни подходи за намаляване на вредното въздействие на човека върху природата чрез създаване на умни градове, жилищни, бизнес и индустриални сгради, съчетаващи използването на възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), рециклиране на отпадните продукти и интегрирани системи за транспорт, сградна автоматизация и акумулиране на енергия.

**Ключови думи:** умен град, въздушни турбини, улавяне на дъждовна вода, слънчеви панели.

## 1. Въведение

Петролът, въглищата и природният газ са главните суровини в сферата на производството на множество продукти, вкл. топло- и електроенергия. Също така те са в основата на отделянето на огромни количества въглероден диоксид в атмосферата на планетата, което пък е причина за глобалното затопляне и задълбочаващите се климатични промени.

С развитие на глобалната търговия и повишаващия се стокообмен, енергийните нужди както в промишлеността, така и в бита непрекъснато нарастват. С течение на времето фокусът все повече се измества към това да бъдем по-щадящи и по-загрижени към околната среда, [1].

В световен мащаб енергийното потребление нараства повече от два пъти в рамките на последните четиридесет години, а запасите от нефт, въглища и природен газ намаляват с всяка изминала година.

Модерният човек все търси все по-усилено начини за оптимизиране на процесите в индустрията и личното пространство чрез внедряване на нови технологии, използване на ВЕИ, оползотворяване на отпадни продукти, интегрирани системи за транспорт, умни градове и ниско емисионни къщи и др.

## 2. Иновативни технологии за повишаване на енергийната ефективност

Енергийната ефективност е съвкупност от начини за намаляване на енергийното потребление. В зависимост от региона, който обитаваме бихме могли да се възползваме от природните дадености, за да бъдем по-ефикасни както в намаляване на вредните емисии, отделяни в атмосферата, така и по отношение на енергопотреблението, [2], [3], [4].

- В страни с по-голямо слънцегреене предимство имат соларните технологии, които произвеждат електроенергия или затоплят вода като междинен енергоносител. При тях се използват слънчеви панели, които биват два вида: фотоволтаични, които трансформират слънчевата енергия в електричество или панели, които загряват вода. При липса на околنو пространство се използват покриви или се вграждат във фасадите на сградите.
- Когато вятърът е постоянен и с достатъчна сила и скорост, той се превръща в сериозен заместител на фосилните горива. Изграждането на ветро- генераторни паркове е известно на човечеството отдавна, но в последно време намира приложение и в по-малък мащаб при изграждането на жилищни и бизнес сгради. Вятърните турбини се вграждат като част от конструкцията.



- Изолационни материали – чрез тях се намаляват топлинните загуби и хладилния товар на сградите. През лятото студът, а през зимата топлината се задържат в обема на отопляваните/охлаждани помещения. Най-често това са продукти на базата на пенополистирол или различен тип вата, вграждани във фасадната конструкция.
- Използване на дъждовната вода и събиране на росата – това е хитър начин за задоволяване на санитарните нужди на сграда, било то чрез събирането на дъждовната вода или улавянето на росата и отвеждането им до резервоари за последващата обработка и употреба.
- Стъкла със специална структура, които осигуряват по голямо количество светлина и спират вредните UV лъчи.
- Двойни фасади – служещи за буфер, те задържат топлината в студените месеци, използвайки изолационните свойства на въздуха и неговия нисък коефициент на топлопреминаване.
- Системи за сградна автоматизация – управлението на сградите чрез използването на софтуерни решения е в състояние да оптимизира разходите на една сграда до голяма степен. Необходимостта от осветление, нуждите за топла вода и отопление/охлаждане могат да бъдат прецизирани и оптимизирани в зависимост от броя обитатели, сезона или други фактори.

Комбинацията на различни от горе посочените методи е гаранция за повишаването на енергийната ефективност на сградите с още по-голяма степен.

### 3. Примери за енергийно ефективни индустриални и бизнес сгради

Пример за производствени и промишлен център може да бъде даден с Гига фабриката /Gigafactory/ на Тесла в Рино, Невада, в която се правят, както батерии, така и електромобили. Там е предвидено енергията за производство да се добива от слънцето – фиг. 1, [5].

Усилията в тази насока не се изчерпват само в областта на промишлените сгради. Големи фирми инвестират средства и усилия за постигане на високи резултати по въпроса с енергийната консумация. Централата на Apple в гр. Купертино, Калифорния е добър пример за това. Предназначена за 12000 служители, сградата се състои от четири етажа – фиг. 2.

Сградата е замислена и изпълнена с идеята да бъде енергийно независима, като храненето и с електрическа енергия се осигурява 75% от соларни панели, инсталирани на покрива, които са в състояние да произведат 17 мвт/ч., останалата енергия е продукт на т. нар. „Bloom energy Server“ или „Bloom box“, това е място, в което има инсталирани горивни клетки, които произвеждат електроенергия от отпадни продукти, [6].



Фиг. 1. Гига фабриката на Tesla Inc.



Фиг. 2. Централата на Apple Inc.

Известни са и други сгради за индустриални, бизнес и банкови цели с вградени иновативни технологии за енергийна ефективност, [7].

Кулите на Световния търговски център в Бахрейн – фиг. 3. Комплексът от сгради представлява архитектурно и технологично чудо, най-интересното обаче са трите въздушни турбини, монтирани между двете кули, които са в състояние да произведат повече от 100 MW електроенергия за година, необходима за нуждите на двете сгради.

Сградата на „Bank of America“ дело на “Кук и Фокс архитекти” наистина задава тон в проектирането на небостъргачи за следващите години на територията на САЩ. Това е един от първите построени до голяма степен от рециклирани или лесни за рециклиране в бъдеще материали – фиг. 4. Енергията за сградата се добива от горивни клетки, захранвани с природен газ, които работят в режим на когенерация, осигурявайки, както електроенергия, така и топлина. Усъвършенстваната система за събиране на дъждовна вода, както и специалните стъкла помагат на сградата да пести енергия.



**Фиг. 3. World Trade Center (Bahrain)**



**Фиг. 4. Bank of America Tower (New York)**

Чикаго 340“ - небостъргач, проектиран от Соломон Кордуел Бенц е първата сграда в средната част на Съединените Щати със сребърен сертификат LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) – фиг. 5. Акцент при проектирането са модерна система за улавянето на дъждовна вода и иновативни системи за топлинна изолация, умни решения в апартаментите и в общите части. В сградата дори има двуетажна зимна градина, разположена на 25-я етаж. Прозорците са проектирани, така че светлината да достига до всеки ъгъл.

Хърст Тауър“ е първият небостъргач, който получава златен LEED сертификат. Близко 80% от стоманата, вложена в строителството е рециклирана, както и голяма част от материалите, вложени в мебелировката, тавани и подове. Диамантната форма от стомана позволява строеж с по-малко вложени материали в сравнение с конвенционалната конструкция, също така се извлича предимство при проникването на светлината под различни ъгли – фиг. 6.

Кулата е отличен пример за използване на дъждовната вода, в сутерена на сградата е инсталиран огромен резервоар, в който се събира дъждовната вода, която обработва и се използва, както за поливане на растенията в сградата, така и за фонтана на входа на сградата.



**Фиг. 5. 340 on the Park (Chicago, US)**



**Фиг. 6. The Hearst Tower (New York, US)**

„Международен финансов център Дубай“, известен като „Кулата Фар“, проектиран от „Аткинс“ е 66-етажна сграда, в която са вградени 4000 соларни панела, които ще бъдат монтирани на южната фасада на сградата, както и три гигантски вятърни турбини, способни да произведат огромното количество от 225 kW за час – фиг. 7. Заложените мерки и решения се очаква да спестяват около 65% от енергийната консумация на сградата. Строителните предприемачи в Дубай твърдят, че това е само един от многото планирани за строеж сгради с ниски въглеродни емисии.

Проектирана от британското архитектурно бюро RMJM, кулата „Окта“ в Санкт Петербург, Русия ще бъде новата централа на руското дружество „Газпром“, ситуирана в близост до река Нева – фиг. 8. Тук ударението пада върху високата екологичност. Сградата е с двойна фасада, замислена с идеята да увеличи количеството на проникващата светлина, както и да помогне за усвояването и задържането на максимално количество топлина, качество, което е много ценно в условията на студените зимни месеци в Русия.



**Фиг. 7. The Lighthouse Tower (Dubai)**



**Фиг. 8. Okhta Tower (St. Petersburg)**



### 4. Заключение

Не само отделни административни, бизнес и многофамилни сгради акцентират върху екологията, цели градове са в процес на изграждане или проектиране.

Пасивни къщи, ниско емисионни сгради, умни и зелени градове – проекти от чертожната дъска вече са превърнати в реалност. От модерни тенденции те вече са жизнена необходимост. Подобни реализации са инвестиция за бъдещите поколения.

Нашата планета е в опасност благодарение на нашите действия от близкото минало и настояще, всяка стъпка в тази насока е малка част от големия пъзел, с който трябва да се справим, за да живеем в един по-чист, екологичен и модерен свят.

### Благодарности

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепа по линия на средства за редовни докторанти – 2019 г.

### Литература:

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_city](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city)
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_consumption](https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption)
3. V. Christova-Yosifova., Increasing Energy Efficiency in Existing Buildings., Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 68, 2017, ISSN 0204-9848, pp. 58-64
4. Yosifova V., Study of the energy efficiency for buildings and facilities. Insulation materials and detection of construction defects with thermal camera., International Conference Robotics, Automation and Mechatronics'15 RAM 2015, Sofia, Bulgaria, November 05, 2015., pp.37-43 , ISSN 1314-4634.
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Gigafactory\\_1](https://en.wikipedia.org/wiki/Gigafactory_1)
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Apple\\_Park](https://en.wikipedia.org/wiki/Apple_Park)
7. <http://www.energytrendsinsider.com/2009/05/12/ten-of-the-greenest-skyscrapers-in-the-world/>

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR ENERGY EFFICIENT INDUSTRIAL AND BUSINESS BUILDINGS

**R. Petrov**

***Abstract:** The subject of this article is different approaches to reducing the harmful human impact on the nature through the creation of smart cities, residential, business and industrial buildings combining the use of renewable energy sources (RES), waste recycling and integrated transport systems, building automation and energy storage.*

### Данни за автора:

Росен Петров, докторант, ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 2, 1113 София, България, e-mail: [rosen\\_p@yahoo.com](mailto:rosen_p@yahoo.com)



# ПРОУЧВАНЕ И ОЦЕНКА НА СЪЩЕСТВУВАЩИ И ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ЕНЕРГИЯ

В. Йосифова, М. Харалампиева

*Резюме:* В статията са изследвани видовете технологии за съхранение на енергия. Обобщени са техните характеристики, положителни и отрицателни страни и отношението им към енергийната ефективност.

**Ключови думи:** съхранение на енергия, енергийна ефективност, батерии

## 1. Въведение

Системите за съхранение на енергия се използват главно в индустрията с цел балансиране на производството и консумацията на енергия. Приложението им е свързано главно с отоплението и охлаждането на сгради, електрически превозно средства и преносими електронни устройства. Съществуват редица методи за съхранение на енергията, със своите предимства и недостатъци (Таблица 1), а самото им използване зависи от редица фактори като предназначение, ресурс, техническа възможност и др. От икономическа гледна точка и заради увеличаване изискванията за енергийна ефективност, тяхното търсене и изследователската дейност в усъвършенстването им непрекъснато се увеличават. Тяхното използване е изключително подходящо за райони, където се набляга на производството на енергия от възобновяеми източници като слънце и вятър, тъй като те създават възможност за оптимизиране на производството, като се осигурява постоянна доставка, макар периодичната производителност на източника, [1].

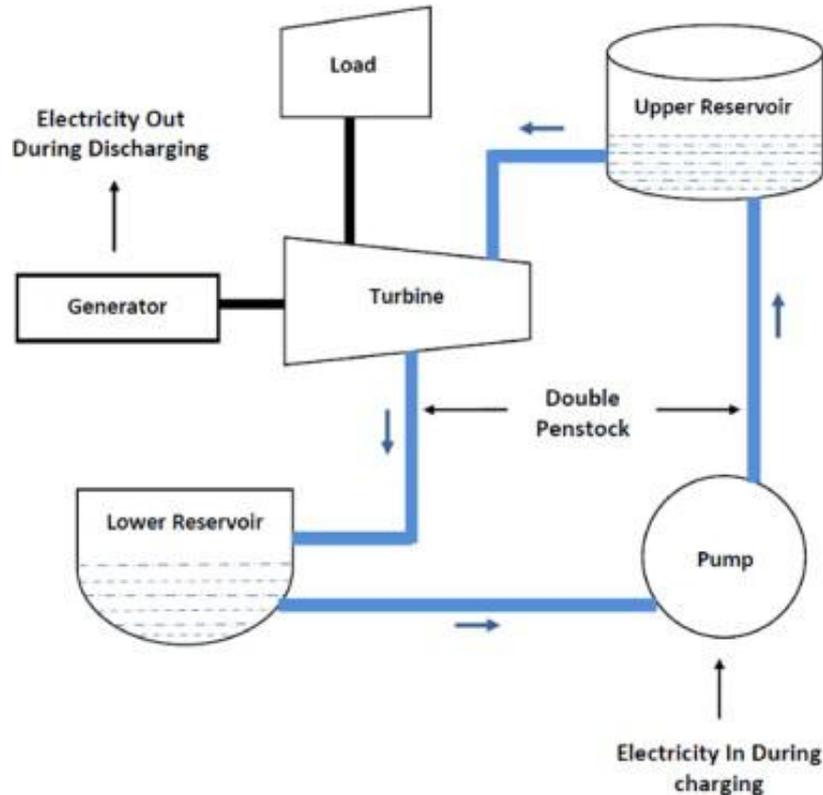
## 2. Видове системи за съхранение на енергия

Технологиите се разделят, в зависимост от типа на съхраняваната енергия:

**Механична** - Това е един от най-често използваните начини за съхранение на енергия (като потенциална или кинетична) в света. Този модел се използва най-вече за редуциране на колебанията в добива на енергия от възобновяемите източници на енергия и съответно да се увеличи сигурността в електрическата мрежа. Също така се използват и за съхранение на големи количества произведена енергия, [2]. Разделя се на три основни вида:

- Съхранение на енергията чрез ПАВЕЦ - Помпено-акумулиращите водоелектроцентрали са вид водоелектроцентрали, които използват енергията на водната маса за производство на електричество, разполагайки с възможност за изпомпване на вода от по-ниско разположен водоем (Фиг.1). Представлява система от резервоари, използващи потенциалната енергия на водата в зависимост от нуждата от отдавано електричество. При излишък на енергия, водата се изтласква в по-висок резервоар и енергията се съхранява в случай на по-високо потребление, [3].

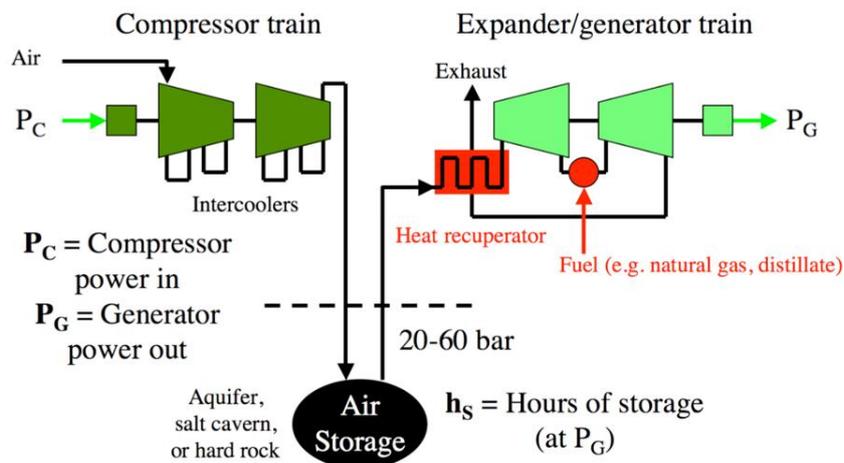
- Съхранение на енергия чрез компресиран въздух - Атмосферен въздух се компресира и съхранява в подземни помещения. Когато се увеличи нуждата за електричество, съхраняваният въздух се нагрява и разширява, отвеждайки се до генератор, който се използва за производство на електроенергия, [4].



Фиг. 1. Съхранение на енергията чрез ПАВЕЦ

- Съхранение на енергия чрез маховик - Маховика представлява стоманено механично устройство, което позволява съхранението на ротационна кинетичната енергия. Количеството на съхраняваната енергия е пропорционално на квадрата на скоростта на въртене на маховика. Съвременните маховикови системи са изработени от въглеродни влакна и използват магнитни лагери и вакуум, триенето и съпротивлението са сведени до минимум, позволявайки развиването на до 60000 оборота в минута, което значително увеличава капацитета и ефективността на акумулиране на енергия, [5].

## CAES system



Фиг. 2. Съхранение на енергия чрез компресиран въздух



Електрохимично - състои се от различни видове презареждаеми батерии, като най-често използваните са:

- **Литиево-йонни батерии** - Тези батерии използват движението на литиеви йони между негативни и положителни електроди по време на циклите на зареждане и разреждане, [6]. Прилагат се най-често в малки системи за съхранение на енергия като мобилни телефони, преносими компютри и устройства, играчки и други. Все повече намират приложение и в по-големи мащаби, например в автомобилната индустрия при електромобилите, за домашни или производствени цели (Tesla Powerpack, Tesla Powerwall), [7], [8].

- **Поточни батерии** - Използват различния химически потенциал между два разтвора, съхранявани в отделни резервоари. Единия разтвор служи за анод, а другия за катод, [9]. Потокът на енергия се образува, когато двете течности влязат в контакт през клетъчна мембрана и започне отделянето на електрони от състояние на висок химически потенциал към нисък такъв, [10].

- **Натрий-серни батерии** - Разработени са през 60те години на миналия век от Ford Motors. Солите на натрия и сярата служат съответно като положителен и отрицателен електрод, отделени чрез керамичен натриев алуминий, действащ като електролит, [11]. Използват се най-вече в Япония при централите за добив на енергия от вятъра, [12].

Термално - Прилага се най-често при соларни инсталации или в промишлени процеси, напр. съхраняване на отпадъчна топлина за повторна употреба. Изборът на метод за съхранение зависи от приложението за отопление или охлаждане и източника на топлинна енергия, [13].

- **SHS (Sensible heat storage)** се основава на съхранението на енергия от охлаждането или загряването на течност или насипен материал (вода, пясък, чакъл). Този метод често се използва при соларните кули. Това е най-разпространения начин за съхранение на топлинна енергия, като през 2013 г. е открита най-голямата фабрика — Solana Generation Station в САЩ, съхраняваща до 1680 MWh енергия, [14].

- **LHS (Latent heat storage)** — тези системи използват промяната в агрегатното състояние на веществата, като преобразуването от твърдо в течно състояние се смята за най-ефективно. В сравнение с SHS, LHS има възможност за по-голяма специфична енергия и контролируемост на температурите на разреждане. Системите могат да се използват както за краткострочно, така и за дългосрочно съхранение на енергия, а тяхната класификация се извършва в според достигнатата температура: ниска (<200°C) и висока (>200°C), [15].

- **TCS (Thermo-chemical heat storage)** е един от най-новите методи за съхранение на топлинна енергия използващ обратими химически реакции. Използваната топлина варира от 300°C до 1000°C, [13]. По време на зареждащия процес, енергия под формата на високотемпературна топлина се абсорбира, предизвиквайки ендотермична химическа реакция. При енергийна необходимост, топлината се генерира чрез екзотермична химическа реакция и след това се трансформира в електричество.

Химическо — При повечето видове съхранение на потенциална енергия, един от ключовите фактори за подобрене на процеса е използването на химични катализатори.

- **HES (Hydrogen Energy Storage)** — Процесът позволява чрез електролиза електричеството да преминава във водород, който може да се съхранява и преобръща отново в електричество. Водородът може да бъде електрифициран отново в горивни клетки с ефективност до 50%. В момента най-често използваните технологии в големи централизиранни системи и малки децентрализиранни системи са алкалната електролиза и Proton Exchange Membrane (PEM), които имат между 65-70 % ефективност, [16].

- **Метан (Methane Energy Storage)** — Благодарение на свойствата на метановата молекула, обемната ѝ плътност е три пъти по-голяма от тази на водорода. В много страни използването на природен газ е добре развито. Установено е, че енергийната ефективност



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

при пробразуването на биомаса в метан чрез газификация, може да достигне до 65% . Чрез аеробно разграждане на биомаса, също може да се произвежда био-газ богат на метан с 20-40% от енергийното съдържание на биомасата.

**Табл. 1. Положителни и отрицателни характеристики на видовете системи за съхранение на енергия, [17]**

Тип енергия	Разновидност	Предимства	Недостатъци
Механична	ПАВЕЦ	Голям капацитет Ниска цена Дълготрайност Сигурност	Централизирана инсталация Висок начален капитал Зависимост от географско местоположение Природонесъобразно
	Компресиран въздух	Голям капацитет Ниска цена Малки загуби Дълготрайност	Неудобна инсталация Зависимост от гориво
	Маховик	Висока ефективност Стабилност Бърза реакция	Бързо разреждане Висока цена
Електрохимична	Литиево-йонни батерии	Без необходимост от поддръжка Дълъг цикъл на използване Висок температурен диапазон на употреба Бързо зареждане Гъвкавост в дизайна	Податливи на влажност Токсични при разграждане
	Поточни батерии	Гъвкавост в дизайна Контролируема клетъчна температура Лесно наблюдение Бърза реакция Не се разрежда	Ниска енергия Необходимост от допълнителна инсталация
	Натрий-серни батерии	Ниска цена Достъпност на материалите Дълъг живот Голямо количество енергия Гъвкаво опериране Не се влияят от обкръжаващите условия	Необходимост от поддръжка на висока температура (300 °С) Внимание за безопасност на работа
Термална	SHS	Висока ефективност Оъносително евтина	Варираща температура на разреждане
	LHS	Разнообразие на използвани материали Могат да се използват за кратък или дълъг период	
	TCS	Висок потенциал за съхранение на енергия за дълъг период от време Доставя по-висока специфична енергия	В изследователска фаза Скъпа технология
Химическа	HES	Природосъобразен различни приложения Разпределено съхранение	Ниска ефективност Висока стойност на инвестиция
	Метан	Природосъобразен Потенциал за развитие	По-ниска ефективност, Изисква големи помещения, Скъпо



### 3. Заключение

С развиващите се технологии и нуждата за повишение на енергийната ефективност в индустрията, учените непрекъснато усъвършенстват познатите технологии за съхранение на енергия. Използването на възобновяеми източници расте, с което и нуждата тези системи и процеси да се развиват с оглед на по-голяма ефективност. Макар, че няма съвършен модел за съхранение на енергия, чрез допълнително усъвършенстване на познатите методи, съхранението на енергия предстои да се оптимизира, превръщайки се в основен елемент от световните политики за енергийна ефективност.

### Благодарности:

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепа по линия на средства за редовни докторанти – 2019 г.

Тази статия е подпомогната от Българското Министерство на Образованието и Науката при изпълнение на национална научна програма "Млади учени и Постдокторанти" DCM # 577 / 17.08.2018

Тази статия е подпомогната от Българското Министерство на Образованието и Науката при изпълнение на национална научна програма "ИКТвНОС"

### Литература:

1. Energy Storage Systems, "Why it matters," 2013. [Online]. Available: <http://www.energystoragesystems.com/company/>.
2. International Energy Agency (IEA), "Technology Roadmap: Energy Storage," 2014. [Online]. Available: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technologyroadmap-energy-storage-.html>.
3. Съхранение на енергията от фотоволтаични системи – част II — Сп. Енерджи ревю - брой 5, 2012, Ноември. Available: <http://energy-review.bg/energy-statii.aspx?br=73&rub=753&id=305>
4. Energy Storage Association (ESA), "Compressed Air Energy Storage (CAES)," 2016. [Online]. Available: <http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes>.
5. Energy Storage Association (ESA), "Flywheels," 2016. [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/storage-technology-comparisons/thermal>.
6. Energy Storage Association (ESA), "Lithium Ion (LI-ION) Batteries," 2016. [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/lithium-ion-li-ion-batteries>.
7. E. Musk, "Energy Storage for a Sustainable Home," 2015. [Online]. Available: <https://www.teslamotors.com/powerwall?redirect=no>.
8. Tesla Motors, "Powerwall: Tesla home battery," 2016. [Online]. Available: <https://www.teslamotors.com/powerwall>.
9. Energy Storage Association (ESA), "Flow Batteries," 2016. [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/storage-technology-comparisons/flow-batteries>.
10. Energy Storage Association (ESA), "Redox Flow Batteries," 2016. [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/redox-flow-batteries>.
11. Y. H. X. W. J. H. a. Z. G. Zhaoyin Wen, "Main Challenges for High Performance NAS Battery: Materials and Interfaces," 2013. [Online]. Available: [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.201200473/epdf?r3\\_referer=wol&tracking\\_action=preview\\_click&show\\_checkout=1&purchase\\_referrer=onlinelibrary.wiley.com&purchase\\_site\\_license=LICENSE\\_DENIED](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.201200473/epdf?r3_referer=wol&tracking_action=preview_click&show_checkout=1&purchase_referrer=onlinelibrary.wiley.com&purchase_site_license=LICENSE_DENIED).



12. Energy Storage Association (ESA), "Sodium Sulfur (NAS) Batteries," 2016. [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries>.
13. J. G. J. H. Zhang, "Thermal energy storage: Recent developments and practical aspects," 03 10 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128515300149>.
14. U.S. Department of energy, "Solana Solar Generating Plant," 20 November 2014. [Online]. Available: <http://www.energystorageexchange.org/projects/346>.
15. F. P. G. C. J. B. D. Fernandes, "Thermal energy storage: “How previous findings determine current research priorities”," 2012. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com.focus.lib.kth.se/science/article/pii/S0360544212000291>.
16. Energy Storage Association (ESA), "Hydrogen Energy Storage," 2016. [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/hydrogen-energy-storage>.
17. A.R. Dehghani-Sanija, E. Tharumalingama, M.B. Dusseaulta, R. Fraserb, Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 104, April 2019, Pages 192-208

## RESEARCH AND EVALUATION OF EXISTING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR ENERGY SAVING

V. Yosifova, M. Haralampieva

*Abstract: The paper observes the types of technologies for energy saving. Their main characteristics are summarised and evaluated based on their positive and negative effects and energy efficiency.*

### Данни за авторите:

Венета Йосифова, гл. ас., ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 4, 1113 – София, Р. България, e-mail: [veneta.chistova@gmail.com](mailto:veneta.chistova@gmail.com)

Милена Харалампиева, докторант, ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 4, 1113 – София, Р. България, e-mail: [milena\\_biserova@abv.bg](mailto:milena_biserova@abv.bg)



# ЛЪЧИСТО ОТОПЛЕНИЕ. ВИДОВЕ, ОБЛАСТИ НА ПРИЛОЖЕНИЕ И ПРЕДИМСТВА

В. Йосифова, М. Харалампиева

*Резюме:* В статията е представено лъчистото отопление като съвременен метод за отопление. Разгледани са принципът на работа и сферите на приложение. Извършени са опити сравняващи работата на уредите и стандартните методи. Изтъкнати са редица предимства.

**Ключови думи:** енергийна-ефективност, отопление, лъчисто отопление.

## 1. Въведение

През последните години индустрията търси все повече енергоефективни решения за отопление и минимизиране на разходите за производство. Един от основните ѝ проблеми е отоплението на сгради, халета, цехове, при които топлината излиза навън зареди редица фактори като: големи пространства, образуване на течение, постоянно отварящи се врати, лоша топлоизлация. Традиционните методи за отопление включват уреди, които нагряват въздуха в помещението, което не е енергийно ефективно, тъй като топлия въздух се издига нагоре и често излиза навън през покрива и оградящите стени.

Познатите системи за отопление (радиатори, конвектори, климатици и др.), топят помещението на принципа на конвекцията, загряват въздуха, той става по лек и се издига към тавана, където по-студената повърхност на тавана го охлажда, ставайки по-тежък и отново се придвижва надолу до пода на стаята. Този цикъл се повтаря и предизвиква циркулация на въздуха в помещението, причиняваща неприятни разлики между температурата на въздуха от пода до тавана, както и разпространение на прах, дим, шум, миризма и емисии на CO<sub>2</sub>. Повишаването на средната температура в помещението води до изсушаване на въздуха в стаята. Конвекторни уреди, използващи въздуха за пренос на топлината образуват силни въздушни течения, които сами по себе си изискват по-висока стайна температура за чувство на комфортна топлина. При отопление с климатик, вентилаторна печка или конвекторен радиатор, усещането за топлинен комфорт е при 25°C—26°C. В повечето случаи датчика за температура при климатиците е високо горе във вътрешното тяло, което допълнително изисква зададена по-висока температура, заради движението на топлината нагоре. [1], [2]

## 2. Лъчисто отопление

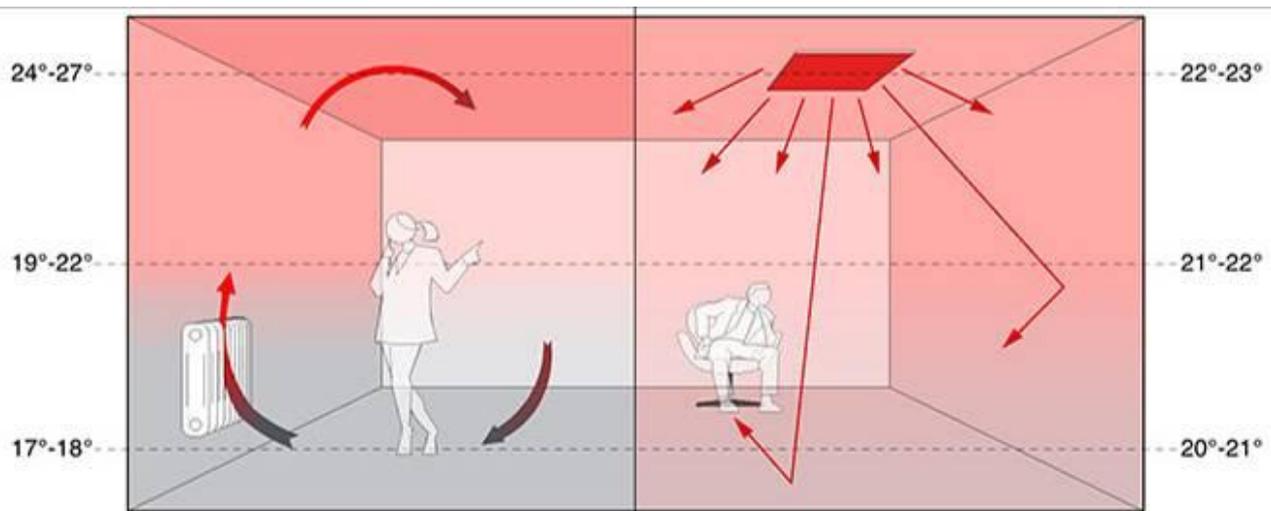
Една от последните технологии, която навлиза на пазара за отоплителни уреди е лъчистото отопление. Чрез него се използва инфрачервена радиация, излъчваща топлина, която се концентрира в зоните, където е необходима и се използва, а не се разпространява из цялото помещение и не изтича през оградящите конструкции. Производителите на такъв вид отоплителни системи твърдят, че спестяването на енергия може да достигне до 70% при правилно инсталиране и експлоатация.

Начин на работа — Като всяко едно съвременно енергийно ефективно решение и идеята за лъчисто отопление се взаимства от природата. Най-големият лъчист отоплител е слънцето. Неговите инфрачервени лъчи пропътуват огромно разстояние до Земята без да губят много енергия, докато междинното пространство остава студено. Когато лъчите достигнат до земната повърхност или друг обект, те нагряват, а тази топлина загрява въздуха наоколо. [1]

Поради силно изразеният топлинен ефект на инфрачервените лъчи, те успешно се използват за отопление.

Това решение е изключително икономично, сравнено с масовите конвенционални уреди за отопление и се смята за енергийно ефективно, благодарение на преобразуването до 98% електрическа енергия в инфрачервено излъчване. Поради факта, че въздухът не се ползва за транспортър на топлинната мощност, се намаляват значително топлинните загуби, тъй като въздухът е добър изолатор, а не акумулатор на топлината.

Инфрачервените панели за отопление излъчват невидими инфрачервени лъчи, които директно затоплят твърдите обектите (под, стени, мебели, предмети, и т.н.) и телата в стаята. Въздухът остава с почти еднаква температура по цялата височина на помещението, разликата между температурите при пода и при тавана е в рамките на 2°C-3°C (Фиг. 1) Най-добра ефективност от отопление с инфрачервени панели се регистрира при монтажа им на тавана в съответното помещение. При монтаж на тавана уредът има пълен обхват към цялото помещение, затопля основно пода и той от своя страна затопля въздуха от долу нагоре. След проветряване на помещението отоплявано с инфрачервени радиатори, връщането на желаната стайна температура става значително по-бързо, поради факта че всички повърхности в помещението са топли. Благодарение на факта, че повърхността на предметите, обектите и телата в стаята е с около 1°C по-висока температура от тази на въздуха в помещението, възможността за образуване на конденз и мухъл в помещението, драстично намалява. [2]



**Фиг. 1. Сравнение на разпределението на температурата между лъчисто отопление и стандартен уред за отопление**

### 3. Видове лъчисто отопление

Инфрачервените уреди за отопление се разделят на няколко основни групи:

- Спрямо температурата на повърхността на излъчващия обект, респективно дължината на вълната:

- дълговълнови – с температура на повърхността около 100°C - 120°C, във вид на панели с нагревател от карбон (въглеродни влакна с изключителна еластична якост, значително по-леки от стоманата, с около 3-4 пъти и от алуминия с 35-40%). Благодарение на качествата на карбона, панелите с такъв нагревател са с експлоатационен живот до 100 000 часа работа. Използват се главно за битово отопление;

- късовълнови – с температура на повърхността на лампата 800°C - 900°C, във вид на лъчисти печки с кварцови лампи запълнени със смес от различни газове. Лампите са със златно покритие за предотвратяване на вредно излъчване. Продължителност на експлоатационен живот на лампите 5000 - 6000 часа. Използват се главно за промишлено и индустриално отопление.

- Спрямо енергийния източник, който използват биват електрически и газови.

Поради факта, че инфрачервените уреди затоплят твърдите обекти, като стени, под, мебели, предмети и други, първоначалното затопляне може да отнеме малко повече време, но веднъж затоплени, тези обекти, отдават на въздуха акумулиралата се топлина за дълъг период от време. Така се получава двойно отопление в помещението, веднъж от инфрачервения уред и втори път от затоплените твърди обекти, от там и голямата икономичност. [2]

#### **4. Видове и приложения на инфрачервеното отопление**

1. Подово лъчисто отопление (предпочитано е за домашно приложение), което се разделя на три типа:

- С въздушно нагряване - използва се нагрявател, чиято топлина се разпределя през система от тръби по въздушен път. Такъв тип система се комбинира със соларни панели за по-добра ефективност (Фиг. 2).

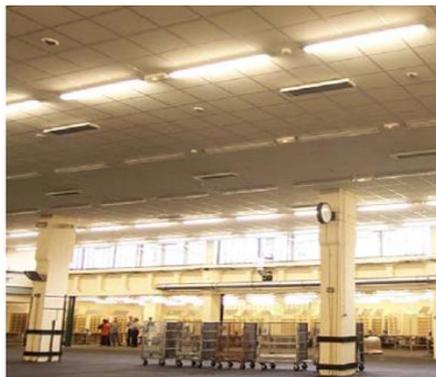


**Фиг. 2. Монтаж на подово лъчисто отопление**

- С електрическо нагряване - Представлява система от топлопроводими платки, през които зигзагообразно преминават медни или нихромни (сплав от хром и никел) проводници обвити във водонепропусклив полимер, които се нагряват чрез електричество.

- С хидравлично нагряване - Топлината се предава чрез водата от голям бойлер, през инсталация от тръби в пода. Това е най-рентабилния метод за подово отопление.

2. Панели - Този тип панели могат да бъдат монтирани както на стена, така и на тавана (Фиг. 3). Най-популярни са тези, които работят на електричество, но тъй като не нагряват целия въздух и няма топлинни загуби, разходите за електроенергия намаляват. За ефективно отопление се избира моделът и мощността на уреда, в зависимост от характеристиките на помещението (площ, височина, предназначение, проветривост и др.). За предпочитане е да има леко застъпване на зоните, които лъченито от уредите покрива. Уредите нагряват мигновено и позволяват зонирано отопление (в едно помещение могат да се постигнат различни температури). Изключително удобни са при високи тавани, големи индустриални помещения (отоплява се там, където има работници), спортни и концертни зали (Фиг. 4), [3].



**Фиг.3. Лъчисто отопление на индустриално помещение с висок таван**

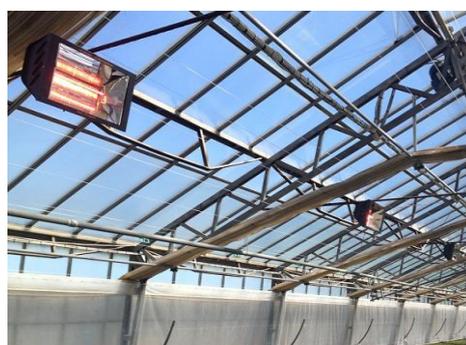


**Фиг.4. Лъчисто отопление на спортна зала Тенис корт**

3. Лъчисто отопление на открито — Принципът на действие на лъчистото отопление, прави възможно използването му и на открито, тъй като обектите и хората се нагряват директно. Уредите могат да работят на студени условия, преодолявайки течение и вятър. Могат да бъдат използвани в заведения (Фиг. 5), градини, оранжерии (Фиг. 6) и др.



**Фиг.5. Лъчисто отопление на обществено място**



**Фиг. 6. Лъчисто отопление в оранжерия**

Друго полезно приложение е използването на специализирани уреди за спешна помощ при извънредни ситуации, с цел превенция на хипотермия. [3]

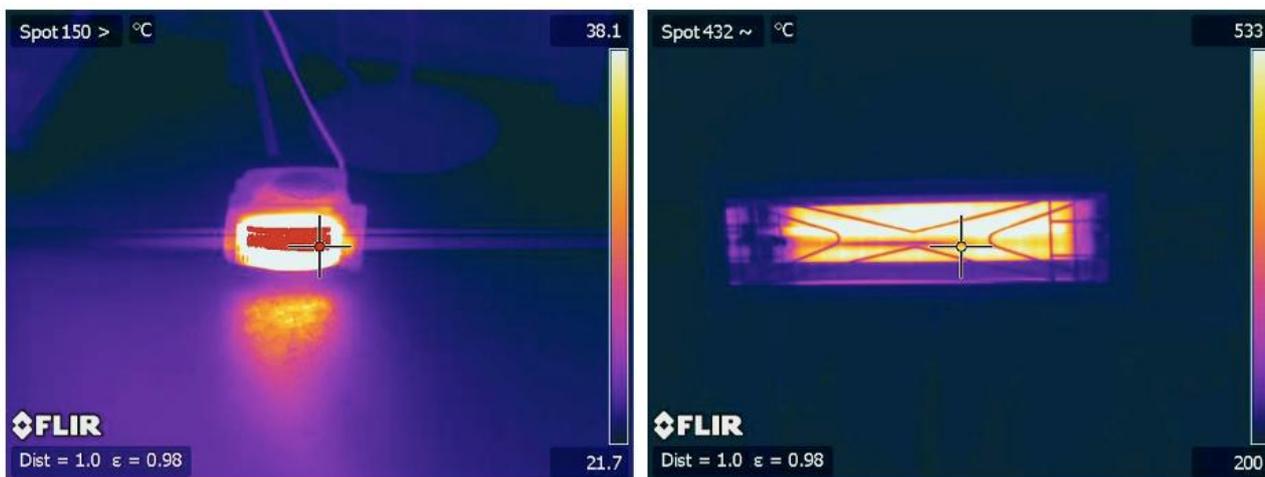


**Фиг. 7. Уред HYPOTHERMSAVE® за превенция на хипотермия**

### 5. Експериментална част

При проведен експеримент в индустриално хале с голяма светла височина ( $\sim 60 \text{ m}^2$ ;  $\sim 3,5 \text{ m}$ ), беше сравнена работата на две отоплителни тела — конвекторна печка SANG (2000 W) и лъчисто отопление VARMA 301(1500W). С термокамера бе установено, че макар с по-ниска мощност, температурата която се достига в корпуса на лъчистия отоплител надвишава тройно, тази в корпуса на конвекторната печка (Фиг. 8). Топлият въздух от печката се разсейва из цялото помещение и за периода на експеримента не бе усетено значително затопляне. Лъчистият отоплител от своя страна нагряваше равномерно зоната, в която бе монтиран ( $\sim 16 \text{ m}^2$ ).

Предимството, че уредът започва да излъчва топлина веднага след включване, осигурява комфорт мигновено, без необходимост от дълги часове предварително затопляне на помещението в сравнение с другите методи за отопление. Несъмнено бе доказано преимуществото на лъчистото отопление в индустриално помещение от ефективна и икономическа гледна точка.



Фиг. 8 Снимка с термокамера на конвекторна печка и лъчист отоплител

За да се сравнят работите на двата уреда, пресмятаме енергията необходима да се затопли нужната зона за работа (до 23°C) и времето за работа. Макар по-скъпа първоначална инвестиция уредите, действащи на принципа на лъчистото отопление, могат значително да намалят разходите за електроенергия за отопление (до 3 пъти) (Табл. 1), особено за производствени сгради и индустриални обекти, където помещенията са големи, но не се изисква затопляне на целия обем. [5]

Табл. 1. Сравнителна таблица за разхода за електроенергия

	VARMA 301	SANG (2000 W)
Време за работа	1 час	2 часа
Консумирана енергия	1,5 kWh	2,0kWh
Разход за електроенергия	0,3 лв.	0,8 лв.

### 6. Предимства

Основни предимства на лъчистото отопление:

- Консумира по-малко енергия, което ги прави енергийно ефективни;
- Отоплява големи помещения;
- Започва да нагряват от момента на включване;
- Не замърсява и не отделя вредни вещества;
- Възможност за настройване на желаната температура;
- Лесна инсталация ( с изключение на подовото отопление) и поддръжка;
- Безшумно;
- Възможност за зонирано отопление;
- Разнообразие на модели уреди, в зависимост от експлоатацията;
- Възможност за използване на дистанционно управление, термостат и смарт системи. [2]



### 7. Заключение

Безспорно лъчистото отопление ни придвижва крачка напред в търсенето на енергийно ефективни решения и съхранението на природните ресурси. Енергийната ефективност от 98%, дава възможност да се използва почти цялата енергия, която се влага в системата за отоплителна цел. Това е значително подобрение в сравнение с енергийната ефективност на конвенционалните системи за отопление, която е около 50-70%. Заради лесната експлоатация, ефективният начин на работа и икономичното потребление, този метод за отопление предстои да се развива и да бъде предпочитан за жилища, открити помещения, индустриални и обществени сгради.

### Благодарности:

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепа по линия на средства за редовни докторанти – 2019 г.

Тази статия е подпомогната от Българското Министерство на Образованието и Науката при изпълнение на национална научна програма "Млади учени и Постдокторанти" DCM # 577 / 17.08.2018

### Литература:

1. Frico Product Catalogue — Frico AB (Швеция)
2. Принцип на инфрачервено отопление — Редсън ЕООД — <http://www.redsun.bg/>
3. VARMA TEC Product Catalogue — Star Progetti Tecnologie Applicate Spa (Италия)
4. Home Heating Systems. Radiant Heating — U.S. Department of Energy's (САЩ) - <https://www.energy.gov>
5. В. Йосифова. Методи и средства за изследване енергийната ефективност на сгради и съоръжения, 2018

## RADIANT HEATING. TYPES, APPLICATION AREA AND ADVANTAGES

V. Yosifova, M. Haralampieva

**Abstract:** *The paper presents the radiant heating methodology as a modern heating technology. The working characteristics and application areas are observed. Experiments comparing the work of a radiant heating and a conventional heating are made and described with highlights on the radiant heating's advantages.*

### Данни за авторите:

Венета Йосифова, гл. ас., ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 4, 1113 – София, Р. България, e-mail: [veneta.chistova@gmail.com](mailto:veneta.chistova@gmail.com)

Милена Харалампиева, докторант, ИИКТ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, блок 4, 1113 – София, Р. България, e-mail: [milena\\_biserova@abv.bg](mailto:milena_biserova@abv.bg)



## **ВЗАИМОВРЪЗКА МЕЖДУ ИНОВАЦИОННОТО РАЗВИТИЕ И ОСТАРЯВАНЕ В ИНДУСТРИАЛНИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Б. Влахова**

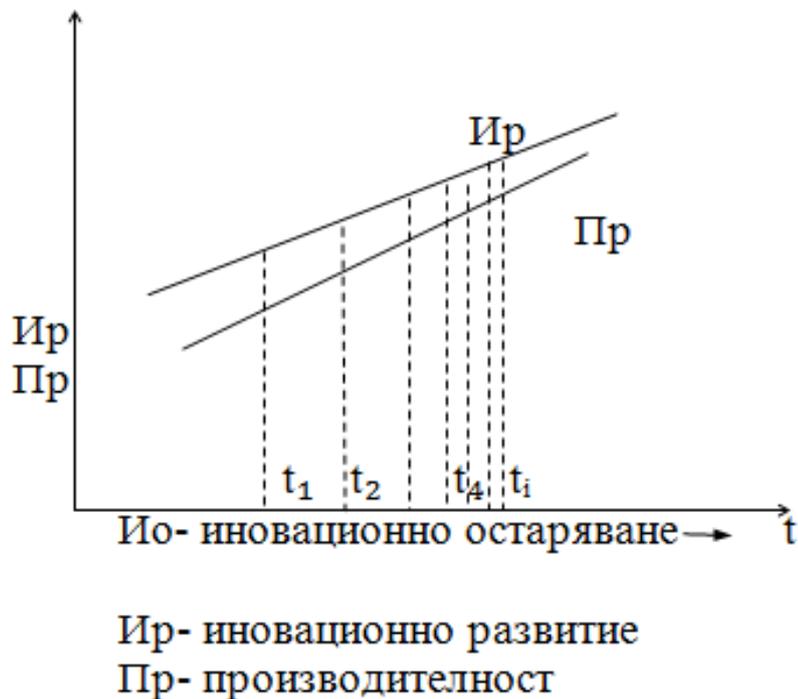
***Резюме:** Доказана е по безспорен начин връзката между иновационното развитие и настъпващото иновационно остаряване в техниката и технологиите. Изследванията показват, че все още не са изяснени вариантните въздействия на тази взаимовръзка, както върху бързото иновационно остаряване, така и върху технико-икономическите показатели определящи това развитие. С настоящия доклад се цели да се изследва взаимовръзката между различните етапи на иновационно развитие и иновационно остаряване, да се потърсят форми на въздействие водещи до намаляване на вредите от иновационното остаряване.*

**Ключови думи:** Индустиални предприятия, иновации, иновационно остаряване, иновационно развитие.

### **1. Взаимовръзка между обществените категории на развитие.**

Най съществени от гледна точка на обществено развитие са категориите на достигнатото технически ниво на световния прогрес и обществената производителност на труда. Производителността в този случай се разглежда като категория обществена производителност и е прието да се оценява, чрез съпоставяне на резултатите от производителността и сумарните разходи за труд (веществен, жив), необходими за нейното осъществяване. Достигнатото техническо ниво на световния прогрес пък се определя от глобалните измерители на техническия прогрес в момента изразени чрез определени категории измерители, една от които е и обществената производителност [4]. Между нея и техническото ниво съществува определена взаимовръзка и зависимост. Тази зависимост се изразява в степени на /техническо ниво, отчитащи разликите с дял от увеличение на производителността. Техническото ниво може да се приеме и като достигнато иновационно ниво в момента на развитие на техническия прогрес. Тези показатели са тясно свързани и зависими един от друг, понеже са дефинирани от глобализацията на иновационното развитие в даден момент, а последното е резултат от достигнатата производителност на техниката, като ниво на научно технически прогрес.

Физическата същност на този процес се изразява в скъсяване на периодите на създаване на нови технически решения, модерни конструкции и технологии и увеличение на производителността в абсолютно и относително измерение на всеки нов период. От тук следва, че иновационното остаряване на техниката става за все по-кратки периоди от време. Това са икономически и технически закономерности, които с глобализацията и иновационното развитие бележат ускорени стъпки за всеки следващ период създавайки все по висока обществена производителност. Следователно бъдещите индустриални дейности ще бъдат с по-високи технически нива, по-висока производителност, по-бързо иновационно остаряване и глобална интензификация на процеси и дейности. Нагледно взаимната зависимост между иновационното развитие, иновационното остаряване и производителността са показани на фиг.1.



Фиг.1. Взаимовръзка между иновационно развитие, иновационно остаряване и производителност

## 2. Вътрешни и външни въздействия

**Вътрешни въздействия** - основното въздействие на иновациите и иновационната дейност вътре в индустриалната фирма е повишаване на качеството и конкурентноспособността на произвежданите продукти [4]. Тази цел, като вътрешна изява в индустриалната фирма намира израз в основните направления в нейната дейност, изразяващи се в:

- Повишаване на ефективността от производствено-стопанската дейност на фирмата
- Повишаване на конкурентноспособността на произвежданите продукти и създаване на нови възможности за по-голямо производство и качество на продукцията;
- Създаване на условия, възможности и предпоставки за по-ниски разходи на суровини, материали, горива, енергия, т.е. на производствените основни и спомагателни разходи.

В съвременните условия интересът към иновациите все повече се засилва, още повече, че те се разглеждат като основно средство за осигуряване на конкурентно предимство на фирмата [5]. Те обаче може да се използват и като синоним на обновление ако те водят до прогресивни, качествени промени в икономическите, технологичните, социални и екологични параметри на индустриалната среда.

**Външни въздействия** - върху иновационното развитие влияние оказват и редица външни въздействия, свързани с индустриалното развитие на фирмата. По-важните от тези въздействия също могат да се групират в групи като:

- Въздействия свързани с доставката на суровини и материали от различни доставчици характеризирайки ефективността на логистичната система; Избор на софтуер, подходящ за решаването на поставения проблем.
- Изменения настъпили в пазарните условия, свързани и зависими с дейността на фирмата;

- Държавни нормативни актове, решения, социални изменения и други външни въздействия;
- Глобални екологични зависимости, въздействия, забрани, решения и др. свързани с дейността на фирмата.

Вътрешните и външни въздействия могат да се представят графично както са показани на фиг.2.



Фиг.2. Вътрешни и външни въздействия.

### 3. Световни тенденции в иновационното развитие и иновационното остаряване

Техническото развитие е невъзможно без използване на иновациите. От друга страна стимулираните от глобалните приоритети иновационни решения разкриват напълно своя потенциал, само в рамките на световното икономическо пространство. Важен фактор в това отношение е разширяването на пространствените възможности на иновациите и в частност на информационните технологии. В бъдеще ще възникне необходимост от междудържавно стимулиране и регулиране на иновационните процеси, управлението на които е изключително сложен и отговорен въпрос. То е свързано и с по-доброто използване на ресурсите в тази насока и то преди всичко човешките ресурси – висококвалифициран труд. Като цяло това развитие и тези процеси са немислими без комуникациите, разглеждани като източник на тяхното ускоряване и развитие. Те са и базата на международния информационен и технологичен обмен в условията на все по-открита, интегрирана и непризнаваща граници световна информационна икономика. В резултат на това рязко ще се увеличава и информационното обслужване, което е свързано непосредствено с успехите на електрониката, комуникациите, електронната поща, Интернет, Интранет и др.

Иновационното развитие и иновационното остаряване може да се разглежда и като процес за решаване на проблеми или формиране на иновационна политика на това развитие.[1] Всеки процес за решаване на проблеми започва с дефиниране и установяване на проблем или формиране на иновационната политика на фирмата. Ако проблемът е точно и ясно дефиниран, то и решаването може да се формулира и представи ясно, т.е. да имаме ефективна политика. По същество иновационното развитие формира и политиката на фирмата като част от нейната корпоративна политика и е неразделна част от общото техникоикономическо развитие на същата [7].



Стратегическата политика на индустриалната фирма пък е немислима без добре изградена, преценена и осмислена политика за иновационно развитие. Иновационната политика всъщност формира и концепцията за икономическите показатели на фирмата и е основен фактор за нейния просперитет.

Бързият технически прогрес и развитие оказва най-силно влияние върху такива базови дейности като енергиите, комуникациите, биотехнологиите, нанотехнологиите и др. [6]. Следователно и най-голям иновационен бум в иновационното остаряване ще се очаква в тези направления. Това по същество означава и бурно развитие на иновационните дейности свързани с обслужването на големите преоритетни направления в развитието на световния прогрес. Основната концентрация на учените в света ще бъде насочена върху иновационното развитие на:

- Информационните технологии;
- Биотехнологиите;
- Създаване и използване на нови материали;
- Нанотехнологиите;
- Алтернативни усвояване на космическото пространство;
- Защита на околната среда и др.

#### 4. Заключение.

В заключение може да се приеме че иновационното развитие и иновационното остаряване търпят постоянни изменения, свързани както с тяхното развитие, така и с качественото изменение на основните им компоненти. Така например дигитализацията започва да се проявява като един от основните елементи на това развитие. Дигитализацията или създаването на дигитална среда е един от ключовите моменти в приложението на иновациите. Дигитално не означава непременно само цифровизирано, то не е еднозначно, а включва взаимно допълващи се решения, целящи общ резултат. Дигитализацията е подход или методология, целяща оптимално дефиниране на цифровите измерения. Това означава и друго, че цифровизацията и стандартизацията трябва да бъдат еднозначно разпознавани, но като отделни компоненти на един и същ процес. Това трябва да бъде едно от изискванията на новите технологии. Това е задължително и при изграждането на автоматизирани информационни стандартизационни модули и приложението на изкуствен интелект. Създаване на нови технологии, машини и устройства в основни линии следва една възходяща степен на постоянни иновативни решения, водещи до бързо иновационно остаряване на технологиите и техниката, то проблемът с алтернативи на иновационното остаряване също търпи развитие. Ето защо интензивните фактори за развитие на производството вече добиват други измерения, тясно свързани с оптимизация на процеси, дейности и ефективно използване на основните средства като машини, съоръжения и др.

#### Литература:

1. Дамянов Д. и к-в., Иновационна основа на индустриалното развитие и тенденции в автоматизацията на дискретните производства, Колективна книга-КАДП, Издателство ТУ -София, 2015 г., ISBN978-619-167-153-3.
2. Дамянов Д, Влахова Б., Съвременни алтернативи на бързото иновационно остаряване, НТС-Сборник доклади на АДП/2018-Созопол ISSN 1310-3946, с.278-273, 2018 г.
3. Дамянов Д.,Технология на иновациите, изд.ПРИМАКС – Русе, 2019 г., ISBN 978-619-7242-58-4. .
4. Demirova S., Alternative Of Innovative Aging In SMEs By Lowering The Product Cost Price, Journalijar, Vol 5, Issue 08, 2017, pp.1244-1252, DOI: 10.21474/IJAR01/5178, ISSN: 2320-5407



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

5. Николова Н., Д. Петрова, Мениджмънт – теория и практики, Част I, Учебник, Издателство Габрово Принт 2015, глави II, III, IV, VII, ISBN 978-954-436-054-2, 172 стр..
6. Петрова Д., Управление на фирма – мениджмънт и инвестиции, Издателство „ЕКС – ПРЕС” – Габрово 2011, ISBN 978-954-490-249-0, 267 стр..
7. Petrova, D., Analysis of Trends and Opportunities for Technological Development of Bulgarian Enterprises (Анализ на възможностите и тенденциите за технологично развитие на българските предприятия), Proceedings of the International Conference Danube Black Sea, 3E – Energy, Environment & Efficiency, September 18-21, 2013 Galati, Romania, ISBN, pp. 413-417

### INTERRELATIONSHIP BETWEEN INNOVATION AND INOVATION AGING IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

**B. Vlahova**

***Abstract:** The connection between innovation development and emerging innovation aging in technology and technology has been proven. Research has shown that the variation effects of this interconnection, both on rapid innovation aging and on the technical and economic indicators that determine this development, have not yet been elucidated. This report aims at exploring the interconnection between the different stages of innovation and innovation aging and looking for forms of impact reducing the harm from innovation aging.*

**Данни за автора:**

Беата Влахова, докторант, инженер, катедра ТМ – ТУ Габрово, e-mail  
beata\_mineva@abv.bg



## ТЕНДЕНЦИИ В ПЛАНИРАНОТО ОСТАРЯВАНЕ НА ИНДУСТРИАЛНИТЕ ПРОДУКТИ

Д. Дамянов, Б. Влахова

**Резюме:** *Технологичното развитие и по-точно неговите последици, проявяващи се под формата на различни видове остаряване на продукти и процеси, водят до своеобразна нагласа на производителите за търсене на начини и средства за усъвършенстване и изменение на параметрите им. Тенденцията за изменение на параметрите на индустриалните продукти и процеси в резултат на намесата на човека за бързото им остаряване, известно още като „планирано остаряване“ вече формира нова алтернативна концепция за тяхното развитие. Тя поставя и нови изисквания, както към потребителската същност на индустриалните продукти, така и към методите, подходите и начините на тяхното производство и потребление. Целта на настоящия доклад е да се изследва този процес и да се определят основните направления на неговата алтернатива и бъдещо развитие. По същество това означава планирано скъсяване на ефективните етапи от ресурса на живот на индустриалните продукти..*

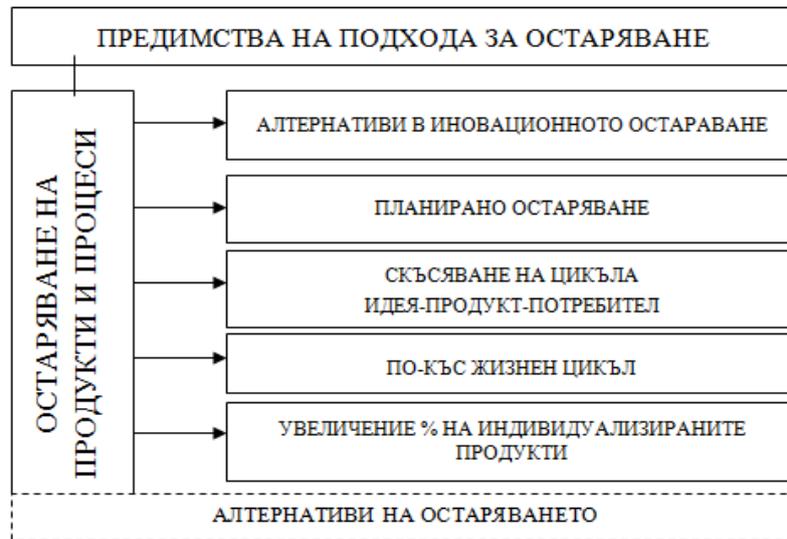
**Ключови думи:** Иновационно развитие, иновационно остаряване, планирано остаряване и др.

**Планирано (регулирано) остаряване.** Тенденцията за изменение на параметрите на индустриалните продукти и процеси в резултат на бързото иновационно остаряване започна да набира все по голяма скорост. [12]Тази скорост се съпътства с обстоятелството, при което индустриалните продукти все по бързо остаряват и все по бързо се налага купуването на нови. Но този процес може да бъде и изкуствено регулиран. За особено приемливо от производителите се счита времето за настъпване повреждането на продуктите няколко дни след изтичане на гаранционния срок. Освен това производителите използват и най-различни подходи, за да осигурят бързо остаряване, наложило се като термин „планираното остаряване“. На пазара има много индустриални продукти, които е по-лесно да се заменят с нови, отколкото да се ремонтират, а производителите на практика масово използват този подход на алтернативно иновационно остаряване. Този нов подход, възприет бързо от индустриалните фирми, вече проявява своите предимства в следното:

- Остаряването на индустриалните продукти е неразделна част от всеки етап на живота ни. То е основният двигател, която води науката, технологиите и икономиката напред.
- Планирано остаряване като наложила се вече практика на съвременната индустрия се задълбочава през последните години, показва едно германско проучване на Федералната агенция по опазване на околната среда.
- Днес с глобалната икономика и конкуренция всеки иска да продава повече и по-бързо и с по-кратък експлоатационен срок. Това означава, че се губи вече ремонтния етап на индустриалните продукти.
- Много от експертите смятат, че скъсеният живот на индустриалните продукти и техника се постига от части чрез използване на материали с по-ниско качество.
- Сред въздействащите фактори върху този процес е и подхранвания от потребителите стремеж към индивидуализирани продукти.

Предимствата на този нов подход са показани на следната графика Фиг.1. Понастоящем мнозина производители и потребители са против световния подход за планирано остаряване,

но също така е сигурно че почти всеки от тях работи на място, което зависи от планираното остаряване.



**Фиг.1. Предимства на подхода за остаряване.**

Изследвания, офиси, производства, сервизи, услуги - всичко функционира благодарение на спазването на принципите за планираното остаряване. И това не е нещо временно, а задължителен механизъм на консуматорското общество, движено от парични знаци, обръщение и подмяна на продукти и услуги, което вече е изградило и свои принципи на развитие.

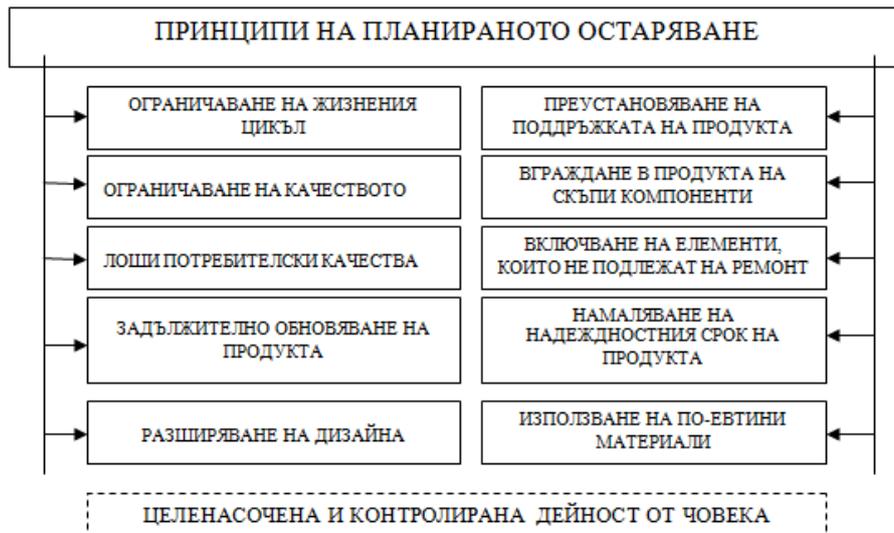
**Принципи на планираното остаряване.** Планираното остаряване се базира на следните основни принципа:

- Преднамерено планирано ограничаване на жизненият цикъл на целият продукт (гаранционен срок, срок на годност и т.н.).
- Планирано ограничаване на качествата на продукта с цел последващи подобрения (пример с заключване( замразяване) на някои функции на продукта)
- Предлагане на продукти с лоши потребителски качества, които да бъдат заместени с по-добра алтернатива (например лаптопи и дисплеи , или ограничен цетови обхват, лош спектър и т.н.)
- Задължително въвеждане на законодателни санкции и задължаване за обновление на продукта.
- Разширяване на дизайна и въвеждане на такъв, който е подвластен на факторите моден маркетинг и сезонност;
- Преустановяване поддръжката на индустриалните продукти намиращи се в експлоатация с неизчерпан производствен ресурс (особено характерно за компютърната техника ).
- Вграждане на компоненти с ограничения в жизнения цикъл, но включващи над 50% от стойността на продукта.
- Вграждане на комплексни елементи които не подлежат на ремонт (капсоловани). Повреждането на само един детайл води до замяната на целия апарат, устройство и др., несъвместимост на новия софтуер със старите устройства или производство на нови аксесоари, несъвместими със старата продукция и т.н.
- Ограничаване на надеждността срок на продукта.
- Използване по-евтини и по-лошокачествени материали., това означава че за всяко ново устройство, или продукт който купуваме, са нужни повече консумативи,

повече енергия и повече вода. Това означава допълнително замърсяване и парникови явления за планетата.

Нагледно тези принципи на планиране остаряването са показани на фиг.2.

Като извод на гореизложеното може да се приеме че планираното остаряване е целенасочена и контролирана дейност от човека с цел да се решат някои индустриални, стопански и обществени проблеми на развитието на обществото. Включително и задоволяване на индивидуалните изисквания на потребителите. Разгледано от тази гледна точка и от този аспект на виждане планираното остаряване , все повече започва да играе ролята на алтернатива на бързото иновационно остаряване на продуктите и процесите.



Фиг.2. Принципи на планирано остаряване

### Наложили се световни практики и тенденции на развитие.

Много компании, които са завзели елитните и доходни корпоративни пазари, за да бъдат коректни към световната икономика предлагат и посредствена потребителска техника, но се разграничават от нея чрез наименование и произход. [11] Някои модели се позиционират само за определени пазари. Има и голяма разлика в проектирането и производството на тази техника. Обикновено елитните серии на големите компании се произвеждат в специални заводи. Оавен това пък потребителският клас задължително има планирано остаряване и механизмите за неговото постигане са разнообразни. Заложени са такива механизми за стареене, нужда от обновление и дори заложен дефект, че техниката да е изгодна за поддръжка само до края на гаранционния си период. Такива примери има много, но най характерни са те при компютърната техника. Като примери могат да се посочат ,долуизброените механизми които вече се използват в практиката, включващи;

- Лошо охлаждане, което се амортизира и води до дефектиране на графична карта, отскоро и процесор (да, много процесори Intel Core започнаха да "умират" неочаквано) . Проектират се такива охлаждания, които са невъзможни за профилактика, трудни за смяна, с турбина, която лесно събира прах, с неудачно разположени вентилационни отвори, които засмукват боклук;
- Батерия с ограничен жизнен ресурс, която има чип, който я държи "жива" около година и долнопробни елементи. Чипове с броячи имат и принтерите от потребителски клас; или ограничаване на поддръжката на по-стари модели чрез липса на драйвери и обновления.
- Вграден дефект в графичен чип, чипсет, захранване, инвертор или друг важен компонент. Ярък пример за това с графичните карти на Nvidia, по-късно и на AMD/ATI;



- Слабо шаси, което води до огъване, пукнатини излизане от строя на дънна платка, дисплей, твърд диск и др. важни компоненти;
- Твърд диск, проектиран така, че да изкара до края на гаранционният си срок. Новите "магнитни" дискове имат много по-кратък ресурс от старите с цел налагане на SSD;

Понастоящем икономиките на отделните страни, а напоследък и в световен мащаб все повече започват да се базират на планираното остаряване, което контролира и развитието на техническия прогрес. Революционните открития се изкупуват, унищожават или складираат за бъдещо приложение в интерес на планираното остаряване. Малки компании за хардуер и софтуер с високо иновационни нови продукти се поглъщат от големите с цел запазване на статуквото и гарантиране на устойчиво постепенно развитие.[3] Примерите за поглъщане и стопиране на революционни технологии са много. Това налага вече задължително да следваш принципите на планираното остаряване и колкото си по-голям, толкова по-агресивно трябва да ги налагаш.

Като практика вече се налага изискването, че техника без заложено планирано остаряване не е предназначена за потребителския пазар и наличието и в този сегмент не е желателно. Това е отлична възможност на ниска цена да се придобие уникален продукт, без световната икономика. Дори да се предлага за продажби извън корпоративните пазари, цената и е непосилна за повечето потребители. Трябва да се отбележи, че пазарът се регулира не само от производители и посредници, но и от потребителите.[13] Както виждате пазарът предлага и продукти без планирано остаряване и то на достъпни или даже по-ниски цени от дефектните още с излизането си продукти. Резервните части, които са необходими за правилното и безопасно функциониране на продуктите, трябва да се предоставят на цена, която е съизмерима с естеството и продължителността на живот на продукта. Цялото това развитие е в насока на регулирано възприемане процеса на техническия прогрес в света.

### **Заключение**

Що се отнася до планираното остаряване то все повече се развива и започва да се явява като своеобразен алтернативен процес на иновационното остаряване.[4] Това е така, защото бързото иновационно остаряване започва да решава много от проблемите които до сега се решават с планираното остаряване. Ето защо то апочва да се явява като алтернатива на бързото иновационно остаряване.

### **Литература:**

1. Дамянов Д, Влахова Б.,Съвременни алтернативи на бързото иновационно остаряване.НТС-Сборник доклади на АДП/2018-Созопол ISSN 1310-3946, с..278-273
2. Дамянов Д.,Технология на иновациите, изд.ПРИМАКС –Русе,2019 г.ISBN 978-619-7242-58
3. Demirova S., Basic Indicators Forming Effectiveness In Developing Product Innovations, GE-International Journal of Management Research, Vol.5, Issue 5, May 2017, ISSN(O):2321-1709, pp.113-122
4. Demirova S., Alternative Of Innovative Aging In SMEs By Lowering The Product Cost Price, Journalijar, Vol 5, Issue 08, 2017, pp.1244-1252, DOI: 10.21474/IJAR01/5178, ISSN: 2320-5407
5. Tomov P., “Innovative solutions for the automation of discrete production engineering” 12th international conference on “standardization, prototypes and quality: a means of balkan countries’ colloboration”, Kocaeli from 22nd to 24th of October 2015



6. Guergov, S. A review and analysis of the historical development of machine tools into complex intelligent mechatronic systems, Journal of Machine Engineering, ISSN 1895-7595 (Print), ISSN 2391-80-71 (Online), 2018, Vol. 18, No. 1, 107-119 (in Scopus)
7. Nikolov St., Examination the Influence of the Type of the Contact Surfaces on the Stresses Receiving in the Manipulated Details by Using Parallel Gripper, Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, Volume 70, pp 51-58, Bulgarian Academy of Sciences, July 24-26 2018, Sofia, Bulgaria, ISSN 0204-9848
8. Николов Ст., Избор на технологична стратегия при генериране на управляващи програми за обработване на равнинни повърхнини със САМ системи, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXVI, бр. 3(224), стр. 292-297, юни 2018 г., ISSN1310-3946
9. Николов Ст., Методика за модифициране на генерализирани постпроцесори, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXIII, бр. 9(172), стр. 500-507, юни 2015 г., ISSN 1310-3946
10. Христов, М., Социологически и финансови аспекти на фалита на КТБ – опит за анализ, 14 Международна научна конференция ISME, 19-23 юни 2016, Созопол,
11. Петрова Д., Управление на фирма – мениджмънт и инвестиции, Издателство „ЕКС – ПРЕС” – Габрово 2011, ISBN 978-954-490-249-0, 267 стр..
12. Petrova, D., Analysis of Trends and Opportunities for Technological Development of Bulgarian Enterprises (Анализ на възможностите и тенденциите за технологично развитие на българските предприятия), Proceedings of the International Conference Danube Black Sea, 3E – Energy, Environment & Efficiency, September 18-21, 2013 Galati, Romania, ISBN, pp. 413-417
13. Николова Н., Д. Петрова, Мениджмънт – теория и практики, Част I, Учебник, Издателство Габрово Принт 2015, глави II, III, IV, VII, ISBN 978-954-436-054-2, 172 стр..
14. <https://www.economic.bg/>
15. <https://ikonomika.dokumentite.com/>

### TRENDS IN PLANNED AGING OF INDUSTRIAL PRODUCTS

**D. Damianov, B. Vlahova**

**Abstract:** *Technological development and, more precisely, its consequences, manifested in the form of different types of aging of products and processes, lead to producers' attitude towards searching for ways and means of improving and changing their parameters. The tendency to change the parameters of industrial products and processes as a result of human intervention for their aging, also known as "planned aging", has already formed a new alternative concept for their development. It also puts new requirements both on the consumer nature of industrial products and on the methods, approaches and ways of their production and consumption. . The purpose of this report is to explore this process and to identify the main directions of its alternative and future development. In essence, this means a planned shortening of the effective stages of the life-cycle of industrial products.*

#### Данни за авторите:

Димитър Дамянов, професор доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: damianov@tu-sofia.bg

Беата Пламенова Влахова, инж., катедра „Машиностроителна техника и технологии” при Факултет „МУ”, Технически университет – Габрово, Р. България, Габрово, ул. „Хаджи Димитър” № 4 тел.: 066/827257, e-mail: beata\_mineva@abv.bg



**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 9**

**“САD/САМ/САЕ СИСТЕМИ И  
ВИРТУАЛНО ИНЖЕНЕРСТВО”**



## РЕЛАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ БАЗИ ДАННИ И ЗНАНИЯ ПРИЛАГАНИ В CAD/CAM СИСТЕМИТЕ

И. Атанасов, Д. Атанасова

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани приложението на релационни технологични бази данни и знания в CAD/CAM системите, разработени за автоматизирано технологично проектиране на операции за механична обработка на детайли за машини с ЦПУ.

**Ключови думи:** CAD/CAM системи, автоматизирано технологично проектиране, технологични бази данни и знания.

### 1. Въведение

Автоматизацията на инженерния труд и в частност използването на софтуерни разработки за автоматизирано конструктивно проектиране (CAD системи) и следващият свързан етап - технологичното проектиране (CAM системи) стават все по необходими и нужни за машиностроителното и инструменталното производство, както и приборостроенето с използване на оборудване с ЦПУ. Значителният дял на условно постоянна и променлива информационна среда налага приложението на съвременни подходи за алгоритмизация, свързани с използването на голям брой геометрични и технологични параметри [1].

Един правилен подход е приложението на релационни бази данни, информационно търсещи системи и бази знания при разработването на CAD/CAM софтуер. Базите от данни (DB) може да се разглежда като съвкупност от взаимосвързани данни, организирани и представени по начин, който позволява използването им от различни потребители за удовлетворяване на различни информационни потребности [2].

За CAD средите се прилагат разработени от потребителски фирми 3D модели на стандартизирани (по различни действащи стандарти) и приложни детайли, възли и изделия, съществено съкращаващи времето за конструктивно проектиране. В средата SolidWorks такива са: Design Library, Toolbox, 3D Content Central, SolidWorks Content и др. които могат да се ползват абонаментно или чрез закупуване за определен срок.

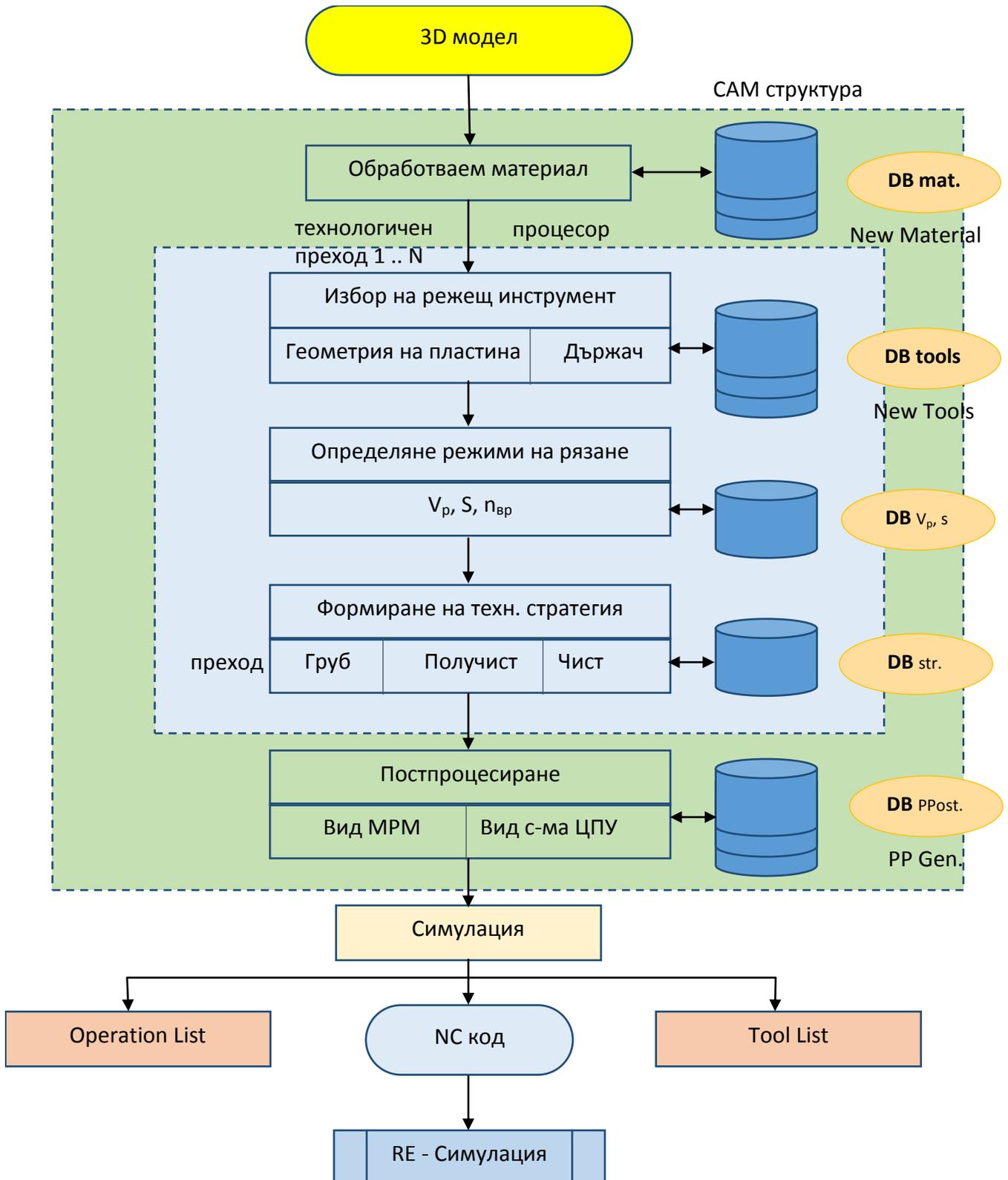
Технологичното проектиране по принцип се отличава с голям дял на субективно присъствие, породено от квалификацията на технолога програмист и състоянието на машинния парк с ЦПУ оборудване в конкретната фирма. Ето защо е нужен строг и закономерен подход, обоснован с хода на технологичната последователност при автоматизираното създаване на управляващи програми за машини с ЦПУ.

### 2. Обобщена блок схема на информационния поток, свързана с приложението на релационни бази данни и информационно търсещи системи в САМ среда

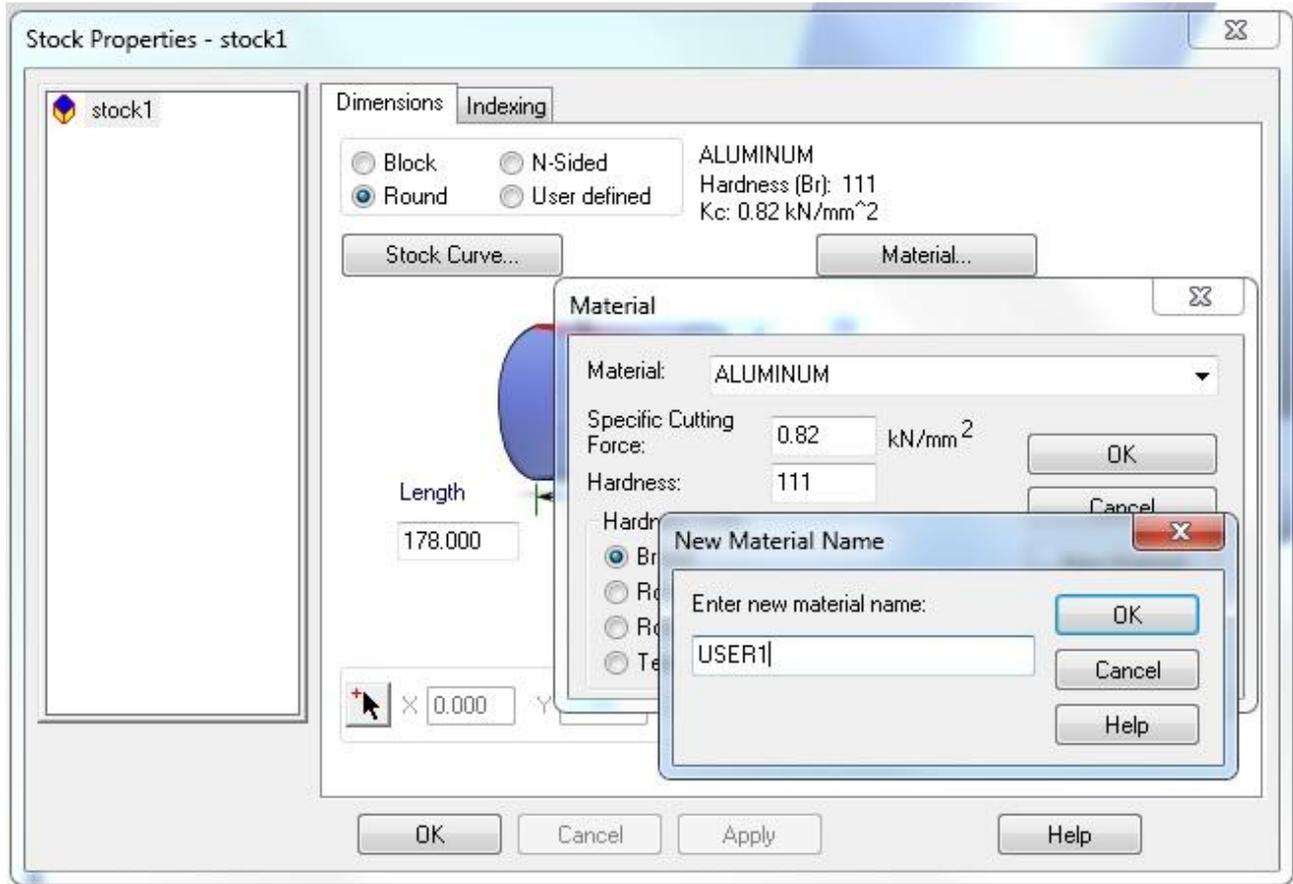
На фиг.1. е показана принципната структура на информационния поток за формирането на технологичната последователност на механична обработка в САМ среда с използване на бази данни.

Тук са въведени следните означения:

- DB<sub>mat</sub> – релационна база данни на обработваеми материали, сортирани по групи (алуминий, бронз, чугун, конструкционна стомана ...), като е предвидена възможност за уточняване на параметрите – специфична сила на рязане  $s_B$  и твърдост HB, HR<sub>C</sub> с генериране на нов материал и включването му в така създаваната потребителска база данни (фиг.2);



Фиг. 1 Обобщена блок схема на информационния поток с приложение на реляционни бази данни в САМ среда



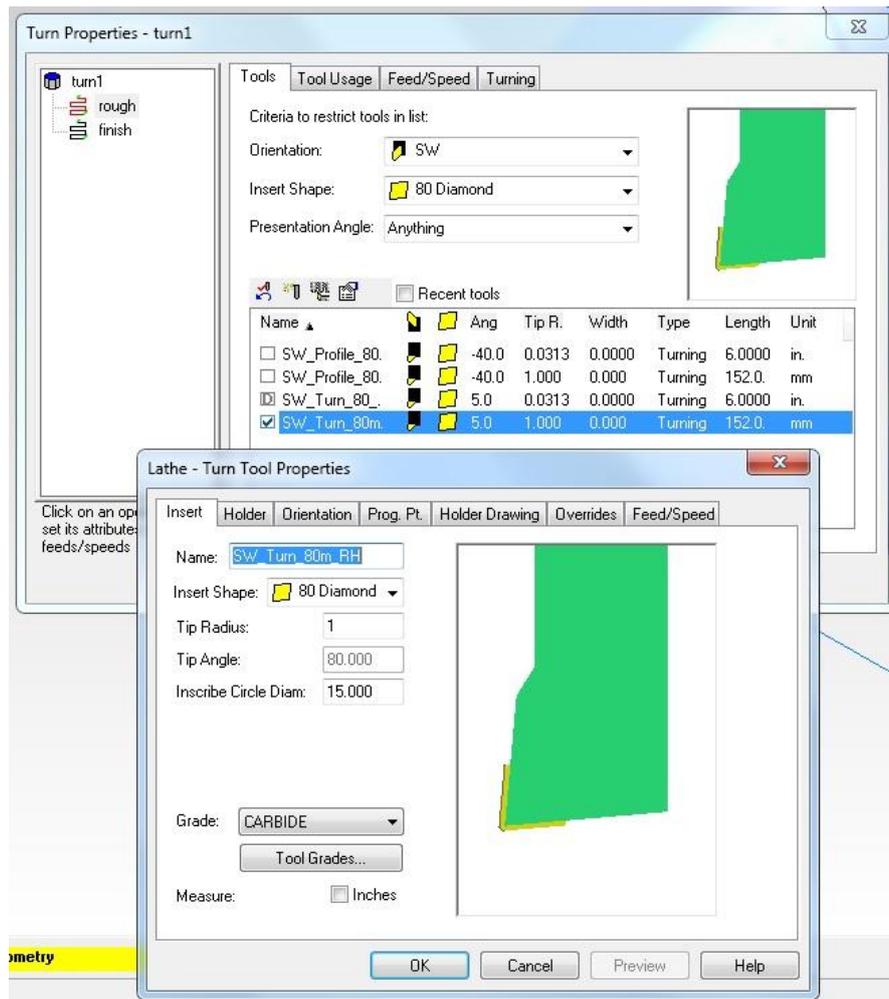
Фиг. 2 Релационна база данни обработваеми материали

- DB<sub>tools</sub> – релационна база знания, изградена на задаване на геометрията на режещата пластина, а от там и автоматизиран избор на вид на държача, според вида на обработваната повърхнина. Много водещи мултинационални компании, производители на металорежещи инструменти като например Sandvik Coromant, ISCAR и др. предлагат на потребителите си електронни справочници и калкулатори в онлайн режим [4], но те са от затворен тип, а има и варианти на вграждане в САМ системи, като съвместни партньорски разработки (фиг.3);

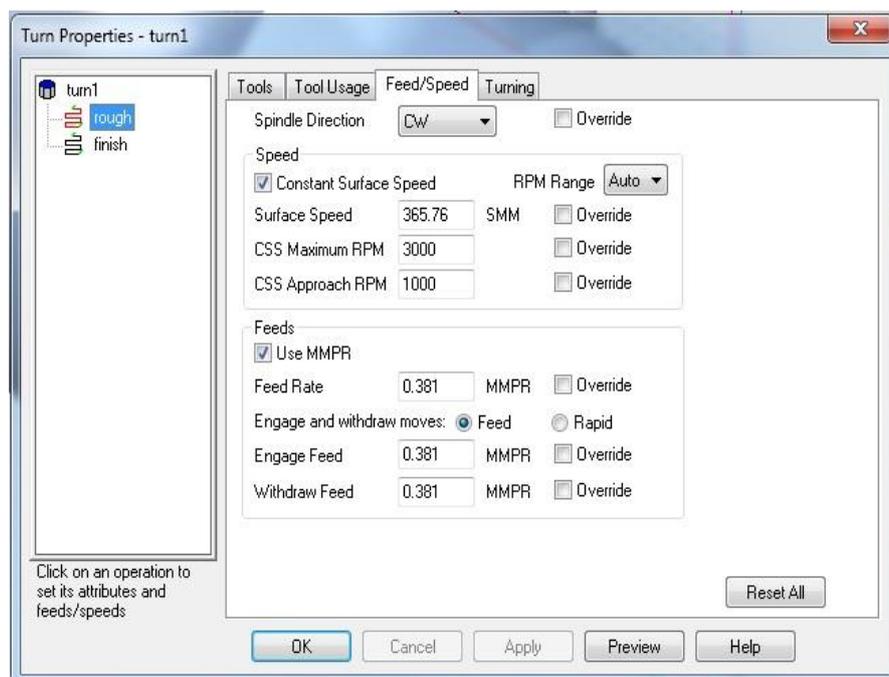
- DB<sub>vp, s</sub> – информационно търсеща система за определяне на оптимални режими на рязане на база на предходните две бази от данни [2], [3], [4]. В много случаи те подлежат на потребителска корекция, в зависимост от текущото състояние на машинния парк с ЦПУ (фиг.4);

- DB<sub>str.</sub> – база знания, изградена на списък с патентно защитени от САМ разработчиците технологични стратегии (начин на движение на инструмента спрямо обработваната повърхнина) с тяхното графично представяне за генериране на груби, получисти, чисти и специализирани преходи при обработването на повърхнините на детайлите (фиг.5);

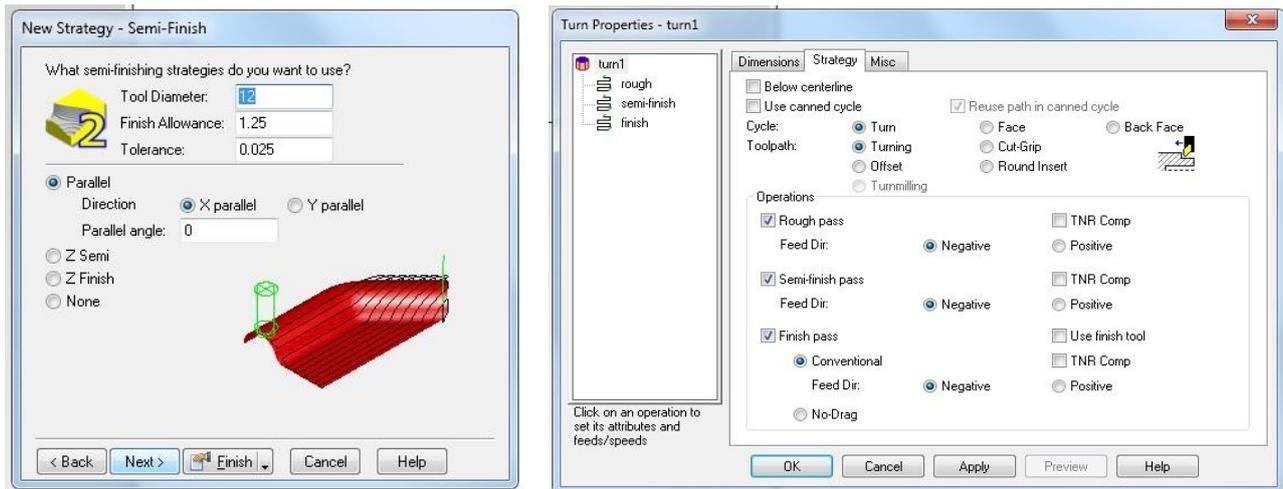
- DB<sub>ppost.</sub> – релационна база данни, изградена на база списък с разработени постпроцесорни структури за различни системи за ЦПУ с възможност за генериране на нова комбинация постпроцесор (вид на металорежещата машина с нейната компоновка и система ЦПУ) за приложение в модулите на САМ разработките са операции струговане / стругофрезование (TURN/MILL), фрезование (MILL – 2.5D, 3D,5D) или нишкова електроерозионна обработка (WIRE – 2D/4D) (фиг.6).



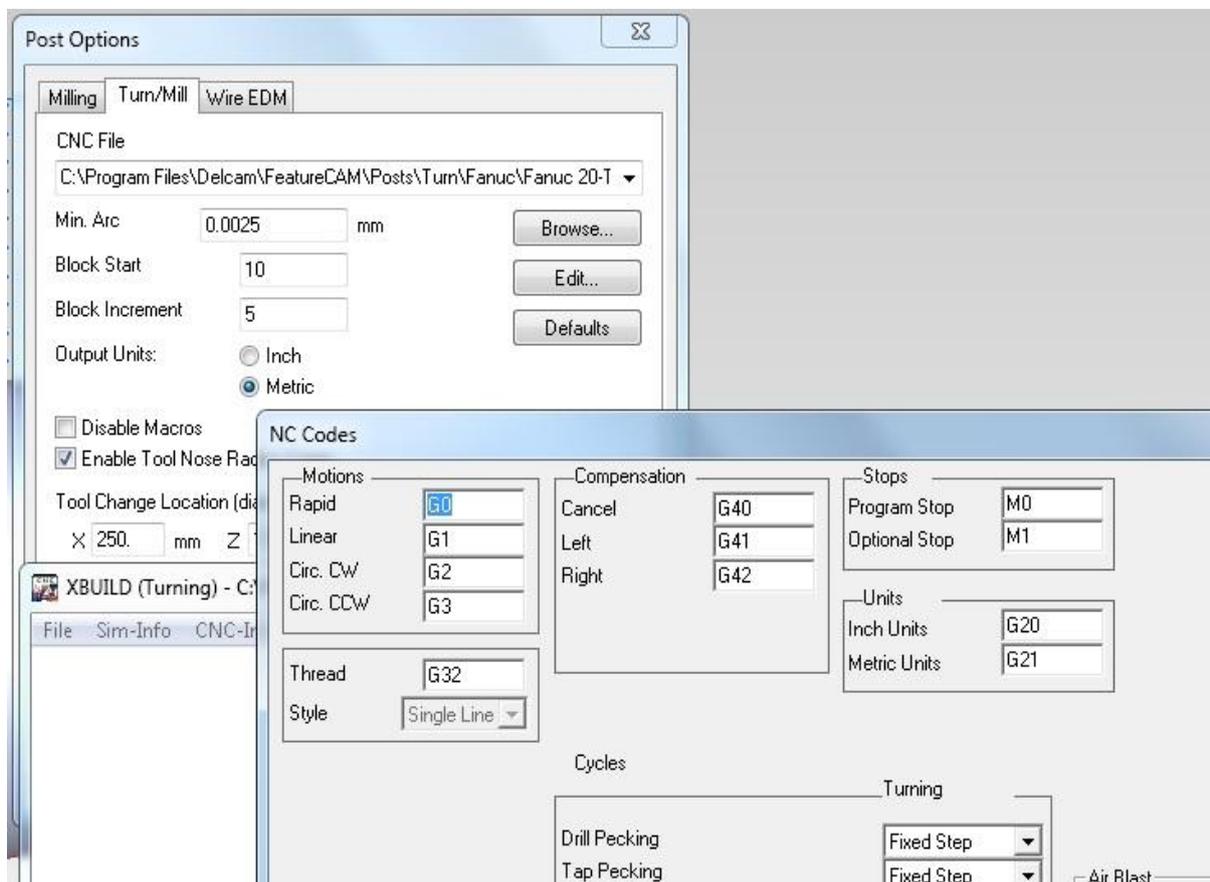
Фиг. 3 Релационна технологична база знания режещи инструменти



Фиг. 4 Информационно търсеща система за определяне на оптимални режими на резане



Фиг. 5 Технологична база знания за определяне на стратегии на обработка



Фиг. 6 Релационна технологична база данни за постпроцесорни структури

За потребителите се предлагат и много други екстри – електронни информационни справочни технологични данни (Dbase N) за *временормиране*, създаване на потребителски макро програми (XBUILD), използване на симулатори от различен тип (фотореалистични, възможност за вътрешно конфигуриране на работната зона на програмираната металорежеща машинна компановка – въртящи маси, супортни структури, многошпинделна обработка и др. Особено характерно е и т.н. *ресимулиране* на така автоматизирано създадената управляваща програма (NC Code) чрез прочитане ред по ред и симулация в графичен режим. Много често това е разработката CIMCO Edit.



### 3. Изводи:

Приложението на технологични реляционни бази от данни и знания са характерна черта при разработването на CAD/CAM системите. Това ги прави гъвкави и лесно адаптиращи се към потребителските условия на работа.

### Литература:

1. McMahon C., Browne J. (1993), CAD/CAM – from principles to practice, Addison-Wesley Pub. Ltd, 508 p.
2. Сикора Е. Оптимизация процессов обработки резанием с применением вычислительных машин (перевод с польского), -М., Машиностроение, 1983. – 232 с.
3. Якобс Г. Ю., Якоб, Д. Кохан, Оптимизация резания, (перевод с немецкого), М., Машиностроение, 1981. – 279 с.
4. Донков Д. Й. Информационно-търсеща система „Режими на рязане при струговане. Методика и структура на базата данни“, Научна конференция с международно участие, „Техника, технологии и системи „Техсис 2009“, Пловдив, 2009.

## RELATIONAL TECHNOLOGY DATA AND KNOWLEDGE BASES APPLIED IN CAD/CAM SYSTEMS

I. Atanasov, D. Atanasova

*Abstract: This article explores the application of relational technology databases and knowledge bases in CAD/CAM systems, developed for automated technological design of mechanical parts manufacturing for CNC machines.*

### Данни за авторите:

Иво Йорданов Атанасов, доцент, д-р, инж., катедра ТММРМ при МТФ, Русенски университет „А. Кънчев“, Р. България, Русе, ул. „Студентска“ № 8, тел.: 082 888 469, e-mail: iatanasov@uni-ruse.bg

Десислава Стоянова Атанасова, доцент, д-р, инж., катедра ИИТ при ФПНО, Русенски университет „А. Кънчев“, Р. България, Русе, ул. „Студентска“ № 8, тел.: 082 888 754, e-mail: datanasova@uni-ruse.bg



## ПРОГРАМЕН МОДУЛ ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА РАБОТНИ УЧАСТЪЦИ НА ПОАНСОНИ

М. Топалова, Р. Петрова, В. Райчев, П. Мъцински

**Резюме:** В настоящата статия са използвани резултатите от извършен анализ на типови поансони за разделителни операции от гледна точка на якостното им оразмеряване и разработената на тази основа методика за автоматизирано проектиране на поансони. В предлаганата разработка методиката е приложена за създаване на програмен модул за автоматизирано оразмеряване на работния участък на поансони. Програмният модул е реализиран в средата на Embarcadero C++ Builder за работа в MS Windows операционна система.

**Ключови думи:** щанцоване, щанци, поансони, конструктивна оптимизация, CAD/CAE.

### 1. Въведение

В традиционното проектиране якостното оразмеряване на поансони се извършва по известните от съпротивление на материалите зависимости и в повечето случаи не е обвързано с оптимизиране на тяхната конструкция. Автоматизираното проектиране създава условия оразмеряването на поансоните да се обвърже с конструктивното им оптимизиране.

Преобладаващата част от съвременните CAD/CAE системи разполагат с програмни модули за конструктивна оптимизация, основаващи се на анализ на получените напрежения, деформации и премествания, чрез решаване на тримерни крайно-елементни модели. Решаването на оптимизационни задачи по метода на крайните елементи не позволява целевата функция да се дефинира в явен вид, поради което най-често оптимизацията се извършва итеративно чрез въвеждане на различни комбинации от входни данни. В неявен вид се извършват и всички изчислителни процедури, отнасящи се до определяне на отговорни конструктивни параметри.

Практиката показва, че подготовката на студентите за проектиране в CAD/CAE среда не е пълноценна без осмисляне на основните етапи и изчислителни процедури на конструктивното оразмеряване. За целта е подходящо процесът на конструктивна оптимизация да протича интерактивно, а решаваните оразмерителните задачи с учебна цел да бъдат в явен вид.

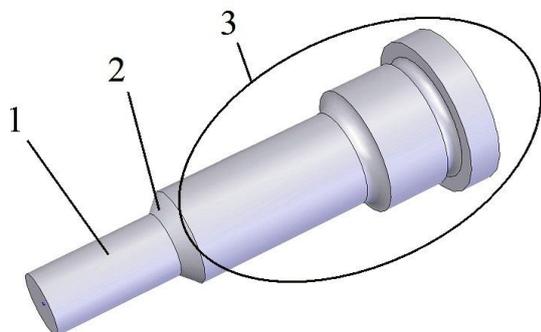
### 2. Якостно оразмеряване на поансони

Съгласно [2, 3] оразмерителният процес при проектиране на поансони включва: якостно изчисляване на натиск в най-малкото сечение, якостно изчисляване на смачкване по опорната повърхнина и проверка на изкълчване в зависимост от схемата на закрепване и водене.

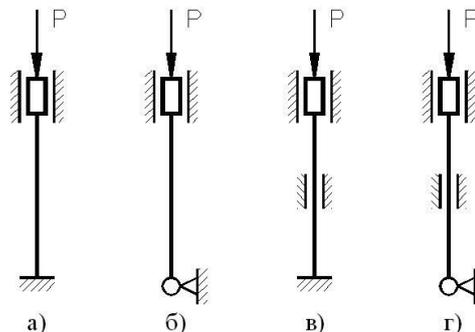
Създадена е методика за автоматизирано проектиране на поансони, която предвижда оразмеряването им да се осъществява по типови участъци (фиг. 1). Предмет на тази разработка са якостното оразмеряване и проверката на устойчивост на работния участък на поансони. На оптимизация подлежат дължината на работния участък, дебелината на водещата плоча и нейното разположение. Оптимизацията на дължината на работния участък се основава на проверката за устойчивост, като входните данни се определят от технологични изисквания.

Якостната проверка за загуба на устойчивост се извършва по еквивалентни модели, отразяващи начина на закрепване и водене на поансона [5]. Връзката работен участък – преходен участък се моделира като статична схема със запъваща опора.

В зависимост от профила по челото на работния участък връзката поансон – заготовка може да се моделира като запъване (фиг. 2 а) или става (фиг. 2 б). Когато проверката за загуба на устойчивост не е удовлетворена еквивалентният изчислителен модел на поансона се променя, като се предвижда допълнително водене на поансона (фиг. 2 в, г).



**Фиг. 1** Характерни участъци на типов поансон  
1 – работен участък; 2 – преходен участък;  
3 – съединителен участък;



**Фиг. 2** Еквивалентни модели за проверка за загуба на устойчивост

Оразмеряването на работния участък на поансони се характеризира със следните основни етапи:

- Избор на типов работен участък;
- Избор на статична схема на закрепване и водене;
- Дефиниране на напречното сечение на работния участък;
- Определяне на силата на щанцоване и критичната сила;
- Определяне на максималното отклонение от недеформираната ос;
- Определяне на максималното напрежение на огъване с отчитане на деформираната от натиска ос.

### 3. Програмен модул за оразмеряване

Програмният модул е създаден за нуждите на учебния процес на специалност „Компютърни технологии в машиностроенето“ в Инженерно-педагогически факултет – Сливен на Технически университет – София. Разработен е в средата на Embarcadero C++ Builder за работа в MS Windows операционна система.

Програмният модул е проектиран с опростен потребителски интерфейс. Възприето е интерактивният диалог да се осъществява чрез смяна на работни полета за въвеждане на данни и извеждане на резултати в рамките на един потребителски прозорец. Създадена е възможност работната среда да води потребителя, като преход към следващ етап се осъществява непосредствено след въвеждане на необходимите входни данни. Изчислителните процедури са представени параметрично в явен вид с получените от предходни изчисления данни.

Отделните работни екрани следват възприетите в методиката основни етапи за оразмеряване на работния участък на поансони, а именно:

#### I. Избор на типов работен участък (фиг. 3)

Работният участък на поансони е типизиран в зависимост от вида на образуващата на профила в надлъжно сечение [4]. Предмет на разработката са работни участъци на поансони за пробиване и изрязване с образуваща на профила успоредна на оста на центъра на налягане.

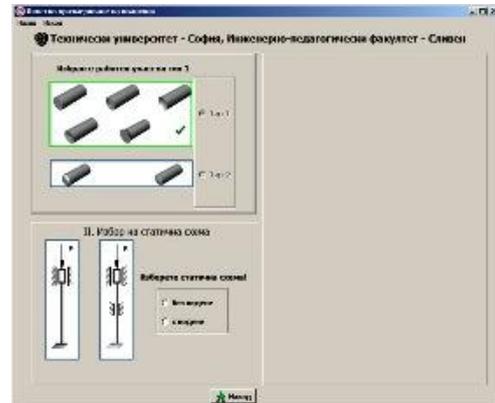
#### II. Избор на статична схема на закрепване и водене (фиг. 4)

Изборът на типов работен участък е обвързан с определяне на типа на статичната схема на закрепване и водене. За работните участъци „тип 1“ статичната схема е запъваща опора, а

за работните участъци „тип 2“ – ставна опора. В общия случай се избира статична схема без водене. Статичната схема с водене се прилага при неудовлетворена проверка за загуба на устойчивост.



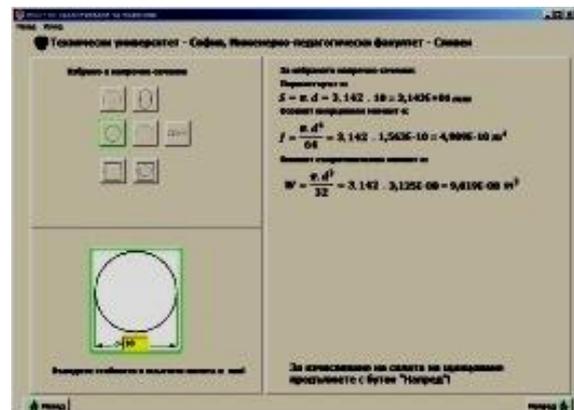
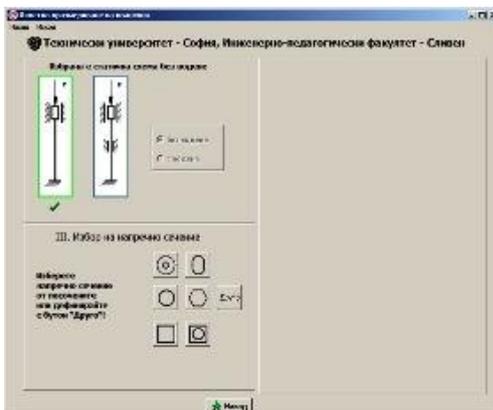
Фиг. 3 Екран за избор на типов работен участък



Фиг. 4 Екран за избор на статична схема на закрепване и водене

### III. Дефиниране на напречното сечение на работния участък (фиг. 5)

Напречното сечение на работния участък се дефинира чрез избиране на бутон със съответстваща геометрия и въвеждане на числени стойности за описващите я параметри. Тези входни данни се използват за изчисляване на периметъра на напречното сечение, осовия инерционен момент и осовия съпротивителен момент. В програмния модул са включени най-често срещаните в практиката аналитично описваеми сечения на работни участъци. Бутонът „Други“ позволява въвеждане на входни данни за напречни сечения с разнообразна геометрия.



Фиг. 5 Екрани за дефиниране на напречното сечение на работния участък

### IV. Определяне на силата на щанцоване и критичната сила (фиг. 6)

Силата на щанцоване се изчислява по известната [1, 2, 3] формула, а стойностите за дебелина на материала и съпротивление на срязване се избират от справочната литература.

Критичната сила се изчислява по съответните за избраната статична схема зависимости. Дължината на работния участък ( $l$ ) се избира от ред от дължини, включващ стойности в интервала  $2,5t \leq l \leq 100 \text{ mm}$ , където  $t$  е дебелината на материала.

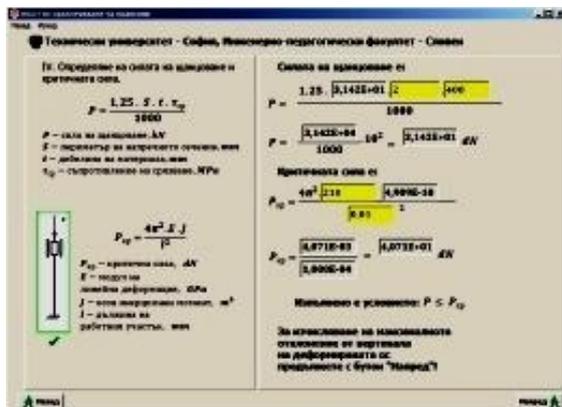
При сравняване на стойностите на двете сили има възможност за оптимизиране на дължината на работния участък, а при статичните схеми с водене и на разположението на водещата плоча. Ако силовото условие е спазено се преминава към следващите проверочни

процедуре. Ако условието не е спазено стойността на  $l$  се намалява. При невъзможност за удовлетворяване на условието и след промяна на дължината, се преминава към промяна на схемата на водене.

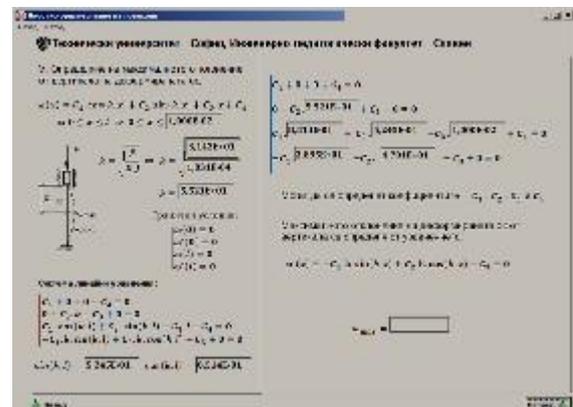
V. Определяне на максималното отклонение от вертикала на деформираната ос (фиг. 7)

За определяне на максималното отклонение на деформираната ос са разработени математически оптимизационни модели за всяка от статичните схеми на закрепване и водене. Те се основават на известни зависимости между уравнението на еластичната линия на натиснат прът и функцията на огъващите моменти във всяка от двете главни централни инерционни равнини на поансона. Интеграционните константи в уравненията на деформирана ос се определят от граничните условия за всеки от проверяваните участъци.

На фиг. 7 са показани уравнението на еластичната линия и съответните гранични условия за статичната схема от фиг. 2а. Изчислява се максимумът на функцията  $\omega(x)$  за интервала  $0 \leq x \leq l$ .



Фиг. 6 Екран за определяне на силата на щанцоване и критичната сила



Фиг. 7 Екран за определяне на макси-малното отклонение от вертикала на деформираната ос

VI. Определяне на максималното напрежение на огъване с отчитане на деформираната от натиска ос

Функцията на огъващия момент за всеки работен участък се определя чрез диференциране на уравнението на еластичната линия. Напреженията на огъване се изчисляват по известни от съпротивление на материалите формули и се суперпонираат с напреженията от натиск. Резултатните напрежения се сравняват с допустимите. При изпълнено якостно условие се приема, че работният участък е оразмерен оптимално. В противен случай се пристъпва към промяна на  $l$  в допустимия съгласно технологичните изисквания интервал. Изчислител-ният цикъл включва точки V и VI от описания алгоритъм. Ако изменението на  $l$  не доведе до намаляване на стойностите на напреженията от огъване се преминава към избор на друга схема на водене и алгоритъмът се повтаря от т. IV.

#### 4. Изводи:

- Разработеният програмен модул създава среда за автоматизирано оразмеряване и конструктивно оптимизиране на работния участък на поансони в интерактивен режим.
- Софтуерното приложение има отворена структура, а логическите връзки в потребителския интерфейс позволяват гъвкаво добавяне и усъвършенстване на работните екрани.



- Внедряването му в учебния процес е предпоставка за осмисляне от студентите на основните етапи и изчислителни процедури на конструктивното оразмеряване на поансони.

### Литература:

1. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. Издательство „Машиностроение“, Москва, 1969.
2. Попов Г., М. Кръстев, Е. Пенева, М. Иванов, В. Гагов. Проектиране на шанцови инструменти. Русе, Печатна база при ВТУ „А. Кънчев“, 1988.
3. Томов Б. Технология и инструменти за шанцоване. Русе, ВТУ „А. Кънчев“, 1985.
4. Топалова М., В. Райчев, М. Милев. Подход за 3D моделиране на активни елементи на шанци за разделителни операции, XVI национална НТК с международно участие „АДП 2007“, октомври 2007, Семково. // Научни известия на НТК по машиностроене, год. XIV, бр. 4/99 с. 272-277, ISSN 1310-3946.
5. Petrova R., M. Topalova, V. Raychev. Stress dimensioning of type punches for dividing operations. The 2<sup>nd</sup> International Conference „Computational Mechanics and Virtual Engineering“ COMEC 2007, 11-23 October 2007, Brasov, Romania.

### Благодарности:

Представената работа е частично финансирана от НИС на Технически университет – София по договор №979 НИ-16/2007 г.

## PROGRAMME MODULUS FOR DIMENSIONING OF WORKING PART OF PUNCHES

**M. Topalova, R. Petrova, V. Raychev, P. Matsinski**

***Abstract:** Methodology for automated design of punches, based on previously obtained results of an analysis of typified punches for die-stamping regarding their stress dimensioning, is used in this article. The methodology is applied for developing a program modulus for automated dimensioning of working part of punches. In the environment of Embarcadero C<sup>++</sup> Builder worked in MS Windows operating system, program modulus is created.*

### Данни за авторите:

Михаела Димитрова Топалова, доцент доктор инж., катедра „ММТ” при ИПФ – Сливен, Технически Университет – София, Р. България, Сливен, бул. “Бургаско шосе” № 59, тел.: 0443 667370, e-mail: m\_topalova@tu-sofia.bg

Радостина Василева Петрова, доцент доктор инж., „ММТ” при ИПФ – Сливен, Технически Университет – София, Р. България, Сливен, бул. “Бургаско шосе” № 59, e-mail: rpetrova123@abv.bg

Веселин Райчев Райчев, гл. асистент инж., катедра „ММТ” при ИПФ – Сливен, Технически Университет – София, Р. България, Сливен, бул. “Бургаско шосе” № 59, e-mail: verauchev@yahoo.com

Пламен Георгиев Мъцински, маг. инж., ИПФ – Сливен, Технически Университет – София, Р. България, Сливен, бул. “Бургаско шосе” № 59, e-mail: matzinskipl@tu-sofia.bg



# ПОЛУЧАВАНЕ НА УНИФИЦИРАН ТЕХНОЛОГИЧЕН ВЪЗЕЛ ЧРЕЗ CAD/CAM АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА

Ц. Найденов, М. Дочев

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани възможностите и предимствата при използването на CAD/CAM автоматизирана система в условията на едросерийно производство при конструирането на нови и модифициране на съществуващи изделия, както и при проектиране на технологии за тяхната изработка. Представен е конкретен пример за проектиране на унифициран възел - ключалка за куфар за електроинструмент. Разработката е внедрена в „Спарки“-ЕАД-Ловеч.

**Ключови думи:** CAD/CAM система, ръчен електроинструмент.

## 1. Въведение

Проектирането е сложен вид творческа дейност, в която са съчетани науката, математиката, интуицията и изкуството. Главната трудност на проектирането се състои в това, че проектантът е длъжен да прогнозира бъдещото състояние на обекта на проектирането въз основа на известни до този момент данни. В процеса на проектиране той трябва нагледно да изобрази нещо, което все още предметно не съществува, а е само продукт на умствената дейност. Това е типична творческа инженерна задача в техниката. В процеса на проектирането трябва да се отчитат редица фактори, включително социални, научно – технически, производствени, икономически и др. Процесът на проектирането е пряко свързан с науката и производството.

Интензивното развитие на промишленото производство и все по – голямата конкуренция е свързано с бързата смяна на произвежданите изделия, предизвикана от динамиката на пазара. Това увеличава нуждите от висококвалифициран инженерен труд при конструиране на нови и модифициране на съществуващите изделия и при проектиране на технологии за тяхната изработка. Конкуренцията на пазара изисква възможно най – кратки срокове на проектиране, внедряване и производство при малки производствени разходи. Едновременно с това нараства сложността на произвежданите изделия – резултат от техническият прогрес.

Всичко това води до значително увеличаване на обема от информацията, която трябва за кратки срокове да се обработва в конструктивните и технологичните отдели. А от друга страна, от качеството на конструктивната и технологичната дейност зависят в значителна степен техническото, икономическото и естетическото равнище на изделията.

Автоматизацията на проектирането не означава, че в проектантската дейност се прокарва ясна граница между автоматизираното и не автоматизираното проектиране. Тя се мени заедно с изменение и разширяване на човешките знания и с развитие на изчислителната техника и програмното осигуряване.

Най – добрата форма на организация на автоматизираното проектиране са системите за автоматизирано проектиране и производство, наричани CAD/CAM ( Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing).

Могат да се разграничат следните основни направления за автоматизация на проектирането в машиностроенето:

- Автоматизация на проектирането на обекти за производство;
- Автоматизация на проектирането на технологични процеси;
- Автоматизация на проектирането на технологична екипировка;



- Моделиране и изследване на производствени системи;
- Автоматизация на нормативните пресмятания;
- Автоматизация на техникo – икономическите пресмятания;
- Автоматизация на обработката на данни;
- Автоматизация на проектирането на участъци, цехове и заводи;
- Изграждане на системи за автоматизирано проектиране и компютърно – интегрирани системи.

Проектирането на обекти за производството се свежда до проектирането на отделни елементи, възли, устройства, машини, специални съоръжения, средства за механизация и автоматизация на производството и др. Общо условие за всички посочени обекти е необходимостта от пресмятане на конструктивните параметри, изобразяване на конструкциите във вид на чертежи и друга техническа документация в съответствие с изискванията на стандартите.

Автоматизацията на проектирането на обекти включва следните типове задачи: автоматизация на пресмятанията (включително моделиране, оптимизация и избор на решение); автоматизация на изчертаването (системи за автоматизация на проектно – конструкторската дейност). Най – много разработки има в първото направление, по – малко във второто (проектиране на технологичните процеси) и най – малко в третото направление (проектиране на технологичната екипировка) [1].

Независимо от етапите на проектиране, важна и съществена част при разработването на даден детайл или сглобена единица се свежда до правилния подход на водещия конструктор. Който е в състояние да намали времето за внедряване на изделието чрез симулации и база знания основаващ се на неговия опит.

В настоящата публикация се обръща повече внимание на някои ключови подробности относно проектирането на модел за закопчалка от листов материал за пластмасов куфар използван за опаковане на готови изделия (електроинструменти и др.) и по – малко внимание относно технологичните процеси свързани с изработването на самия детайл и съответно сглобената единица и изследване на нейната функционалност.

## **2. Конструктивно - технологични особености при изработване на планка от листов материал**

Детайли и конструкции, изпълнени от листов материал с постоянна дебелина, получават още по – широко разпространение благодарение на прилагането високопроизводителни и високоточностни начини на отрязване и огъване. Те са удобни за изпълнение, както при индивидуалното производство на големи по размер нетипови съоръжения, така и при серийното производство.

Съществуват няколко термина, на които трябва да бъде обърнато внимание относно разглеждания модел [2]:

- Нулева линия (Neutral Axis) – теоретична линия, по продължение на която материалът не претърпява линейни изменения – нито разтягане, нито свиване при огъването. Тази линия се намира обикновено на разстояние 0,44 от дебелината на листа, мерено спрямо вътрешната повърхност на огъвката.
- К-Factor – използва се за означение на теоретичното разположение на нулевата линия.
- Прибавка за огъване – дължина на материала по продължение на нулевата линия.
- Радиус на огъване – големината на вътрешния радиус на огъвката.
- Подрязване – допълнителни изрязвания в местата, където е извършено огъване на материала (не по цялата дължина на ръба) с оглед да се предпази материала от разкъсване и да се намали концентрацията на напрежения в такива места.



- Минимален остатък.

Независимо от автоматизираните системи за конструиране е необходимо да се създаде чертеж на детайла, като оразмеряването на планката и съответно въвеждането на основните атрибути , като линейни и ъглови размери, (радиус, диаметър, сфера, квадрат, наклон, конусност с гранични отклонения, допуски на разположението на повърхнините (успоредност; перпендикулярност; наклон; съосност; симетричност; пресичане на оси; позиционен допуск ),

Видове допуски на формата (равнинност; праволинейност; изпъкналост / вдлъбнатост; кръглост; ръбоватост / овалност; цилиндричност; конусообразност / седлообразност / бъчвообразност / огънатост; на надлъжния профил), сумарни допуски на разположението и формата, грапавост на повърхнините, материал, технически изисквания и др.

Чрез техническите изисквания във вид на текст над основния надпис на детайлния чертеж се записват данни, които не могат да се нанесат с графични знаци до изображението. Текстовите данни трябва да бъдат кратки, но ясни изречения. В текстовата част на чертежа се препоръчва групиране на близките по своя характер изисквания [3] :

- Изисквания спрямо материала, заготовката и термичната обработка ( със нанесени съответни гранични отклонения ). Указания за допустими заменящи материали.
- Изисквания спрямо размерите и отклоненията на размерите, формата, взаимното положение на повърхнините, масата и др.
- Изисквания спрямо качеството на повърхнините, за изработката им и др.
- Методи за изпитване.
- Указания за маркировка и щемпелуване.
- Правила за съхранение и транспортиране. При представената планка от листов материал може да се допусне съществен пропуск от страна на конструктора и в технически изисквания да пропусне, да запише, че е необходимо при проектирането на щанцата да се предвиди място за сменяем поансон , чрез който би могло на една и съща планка да се маркират различни надписи в случая различни имена и /или лого на фирми.

Матрицата може да се изработи и без сменяем поансон, но когато е необходимо да се смени надписа ще е необходимо време и допълнителни средства от страна на фирмата производител на планки. По този начин се подсигурява по – голяма гъвкавост на фирмата и нейната конкурентност се повишава.

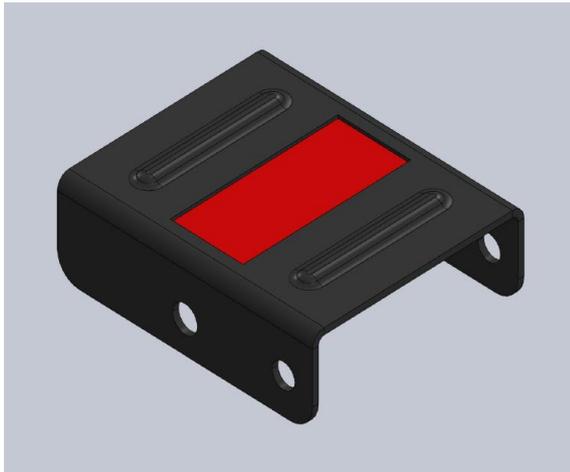
### **3. Изследвания на образци**

На представените образци фиг. 1, образец №1 е показано мястото, което се предвижда да бъде покрито от сменящия се поансон.

Размерите могат да бъдат съобразени с големината на полезната площ на планката на която е допустимо и естетически добре да се шампова надпис без да се разкъсва материала.

На фиг. 2 , образец №2 е показан надписа който може да бъде заменен с друг подходящ надпис или/и лого.

На фиг. 3 , образец №3 е показано закопчалка комплект и фиг. 4 , образец №4 е показана скица на закопчалка комплек, като идеен проект.



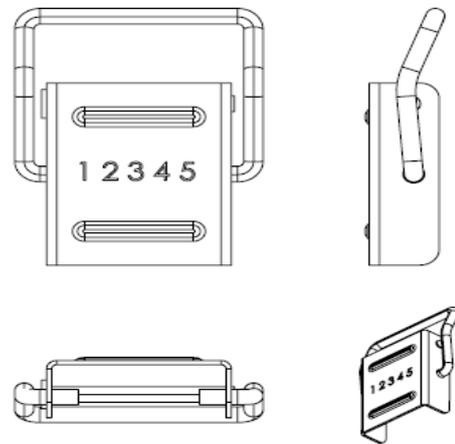
Фиг. 1 Образец №1



Фиг. 2 Образец №2



Фиг. 3 Образец №3



Фиг. 4 Образец №4

**Резултати:** Проектираната планка за закопчалка и закопчалка комплект са функционални, надписа е приложим за изработване и прототипиране преди да се изработи самата щанца.

#### 4. Изводи:

- Изследването показва нагледно едно предимство при проектиране на детайли от листов материал, че независимо от базовите знания и натрупан опит при проектиране и конструиране, е възможно да не се съобрази изделието с динамиката на пазара, което да доведе до допълнителни разходи и загуба на време от страна на фирмата, в частност от разработващия екип.
- Текстовото изречение може да се оформи по следния смисъл „В ИЕ да бъде предвиден сменяем поансон за надпис с р-ри 25x14 мм“
- Текстовата част в един чертеж е от значение, независимо, че понякога не се обръща съществено внимание на него.

#### Литература:

1. Годоров Н., Чакърски Д., Автоматизация на проектирането в машиностроенето, издателство Техника, София, 1994.
2. Григоров Б., Autodesk Inventor 2012 Ръководство за работа, ТУ – София, 2016.



3. Сандалски Б., Златанова Е., Панайтова К., Техническо чертане , издателство Техника, София, 1989.

**OBTAINING UNIFIED TECHNOLOGY EQUIPMENT WITH CAD / CAM  
AUTOMATIZED SYSTEM**

**C. Naidenov, M. Dochev**

***Abstract:** This article explores the possibilities and advantages of using CAD / CAM automated system under the conditions of large-scale production in the construction of new and modification of existing products as well as in the design of technologies for their manufacture. Here is a specific example of designing a unified node - tool lock case. The development was implemented in "Sparky" -EAD-Lovech.*

**Данни за авторите:**

Цветан Христофоров Найденов, ас. инж., катедра „МКСЕ” при ТК-Ловеч, Р. България, Ловеч, ул. “С. Съев” № 31, тел.: 0895348657, e-mail: [cvetannaidenov@abv.bg](mailto:cvetannaidenov@abv.bg)

Милко Ганчев Дочев, гл. ас. д-р инж., катедра „МКСЕ” при ТК-Ловеч, Р. България, Ловеч, ул. “С. Съев” № 31, тел.: 0887284990, e-mail: [dochev@mail.bg](mailto:dochev@mail.bg)



## МОДЕЛИРАНЕ НА ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ

И. Абулибде, П. Петкова

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани особеностите на моделирането на летателен апарат с помощта на симулационната програма XFLR5. Проектирането на летателния апарат е извършено чрез въвеждането на реални стойности на различните параметри на самолета. В резултат на анализа са показани силите и моментите, действащи на аеродинамичния профил.

**Ключови думи:** летателен апарат, устойчивост, XFLR5, анализ, моделиране

### 1. Въведение

Виртуалното конструиране позволява предварителното тестване на всички характеристики на самолета. Чрез виртуалното проектиране може да се пресъздадат якостните параметри на силовата установка, както и аеродинамичните сили и моменти, влияещи върху движението на летателния апарат. Симулацията позволява въвеждане на условията на околната среда. На базата на това виртуално проектиране могат да се конструират реални летателни апарати.

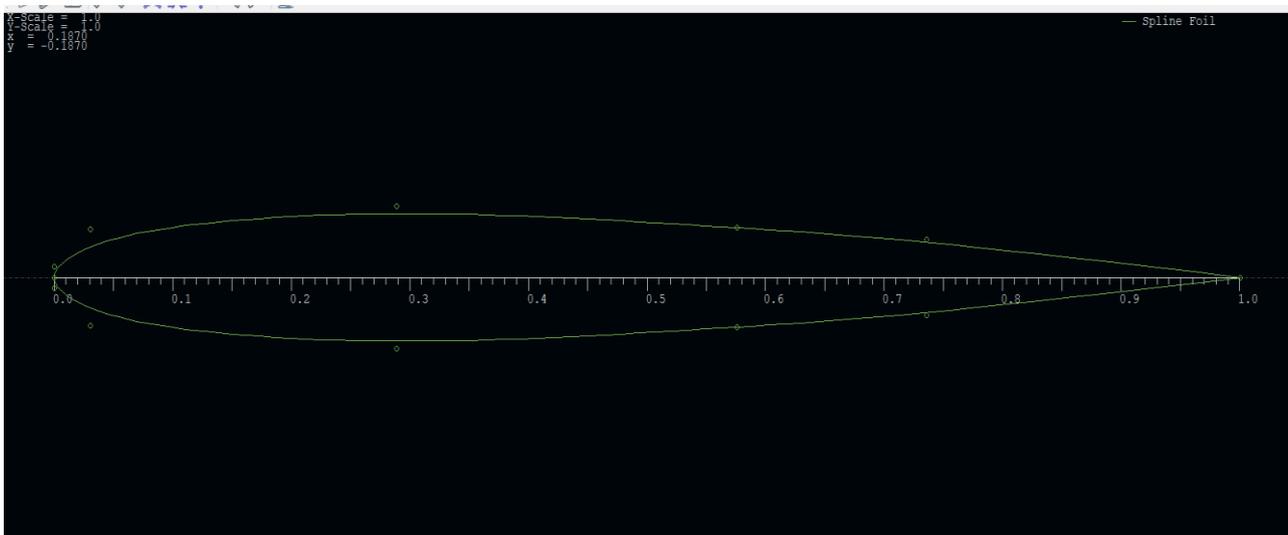
### 2. Проектиране на летателния апарат

За проектирането на летателния апарат е използвана програмата XFLR5, която дава възможност за изследване на поведението на летателния апарат при различни параметри. Моделирането се извършва, като последователно се създават отделните елементи на самолета.

Създаването на крилото е първата стъпка в проектирането. Задават се броят на крилата, дължината, ширината, формата и ъгълът на поставяне на крилото към тялото.

На фиг. 2 е показано създаденото крило заедно с хоризонталния и вертикалния стабилизатор, като се задават площта, ъгълът на отклонение на кормилата, средната хорда на стабилизаторите.

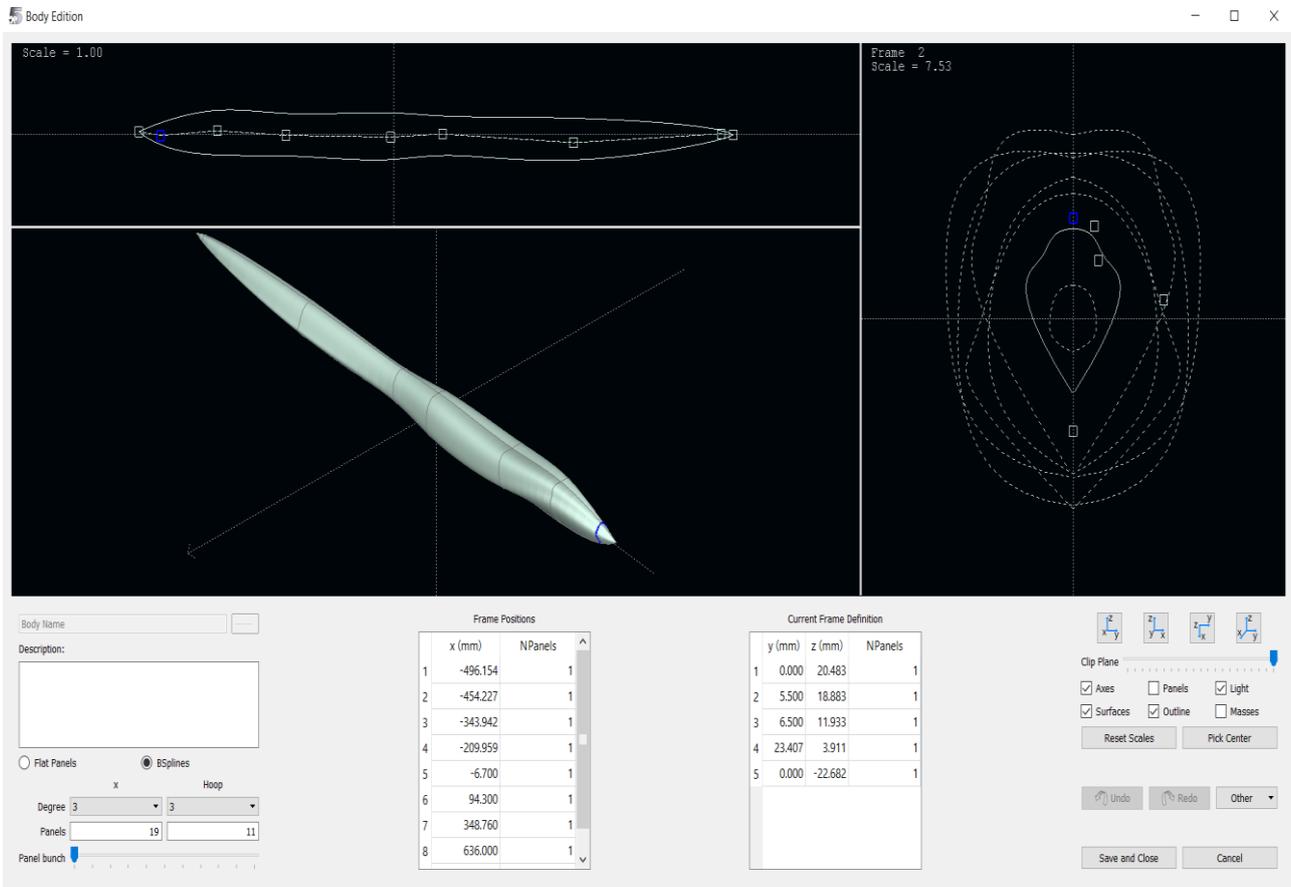
Програмата предлага свободно въвеждане на параметрите на тялото, броят на шпангоутите и други характеристики на конструкцията на тялото.



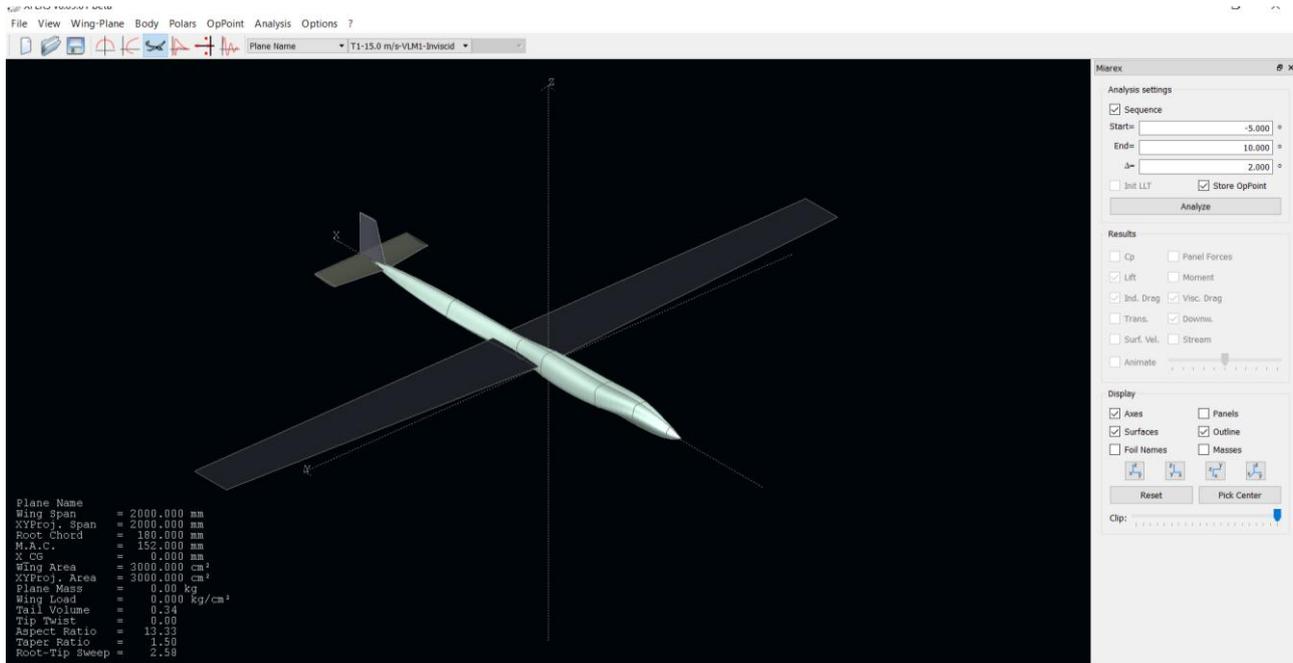
Фиг. 1 – Моделиране на крило



Фиг. 2 – Проектиране на крило, хоризонтално и вертикално кормило



Фиг. 3 – Моделиране на тялото на летателния апарат

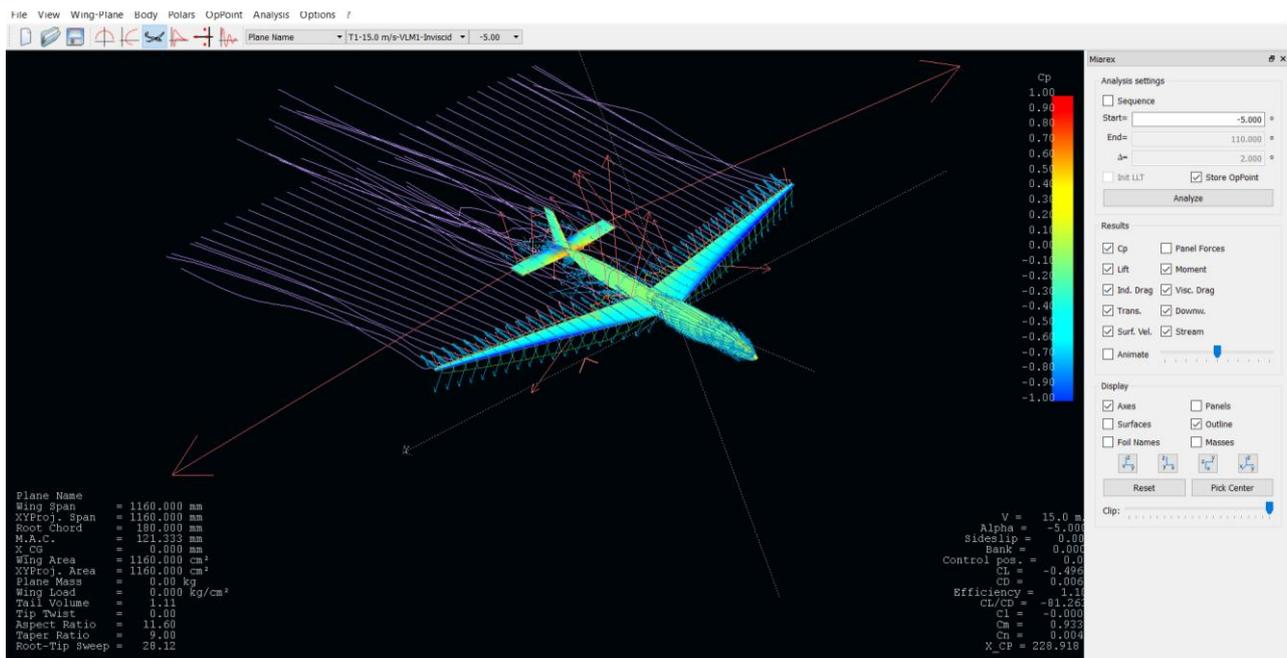


Фиг. 4 – Сглобяване на моделираните части на летателния апарат

### 3. Основен анализ на моделирания летателен апарат

Програмата XFLR5 предлага цялостен анализ на устойчивостта на летателния апарат, като изследва:

- Подемната сила
- Аеродинамичен фокус ( $C_p$ )
- Индуктивно челно съпротивление
- Аеродинамични моменти
- Съпротивление от триене
- Обтичането от въздушния поток



Фиг. 5 – Цялостен анализ на летателния апарат



Получени са векторите на подемна сила, челно съпротивление, силата на тежестта и теглителната сила. Получени са данни за силата и посоката на аеродинамичните моменти.

#### 4. Изводи:

- Получени са аеродинамичните сили и моменти, действащи на самолета
- Анализът на данните показва възможност за реализиране на летателния апарат в реални условия
- Моделът на летателния апарат позволява предварително тестване в имитиращи реални условия

#### Литература:

1. М. Камбушев, С. Билидеров, Изследване в надлъжния канал на мини безпилотен летателен апарат тип лелящо крило, XXVI МНТК „АДП-2017”, гр. Созопол
2. Guidelines for QFLR5 v0.03 October 2009
3. A. Deperrois: About performance and stability analysis using XFLR5 (<https://www.scribd.com/doc/101229735/XFLR5-and-Stability-Analysis>)

## MODULATION OF AIRCRAFTS

I. Abulibde, P. Petkova

***Abstract:** This paper features some specifics of modulation of aircrafts with the help of simulation program XFLR5. The design of the aircraft is made by entering a real values of the parameters of the airplane. As a result of the analysis are shown the forces and moments, occurring on the aerodynamic profile.*

#### Данни за авторите:

Илиян Аднан Абулибде, курсант старши сержант във факултет „Авиационен“, НВУ „Васил Левски“ – гр. Долна Митрополия, Р. България, област Плевен, ул. „Кирил и Методий“ 1, тел: 0882627444, e-mail: [iliyanananan@gmail.com](mailto:iliyanananan@gmail.com)

Полина Александрова Петкова, курсант старши сержант във факултет „Авиационен“, НВУ „Васил Левски“ – гр. Долна Митрополия, Р. България, област Плевен, ул. „Кирил и Методий“ 1, тел: 0883555797, e-mail: [polipetkova66@gmail.com](mailto:polipetkova66@gmail.com)



# АВТОМАТИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПРОЕКТИРАНЕ НА ПРИНЦИПНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СХЕМИ И ПЕЧАТНИ ПЛАТКИ ЗА ЕЛЕКТРОННИ УСТРОЙСТВА С САD СИСТЕМИ

Г. Станчев, Д. Георгиева

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани възможностите за автоматизиране на процеса на проектиране на електронни устройства с САD системи. Систематизирани са основните етапи при проектиране, анализирани са възможностите за използване на различни библиотеки и документиране на изделието, предаване на данни между отделни САD системи и машини за производство.

**Ключови думи:** процес на проектиране, САD системи, документиран.

## 1. Въведение

Проектирането на принципни електрически схеми и печатни платки за електронни устройства изисква специфични знания и умения в много области едновременно – електроника, програмиране, машинно инженерство, познаване в детайли на различни САD системи и др.

## 2. Основни етапи при проектиране на електронни устройства

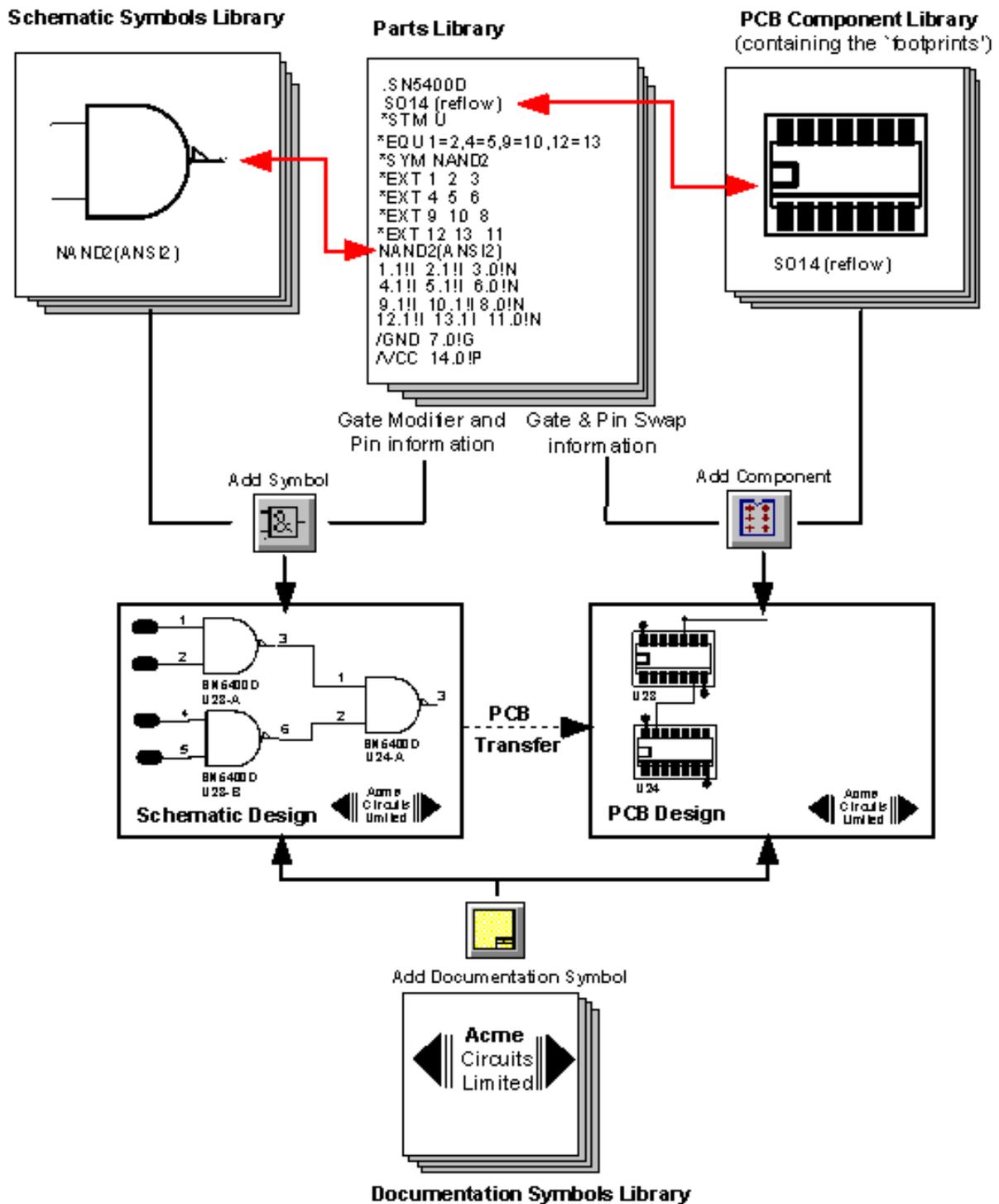
При разработване на електронни устройства са характерни следните етапи:

- Разработване на принципна електрическа схема:
  - съставяне на структурна схема;
  - определяне на принципна схема за всеки блок от структурната схема;
  - изчисления и избор на конкретни елементи – параметри, цена;
  - симулация на режимите на работа на принципната електрическа схема;
- Прехвърляне на данните към РСВ редактора;
- Проектиране на топологията на печатната платка;
- Проверка за спазване на технологичните изисквания за производство:
  - минимални разстояния между две съседни писти;
  - минимални разстояния между писта и площадка;
  - минимални разстояния между две площадки;
  - минимална ширина на писта и др.
- Създаване на изходни файлове и управляващи програми за производството на печатни платки:
  - графичен оригинал;
  - сервизен печат;
  - защитна маска;
  - дрил файл.
- Документиране на изделието [1].

Описаните по-горе етапи на проектиране не са абсолютно задължителни. За всеки конкретен случай се преценява как да се процедира. Много често дизайна се уточнява на по-ранен етап и проектирането на печатните платки и корпусите се осъществява едновременно и съгласувано.

## 3. Възможности за автоматизиране на етапите при проектиране на електронни устройства

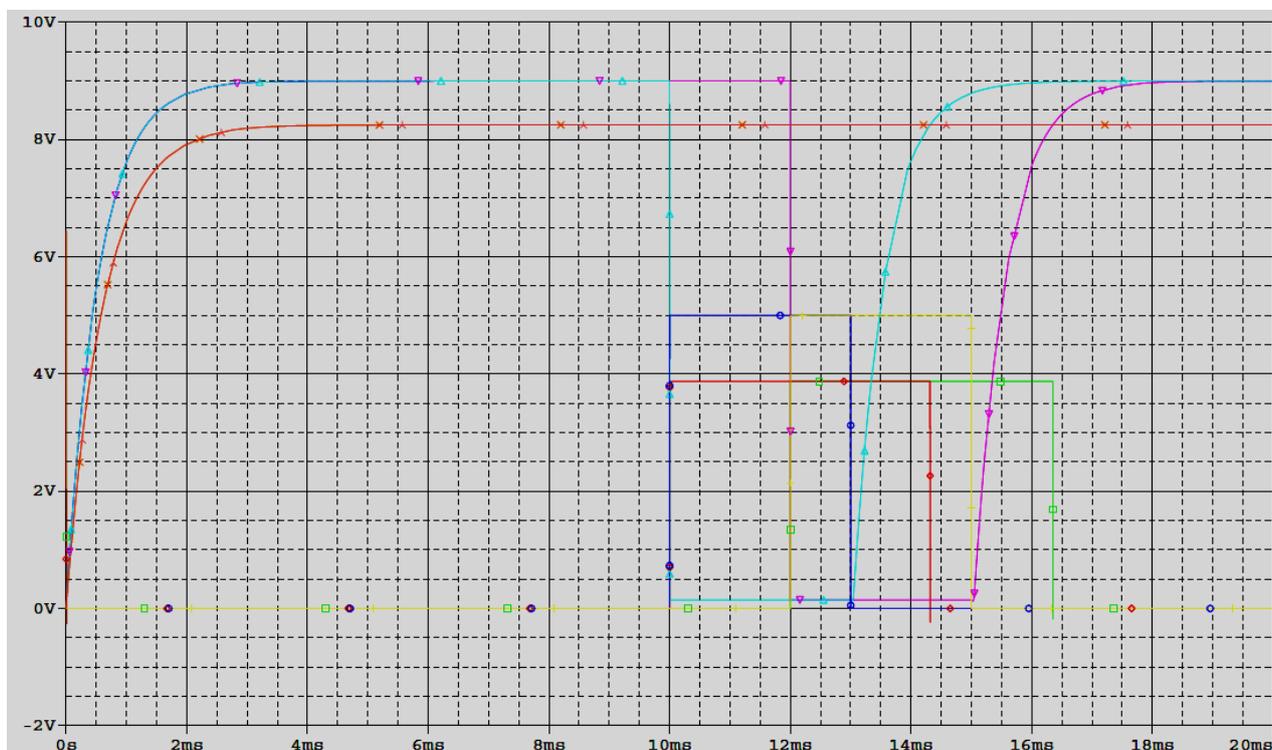
Важен момент при проектирането на принципни електрически схеми и печатни платки с САD системи е наличието на подходящи библиотеки и възможностите за тяхното редактиране и разширяване.



Фиг. 1 Връзка между библиотеките в CADStar

От най-голямо значение са библиотека с графични символи (Schematic Symbols Library), библиотека с корпуси (PCB Component Library), библиотека със съставни части (Parts Library) и библиотека с формати за чертежи (Documentation Symbols Library). Библиотеката с графични символи и библиотеката със съставни части са графични. Те съдържат съответно графичните символи за принципните електрически схеми и корпусите на градивните елементи за проектирането на печатните платки. Библиотеката със съставни части е текстова и прави връзката на кой графичен символ кой корпус трябва да съответства при прехвърлянето на данните от графичния редактор за принципни електрически схеми (Schematic Design) към редактора за проектиране на печатни платки (PCB Design). Библиотеката с формати е графична и съдържа стандартизирани формати, които се използват за създаване на документация на изделието. Връзката между тези библиотеки и прилагането им в CADStar е показано на фиг. 1[2].

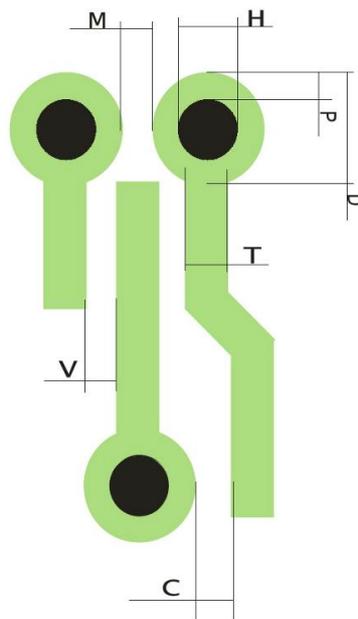
Голямо улеснение при проектиране на принципни електрически схеми е възможността за симулиране на процесите, които протичат в процеса на работа. Това е възможно при наличието на подходящ софтуер, който съдържа математически модели на всички градивни елементи. Диаграма от симулация на електрически процеси е представена на фиг. 2.



Фиг. 2 Диаграма от симулация на електрически процеси

Проектирането на топологията на печатните платки е от особено значение за цялостното функциониране на изделието, затова е необходимо да се вземат предвид много детайли. През последните години САД системите се усъвършенстваха и почти целия процес се автоматизира чрез използването на команди за автоматично поставяне на корпусите и автоматично опроводяване. Чрез диалогови прозорци се задават различни режими за поставяне на корпусите и автоматично опроводяване, за да се постигне най-оптимален вариант за конкретното изделие.

Има различни технологии за производство на печатни платки и за всяка от тях има минимални размери под които не се гарантира, че платките ще се произведат в съответствие с проекта (фиг. 3).



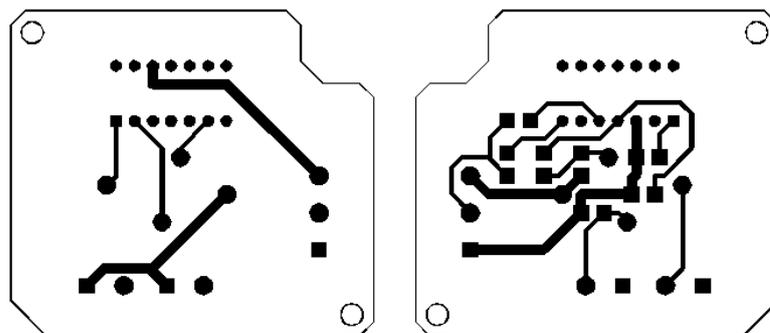
Фиг. 3 Минимално допустими размери

Минимални разстояния:

- V - между две съседни писти;
- M - между две конт. площадки;
- C - между писта и конт. площадка;
- P - минимален ринг;
- T - минимална широчина на писта;
- H - мин. отвори след метализация;
- и други.

Минимално допустимите стойности на тези размери се задават в CAD системите и се прави автоматична проверка за тяхното спазване. При нарушаване на някой размер програмата описва вида и мястото на грешката.

Последния етап от проектирането на печатните платки е създаване на изходни файлове и управляващи програми за производството им. Това са графичен оригинал, сервизен печат, защитна маска, дрил файл и други. Различните документи се получават като се оставят видими само слоевете за конкретното изображение, а останалите са правят невидими. Всички графични оригинали задължително се правят в мащаб 1:1, а за страна спойки трябва и да са обърнати огледално. На фиг. 4 са показани графични оригинали за страна елементи и страна спойки на печатна платка.



Фиг. 4 Графични оригинали за страна елементи и страна спойки



Чрез използването на САД системи за проектиране се решава въпроса с документирането на изделиято. От библиотеката с формати за чертежи (Documentation Symbols Library) се добавя подходящия формат и се попълва основния надпис на принципната електрическа схема. Списъкът с елементи се генерира автоматично чрез функцията Bill of Materials (BOM). От проекта на печатната платка се създават проекциите за страна елементи и страна спойки на печатния възел, които могат да се запишат в dxf формат, да се прехвърлят в друга САД система и да се оформят като сборен чертеж.

**Резултати:** Систематизирани са основните етапи при проектиране, анализирани са възможностите за използване на различни библиотеки, предаване на данни между отделни САД системи и документиране на изделиято. Представени са възможностите за автоматизиране на процеса на проектиране на електронни устройства с САД системи.

#### 4. Изводи:

- Статията очертава насоки за правилния подход при разработване на електронни изделия с САД системи и тяхното документиране. Тя е полезна за студенти, дипломанти и проектанти с не много голям опит.

#### Литература:

1. Лепаров, М., М. Вичева, М. Георгиев. Основи на инженерното проектиране, Софттрейд, София, 2015.
2. <https://www.zuken.com/>.

### **AUTOMATING THE PROCESS OF DESIGNING ELECTRICAL CIRCUITS AND PRINTED CIRCUIT BOARD FOR ELECTRONIC DEVICES IN CAD**

**G. Stanchev, D. Georgieva**

***Abstract:** This article discusses the possibilities of automating the process of designing electronic devices with CAD systems. The main stages in designing are systematized, the possibilities of using different libraries and documenting the product, data transmission between individual CAD systems and production machines are analyzed.*

#### **Данни за авторите:**

Георги Стефанов Станчев, доцент доктор инж., катедра „ОТСК” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел. 965 34 49, e-mail: [gstanchev@tu-sofia.bg](mailto:gstanchev@tu-sofia.bg)

Десислава Стефчова Георгиева, главен асистент доктор инж., катедра „ОТСК” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел. 965 24 12, e-mail: [desy@tu-sofia.bg](mailto:desy@tu-sofia.bg)



# АВТОМАТИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПРОЕКТИРАНЕ НА КОРПУСИ ЗА ЕЛЕКТРОННИ УСТРОЙСТВА С CAD СИСТЕМИ

Г. Станчев, Б. Илиева

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани възможностите за автоматизиране на процеса на проектиране на електронни устройства с CAD системи. Систематизирани са основните етапи при проектиране, анализирани са възможностите за използване на различни библиотеки и документиране на изделието, предаване на данни между отделни CAD системи и машини за производство.

**Ключови думи:** процес на проектиране, CAD системи, документиране.

## 1. Въведение

Цялостното проектиране на електронни устройства изисква специфични знания и умения в много области едновременно – електроника, програмиране, машинно инженерство, познаване в детайли на различни CAD системи и др.

## 2. Основни етапи при проектиране на корпуси за електронни устройства

При разработване на корпуси за електронни устройства са характерни следните етапи:

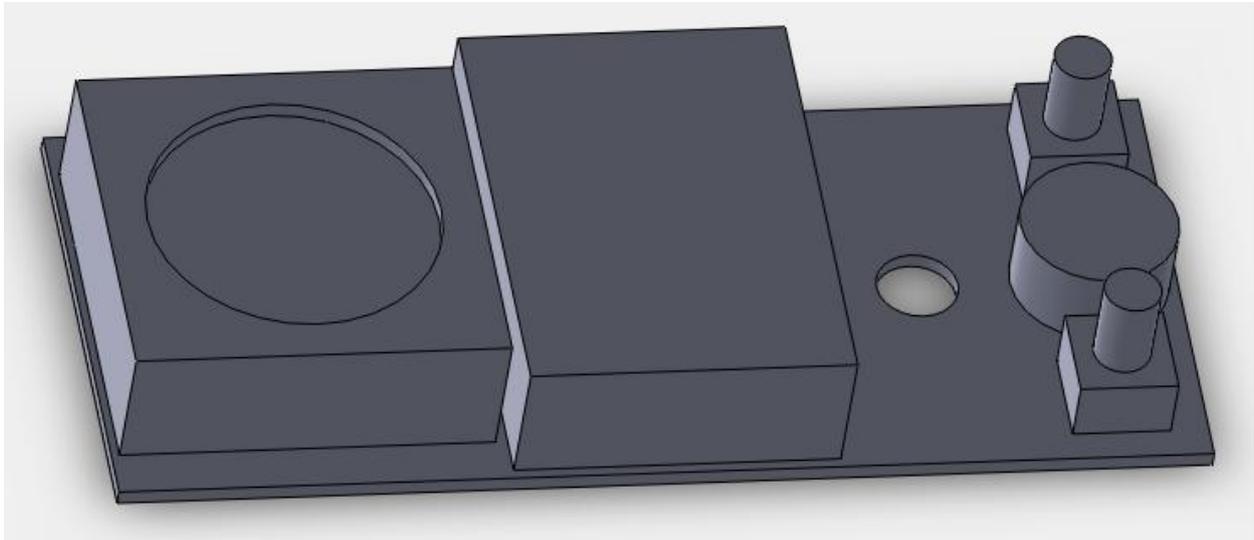
- Създаване на 3D модел на печатната платка;
- Прехвърляне на данни от CAD системи за проектиране на печатни платки към CAD системи за проектиране на корпуси и шасита;
- Проектиране на инженерен дизайн на корпуси и шасита;
- Създаване на изходни файлове и управляващи програми за производството на корпуси и шасита:
  - файлове и програми за 3D принтери;
  - програми за CNC машини;
  - програми за щанци и абканти при производство на детайли от листов материал;
- Проектиране на матрици за производство на детайли от пластмаси за серийно производство;
- Документиране на изделието [1].

Описаните по-горе етапи на проектиране не са абсолютно задължителни. За всеки конкретен случай се преценява как да се процедира. Много често дизайна се уточнява на по-ранен етап и проектирането на печатните платки и корпусите се осъществява едновременно и съгласувано.

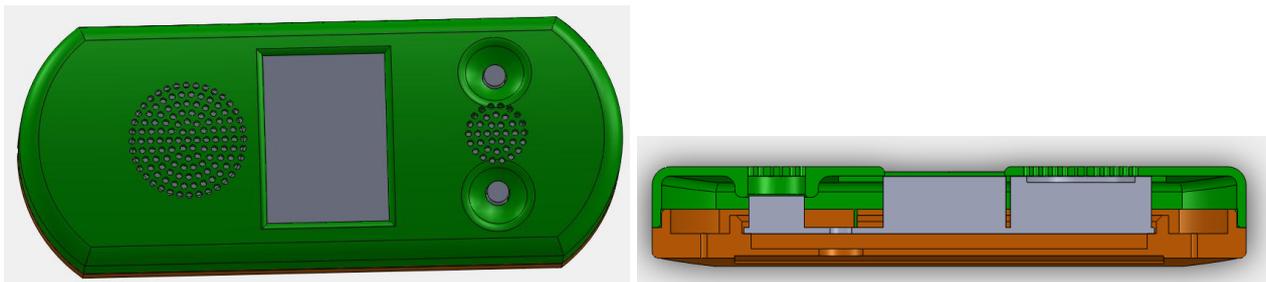
## 3. Възможности за автоматизиране на етапите при проектиране на корпуси за електронни устройства

За улесняване на проектирането и намаляване на възможността за допускане на грешки е необходимо да се използва библиотека с 3D изображения на градивните елементи. Това дава възможност да се създаде 3D модел на печатната платка, който се прехвърля в CAD системите за проектиране на корпусите. По този начин може да се създаде 3D модел на цялото изделие и да се провери съвпадението на отвори за закрепване и куплунги, липсата на колизии между елементи и корпуси, наличието на задължителни хлабини и др. На фиг. 1 е показан 3D модел на печатна платка, а на фиг. 2 3D модел на цялото изделие.

От изображенията се вижда, че дисплея, високоговорителя, бутоните и микрофона от печатната платка съвпадат идеално с проектираните за тях отвори в капака на корпуса. Печатната платка също се монтира точно в предвиденото за нея място в основата на корпуса.



Фиг. 1 3D модел на печатна платка



Фиг. 2 3D модел на цялото изделие

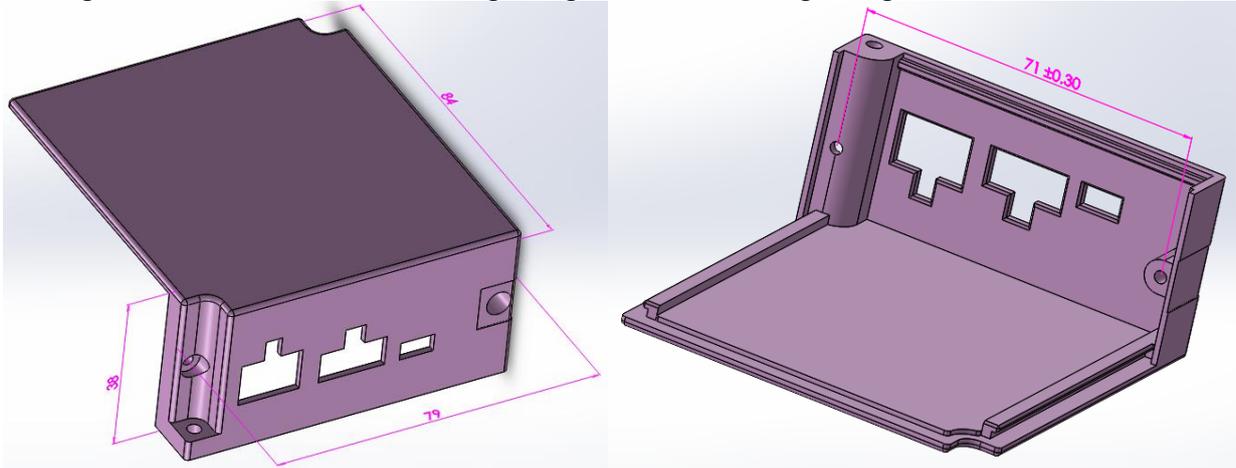
CAD системите дават възможност и само контура на печатната платка чрез записване в dxf формат да се прехвърли и използва като скица в SolidWorks или Inventor при проектиране на корпуса. Това позволява много сложен контур еднозначно и без грешки да се използва и в двете CAD системи едновременно. Използването на библиотеки със стандартни скрепителни детайли допълнително улеснява и автоматизира процеса на проектиране.

От особено значение за реализацията на инженерните продукти са не само техническите им характеристики, но и дизайна, естетиката, ергономията и рециклирането след приключване на жизнения цикъл. Този етап не бива да се подценява и е добре в него да се включат специалисти в тази област.

Когато е приключено проектирането на детайлите за корпуса е необходимо да се организира производството на прототипи и/или серийно производство. В зависимост от конструкцията, материала, серията и други фактори се избира технология за производство.

3D принтирането е сравнително нова технология, която е подходяща при производството на прототипи за едросерийно производство и краен продукт при много малки серии и единично производство. При нея детайлите се изграждат слой по слой. Дебелината на слоя може да варира от около 0,1 до 0,4 мм. В зависимост от необходимото качество, материал и цена се избира вида на принтера, който да се използва.

Файловете с 3D моделите от CAD системите се записват в подходящ формат и се създават управляващи програми за съответните принтери. Много рядко, но се случва при конвертирането на информацията да се загуби някой елемент от детайл или да се променят размерите на изделието. По тази причина се препоръчва освен файла да се изпратят и изображения на проектирания детайл с няколко размера за проверка. На фиг. 3 са показани 3D изображения на детайл с няколко размера, който ще се принтира.



Фиг. 3 3D модел на детайл

Някои детайли е подходящо да се произведат на CNC машини. При тях детайла се получава чрез стружко отнемане от заготовка с подходящи размери. Машините разполагат с набор от инструменти и от 3D модела на детайла се създава програма, чрез която последователно стъпка по стъпка се произвежда детайла. На фиг. 4 са показани снимки на детайл, произведен с CNC машина.



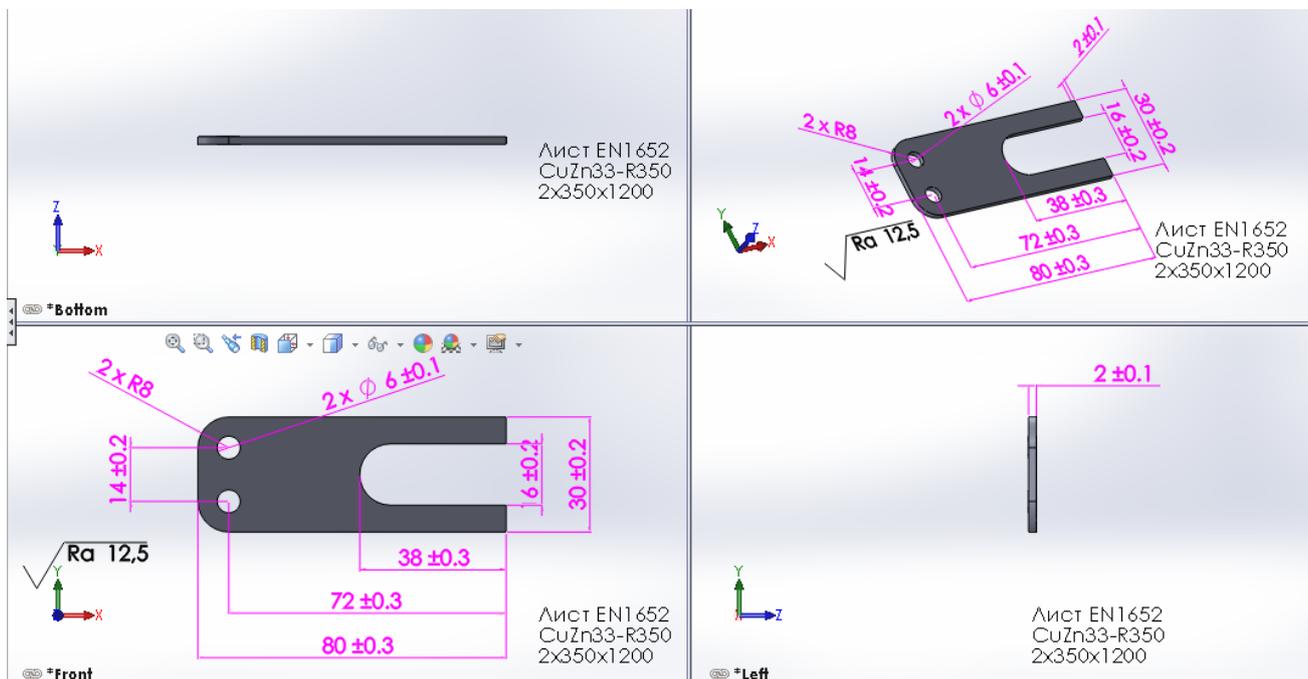
Фиг. 4 Детайл, произведен с CNC машина

При производството на детайли от листов материал (поцинкована ламарина, алуминиева ламарина, неръждавейка и др.) има два основни етапа – да се изреже заготовка по разгвката, след което да се направят огъвките. От готовия 3D модел на детайл с една команда се получава неговата разгвка, която чрез dxf или dwg файл се прехвърля в машината за рязане, която може да е шанца, лазерно рязане, водно рязане и др. Също така от готовия 3D модел на детайл подходящи сечения може да се въведат в машината за огъване – абкант.

При едросерийно производство на детайли от различни видове пластмаси от икономическа гледна точка е подходящо да се използва метода на шприцване под налягане на разтопен материал в матрици, наречени шприцформи, които се изработват от алуминий или стомана. Конструктивното и технологично проектиране и производство на пуансон и матрица за конкретен детайл е много специфичен, отговорен и скъп процес.

Съвременните CAD/CAM системи дават възможност за автоматизиране на този процес. Подходящ пример е описан в [2].

Заключителният етап на целия процес на проектиране е създаването на конструкторска и технологична документация на изделието. Чрез CAD системите за 3D проектиране създаването на разрези, сечения и оразмеряване е автоматизирано. Важно е да се отбележи, че промяната на файла с 3D модела на детайла или сглобената единица се отразява автоматично и във файла със съответния чертеж. Едновременно много хора имат достъп до файловете и се запаметява коя редакция от кой потребител и кога е направена. Като нова тенденция е така нареченото 3D документирание, при което не се прави изобщо чертеж, а цялата необходима информация се изобразява върху 3D модела на детайла. За по-голяма прегледност и улеснение е удачно работният екран да се раздели на четири прозореца. Пример за 3D документирание на детайл е представен на фиг. 5.



Фиг. 5 3D документирание на детайл

**Резултати:** Систематизирани са основните етапи при проектиране, анализирани са възможностите за използване на различни библиотеки, предаване на данни между отделни CAD системи и документирание на изделието. Представени са възможностите за автоматизиране на процеса на проектиране на електронни устройства с CAD системи.

#### 4. Изводи:

- Статията очертава насоки за правилния подход при разработване на електронни изделия с CAD системи и тяхното документирание. Тя е полезна за студенти, дипломанти и проектантите с не много голям опит.

#### Литература:

1. Лепаров, М., М. Вичева, М. Георгиев. Основи на инженерното проектиране, София, 2015.
2. Атанасов И., Д. Атанасова. Подход за автоматизирано технологично проектиране на операция фрезозане за бутилкови форми в средата на сам системата FeatureCAM – МОДУЛ MILL, XXVI МНТК „АДП-2017”, стр. 382-387



**AUTOMATING THE PROCESS OF DESIGNING HULLS FOR ELECTRONIC DEVICES  
IN CAD**

**G. Stanchev, B. Ilieva**

***Abstract:** This article discusses the possibilities of automating the process of designing electronic devices with CAD systems. The main stages in designing are systematized, the possibilities of using different libraries and documenting the product, data transmission between individual CAD systems and production machines are analyzed.*

**Данни за авторите:**

Георги Стефанов Станчев, доцент доктор инж., катедра „ОТСК” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел. 965 34 49, e-mail: gstanchev@tu-sofia.bg

Боряна Петкова Илиева-Михайлова, доцент доктор инж., катедра „ОТСК” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел. 965 37 85, e-mail: bilieva@tu-sofia.bg



## МЕЖДУНАРОДНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОНЕН ДЕН НА ПРОЕКТА DA-SPACE OPEN INNOVATION LAB

П. Томов, Л. Димитров

*Резюме* Отворената иновационна лаборатория към Техническия университет в София работи активно за подобряване на важни критерии за развитие като оптималната съвместимост на обществото и кариерата, модерна образователна инфраструктура, която отговаря на изискванията на съвременната индустрия. Проектът DA-SPACE е важна стъпка в стимулирането на сътрудничеството между научните паркове, университетите, малките и средните предприятия и научно-ориентирани институции. В последният етап от проектът DA-SPACE се проведе вторият международен демонстрационен ден на който бяха представени разработените иновативни идеи от всички страни участващи в проекта. Регламентът на събитието изискваше определянето на двата най-добре разработени и представени проекти, които да бъдат представени пред официалната комисия на окончателната церемония. Българският екип спечели второто място с което се класира като един от двата призови отбора.

**Ключови думи:** Международен демонстрационен ден, програми за иновации, лаборатория за отворени иновации.

### 1. Въведение

Проектът DA-SPACE разглежда липсващата връзка между добрите идеи на младите новатори и създаването на устойчив бизнес. В лабораторията за отворени иновации тези таланти намират подкрепа, наставници и образование, за да превърнат идеите в истински иновации. Заедно с експерти от индустрията и секторите на услугите ще бъдат създадени и прилагани конкретни бизнес модели в нови или съществуващи малки и средни предприятия. Повишаването на предприемаческия дух сред младите хора е насочено към редица предизвикателства на днешния европейски пазар. DA-SPACE ще насърчава устойчивата новаторска екосистема в региона на река Дунав, като развива мрежа от заинтересовани страни в сферата на иновациите, като университети, малки и средни предприятия, публични органи и бизнес сектор, които могат да окажат положително въздействие върху местния контекст и да бъдат пример за бъдещи инициативи.

Основната цел на DA-SPACE е пилотно създаване на иновативни инструменти и рамки за стимулиране на отворените иновации и внедряването на нови идеи, като същевременно засили сътрудничеството между иноватори от различни области на науката и технологиите. Резултатите от пилотния проект ще доведат до разработването на стратегия за насърчаване на иновациите и предприемачеството в Дунавския регион. Конкретните цели на проекта DA-SPACE е увеличаване на предприемаческите умения и ограничаване на изтичането на мозъци от региона: DA-SPACE създава, от една страна, структура за стимулиране на взаимодействието между иноватори (академични и бизнес) и таланти от регионите, а от друга - рамка за преподаване и повишаване на предприемачески умения и подпомагане на таланти в реализацията на иновативни идеи на пазара. Това се постига чрез предоставяне на набор от персонализирани услуги в лабораторията, обучение по предприемачество и наставничеството. По този начин DA-SPACE може да генерира нови възможности за работа в Дунавските региони, предлагайки ценни алтернативи на висококвалифицираните хора, които иначе биха търсили работа в чужбина.



### 2. Проектът DA-SPACE Open Innovation Lab Bulgaria

DA-SPACE Open Innovation Lab Bulgaria се намира в сградата на Машиностроителния факултет на Техническия университет в София блок 4 и в близост до Университетската библиотека. Работата на лабораторията е подкрепена от GIS Innovative Transfer Center (БАН). Лабораториите DA-SPACE насърчават междудисциплинарно и транснационално сътрудничество между различни заинтересовани страни, способни да генерират нови решения и да развиват предприемаческите умения на всички участници. Проектът създаде 7 пилотни лаборатории за отворени иновации в 7 региона: Чехия, Хърватия, България, Сърбия, Румъния, Германия и Словакия.

В рамките на двете фази на проекта бяха разработени от младите таланти 16 успешни проекта:

- Система за анализ на материалите.
- Производство на безрезервни пластини за подравняване.
- Самокалибриращ се многоматериален 3D принтер.
- Когенериращ енергиен агрегат за жилищни нужди.
- Активен миксер за двукомпонентен полиуретан.
- Подобряване на механичните свойства на полимерните зъбни колела чрез добавяне на въглеродни нанотръби (CNTs).
- Модернизация на ключова фаза от производството.
- Разработване на роботизирана система за приготвяне на коктейли.
- Разработване на интелигентна система за управление на домакински уреди.
- Разработване на система за контрол на свободните работни места на обществен паркинг.
- Разработване на система за контрол на достъпа до обществен паркинг по телефона.
- Леки рамкови конструкции, използващи сглобяеми въглеродни влакна и сплавни елементи.
- Олекотен верижно задвижван диференциал с ограничено приплъзване.
- Измерване на микро-твърдост на инженерни неметални композитни материали.
- Измерване на износоустойчивост и коефициент на триене на новоразработения композитен материал за морска употреба.
- Методология за отхвърляне на класа на медицинско изделие и общите изисквания, които трябва да спазва съгласно Регламент 2017/745.

Разработената роботизирана система за приготвяне на коктейли – БарБот е представена на заключителния етап на проекта 14 и 15 май в Улм, Германия, това е роботизиран Барман, който има за цел да освободи човека от загубата на време в правене на напитки или да позволи на тези, които нямат възможността да направят любимия коктейл все пак да му се насладят.

С работа БарБот, се залага на лесна и евтина за изработка конструкция. Всички части могат са достъпни в масовите магазини за електроника. Простата за изпълнение конструкция обаче не означава лесното изработване на работа. Интерфейсът е толкова интелигентно замислен, че да позволява ползването му дори от деца, защото барманът може да сервира всякакъв вид напитки.

### Заклучение

След приключването на проекта DA-SPACE лабораторията ще продължи да се използва като лаборатория за открити иновации - търсенето на търсещи убежище ще продължи, защото винаги ще има решаващи проблеми в лицето на студентите от Техническия университет в София.



**Фиг.1.** Екипа на Open Innovation Lab ТУ-София представя разработката на общата конференция

Курсовете ще се провеждат въз основа на резултатите от предизвикателствата, създаването на самата лаборатория и работата с другите регионални лаборатории, като идеята е да се споделят придобитите знания и опит от проекта, което е изключително важно за бъдещи инициативи. от този вид. Ще бъде създаден нов отворен иновационен клъстер / хъб, който ще бъде наследник на проекта DA-SPACE в България. Презентации на младежки научни конференции, на които присъстват потенциални търсещи и решаващи (MIT - годишни). “Дни на кариерата”, провеждани ежегодно в Техническия университет в София. Да бъдат по-активни в социалните медии.

**Acknowledgements:** This study is supported by “DA-SPACE - Open Innovation to raise Entrepreneurship skills and Public Private Partnership in Danube Region”.

### **THE INTERNATIONAL DEMONSTRATION DATE OF THE PROJECT DA-SPACE OPEN INNOVATION LAB**

***Abstract:** The Open Innovative Laboratory at the Technical University of Sofia is actively working to improve important development criteria such as optimal compatibility of society and careers, a modern educational infrastructure that meets the requirements of modern industry. The DA-SPACE project is an important step in stimulating cooperation between science parks, universities, small and medium-sized enterprises and science-oriented institutions. At the final stage of the DA-SPACE project, the second International Day of Demonstration took place, where the innovative ideas developed by all the parties involved in the project were presented. The regulation of the event required the designation of the two best-developed and presented projects to be presented to the official commission at the final ceremony. The Bulgarian team won the second place with which it qualified as one of the two prize teams.*

#### **Данни за авторите:**

Панчо Кръстев Томов, доцент доктор инж., катедра „АДП” при МФ, ТУ – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: pkt@tu-sofia.bg

Любомир Ванков Димитров, професор доктор инж., катедра „МЕНК” при МФ, ТУ – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, e-mail: lubomir\_dimitrov@tu-sofia.bg



**СЪДЪРЖАНИЕ:**

<b>ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 1 “ТЕОРЕТИЧНИ ПРОБЛЕМИ НА АВТОМАТИЗАЦИЯТА НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО” .....</b>	<b>3</b>
1. Чакърски Д., МИНАЛО, НАСТОЯЩЕ И БЪДЕЩЕ НА АВТОМАТИЗАЦИЯТА И РОБОТИЗАЦИЯТА НА ПРОИЗВОДСТВОТО.....	4
2. Захаринов В., И. Малаков, АЛГОРИТМИЧНО И ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ НА ИЗБОРА НА ОПТИМАЛЕН РАЗМЕРЕН РЕД.....	11
3. Бояджиев В., СРАВНИТЕЛЕН НАДЕЖНОСТЕН АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОННА И ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЧАСТИ НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ.....	19
4. Камбушев К., ОТНОСНО ИЗЧИСЛЯВАНЕТО И ВЪЗСТАНОВЯВАНЕТО НА НАДЕЖНОСТТА НА МАЛОГАБАРИТНИ БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ.....	24
5. Илиева Б., А. Дишкелов, НОРМАТИВНА БАЗА ЗА ТЕХНИЧЕСКИ КОНТРОЛ И НАДЗОР НА СЪДОВЕ ПОД НАЛЯГАНЕ.....	29
<b>ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 2 “ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНИ ЗА АВТОМАТИЗИРАНОТО ДИСКРЕТНО ПРОИЗВОДСТВО” .....</b>	<b>37</b>
1. Кане М., ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕСА ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЁН С ИМПУЛСНОЙ ПОДАЧЕЙ.....	38
2. Рачев П., С. Къртунов, ТЕХНОЛОГИЧНИ ГРЕШКИ ПРИ ОБРАБОТВАНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА ПО МЕТОДА НА ОБХОЖДАНЕ.....	42
3. Цветанов Г., М. Ненчева, С. Хаджиев, ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ПРИ ЕВОЛВЕНТНИ ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С АСИМЕТРИЧЕН ПРОФИЛ НА ЗЪБИТЕ.....	46
4. Цветанов Г., М. Ненчева, П. Ненчев, ПРОСТРАНСТВЕНИ ОБЛАСТИ НА СЪЩЕСТВУВАНЕ ПРИ ЕВОЛВЕНТНИ ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С АСИМЕТРИЧЕН ПРОФИЛ НА ЗЪБИТЕ.....	51
5. Тонков Г., ТЕОРЕТИЧНИ АСПЕКТИ НА ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С МАЛЪК БРОЙ ЗЪБИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ - I ЧАСТ..	56
6. Тонков Г., ТЕОРЕТИЧНИ АСПЕКТИ НА ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ С МАЛЪК БРОЙ ЗЪБИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ - II ЧАСТ	62
7. Дочев М., Ц. Найденов, ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СЪВМЕСТИМОСТ ПРИ ЕЛЕКТРОИНСТРУМЕНТИ С ИЗОЛИРАНИ ЧЕТКИ	68
8. Стоименов Н., М. Панева, Т. Пенчев, ВИДОВЕ МАТЕРИАЛИ ЗА ЛИФТЕРИ...	73
9. Кънчев П., Е. Хаджигенова, О. Сандов, В. Цанов, ИЗСЛЕДВАНЕ ФЛОКЕНООБРАЗУВАНЕТО В СТОМАНА 38ХС.....	79
10. Бояджиев В., МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ПОДАВАТЕЛНО ЗАДВИЖВАНЕ ПО ОС Х НА МЕТАЛОРЕЖЕЩА МАШИНА С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ..	85



**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 3 “АВТОМАТИЗИРАНЕ ПОТОКА НА ДЕТАЙЛИТЕ” ..... 91**

1. Цолов С., Р. Димитрова, ПРОЕКТИРАНЕ НА ПАРАЛЕЛЕН DELTA РОБОТ... 92
2. Андонова-Вакарелска Т., Р. Венков, АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА СОЛАРНИ КОЛЕКТОРИ ..... 99
3. Личев Л., КЛАСИФИКАЦИЯ НА ТИПОВЕТЕ ГЪВКАВОСТ В АВТОМАТИЗИРАНИТЕ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ..... 105
4. Бахчеванов Б., АВТОМАТИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЛЕКАРСТВЕНИ ФОРМИ..... 109
5. Шопов И., К. Георгиев, П. Кацарова, КЛАСИФИКАЦИЯ НА ФАКТОРИТЕ, ВЛИЯЕЩИ НА КАЧЕСТВОТО НА ПОВЪРХНИННИТЕ НА ОПТИЧНИ ДЕТАЙЛИ, ОБРАБОТЕНИ ЧРЕЗ ДИАМАНТЕНО СТРУГОВАНЕ..... 115
6. Севим М., С. Николов, ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БАЗОВИ РАЗМЕРИ ЗА РАЗЛИЧНИ ТИПОВЕ КОНСТРУКТИВНИ АЛУМИНИЕВИ ПРОФИЛИ..... 122

**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 4 “ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ И РОБОТИЗИРАНИ КОМПЛЕКСИ” ..... 127**

1. Димитрова Р., В. Павлов, ИЗБОР НА СТЬПКОВИ ДВИГАТЕЛИ ЗА РОБОТИ ПРИ ОТВОРЕНА СХЕМА НА УПРАВЛЕНИЕ..... 128
2. Шиваров Н., Д. Чикуртев, Н. Шиваров, ТЕЛЕ-УПРАВЛЕНИЕ НА ХОЛОНОМЕН МОБИЛЕН РОБОТ С МЕКАНУМ КОЛЕЛА..... 134
3. Марков Е., Н. Шиваров, Д. Чикуртев, ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ НА ИЗКУСТВЕНИЯ ИНТЕЛЕКТ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА СЕРВИЗНИ РОБОТИ..... 139
4. Авишай Д., В. Павлов, Г. Павлова, Г. Каши, ИНТЕЛИГЕНТНА РОБОТИКА В УМНИТЕ ЗАВОДИ ПРЕЗ ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ... 146
5. Шехтов Х., ПРОЕКТИРАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАНИ СЪОРЪЖЕНИЯ И ЛИНИИ ЗА МАЛКИ И СРЕДНИ МЕБЕЛНИ ПРЕДПРИЯТИЯ..... 154
6. Райков П., ОПТИМИЗАЦИЯ НА ВЕРИЖНО-ЛОПАТКОВИ УСТРОЙСТВА.... 159
7. Raikova R., I. Veneva, S. Angelova, USING OF ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS OF HUMAN UPPER LIMB MUSCLES FOR CONTROL OF REHABILITATION TECHNICAL DEVICES..... 165
8. Ribagin S., P. Raykov, R. Raykova, MECHANICAL DESIGN OF AN ACTIVE ELBOW ORTHOSIS PROTOTYPE..... 171
9. Simeonov S., I. Veneva, ACTIVE ORTHOSES OF THE LOWER LIMBS.SURVEY AND PRELIMINARY INVESTIGATIONS..... 175

**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 5 “АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МОНТАЖА..... 181**

1. Цолов С., К. Йорданов, А. Йорданов, ПРОЕКТИРАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН КОМПЛЕКС ЗА ИГРА НА ШАХ..... 182
2. Господинов М., С. Димитрова, М. Церовски, ИЗРАБОТВАНЕ И ВНЕДРЯВАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН КОМПЛЕКС ЗА ИГРА НА ШАХ..... 188



3.	Димитров С., Й. Стоянов, Д. Генчев, ПРОГРАМИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАН КОМПЛЕКС ЗА ИГРА НА ШАХ .....	194
4.	Панев П., ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ВИДОВЕ ТИКСО ЗА ОПАКОВЪЧНИ ПРОЦЕСИ.....	201
5.	Ценев В., АВТОМАТИЧНА МАШИНА ЗА БЪРЗО АСЕМБЛИРАНЕ НА ОСНОВИ ЗА ДАТЧИЦИ .....	206
6.	Ценев В., АВТОМАТИЧНО МАРКИРАНЕ НА ИЗДЕЛИЯ В РОБОТЕН КОМПЛЕКС ЗА АСЕМБЛИРАНЕ НА ДАТЧИЦИ.....	211

### **ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 6 “МЕХАТРОНИКА” .....** 217

1.	Biliderov S., J. Stanchev, STUDY THE LATERAL STABILITY OF UNMANNED AERIAL VEHICLE USING VIRTUAL WIND TUNNEL.....	218
2.	Къртунов С., Д. Славов, П. Рачев, И. Иванов, МЕХАТРОННА СИСТЕМА ЗА ПОДПОМАГАНЕ НА ПАРКИРАНЕТО С ДОСТЪПНА НА ПАЗАРА ЕЛЕМЕНТНА БАЗА .....	224
3.	Merdzhanov D., K. Bozhilov, HOW TO INTERPRET THE AIRCRAFT ELECTRICAL AND AVIONICS SCHEMATICS AND WIRING DIAGRAMS....	231
4.	Georgiev M., S. Nikolova, ANALYSIS OF STANDARDS REQUIREMENT FOR AIRCRAFT EQUIPMENT LIGHTNING PROTECTION.....	237
5.	Камбушев М., МОДЕЛИРАНЕ ДВИЖЕНИЕТО НА КВАДРОКОПТЕР В ТУРБУЛЕНТНА АТМОСФЕРА.....	243
6.	Pavlović M., I. Ćirić, V. Nikolić, M. Simonović, D. Stamenković, J. Stevanović, APPLICATION OF MACHINE VISION SYSTEMS FOR AUTONOMOUS TRAIN OPERATION.....	248
7.	Kurtev M., N. Robson, V. Trenev, MACHINE LEARNING TOOLS FOR UNMANNED VEHICLES MANAGEMENT DEVELOPMENT.....	254
8.	Ivanova V., D. Batchvarov, A. Boneva, HARDWARE AND SOFTWARE FOR MECHTRONICS THERAPEUTICS TOOL. APPLICATION OF MINIMALLY-INVASIVE SURGARY .....	260

### **ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 7 “СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ В ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО” .....** 267

1.	Peřçuku A., D. Minkovska, L. Stoyanova, IMPROVING FAULT DETECTION OF TRANSMISSION LINE WITH BIG DATA.....	268
2.	Томов П., Е. Енчев, ИЗБОР НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ (ДИГИТАЛЕН КОМПОНЕНТ) ЗА ВГРАЖДАНЕ В Е-СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДИСКРЕТНИ ПРОЦЕСИ.....	274
3.	Димитров С., ПРОГРАМИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕМЕН ДОЗАТОР... ..	280
4.	Каменов К., ИЗСЛЕДВАНЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА СЕНЗОР ЗА НАЛЯГАНЕ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА СКОРОСТИ НА МАЛОГАБАРИТЕН БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ.....	286
5.	Коев К., В. Уручева, М. Видева, ПРЕВКЛЮЧВАНЕ НА УПРАВЛЕНИЕТО НА ДПЛА С ПОМОЩТА НА МИКРОКОНТРОЛЕР.....	291



6. Петров Р., Д. Карастоянов, ИКТ В ИНОВАТИВНИ ПРОЕКТИ ЗА ЕНЕРГИЙНО ЕФЕКТИВНИ СГРАДИ И КОМПЛЕКСИ 296

**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 8 “ИНОВАЦИИ И ИНЖЕНЕРИНГ НА АВТОМАТИЗИРАНОТО ДИСКРЕТНО ПРОИЗВОДСТВО” ..... 301**

1. Врублевский И., К. Чернякова, В. Видеков, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ПАНЕЛЕЙ С ЛИНЕЙНЫМ ГИБКИМ ЭЛЕМЕНТОМ НАГРЕВА..... 302
2. Чернякова К., И. Врублевский, В. Видеков, Б. Цанева, СВЕТОВЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ НА АЛЮМИНИИ С НАНОПОРИСТЫМ ОКСИДОМ АЛЮМИНИЯ..... 306
3. Minkovska D., L. Stoyanova, SOME METHODS FOR INTEGRATION BETWEEN E-LEARNING AND CAD/CAM/CAE SYSTEMS..... 311
4. Петров Р., ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ЕНЕРГИЙНО ЕФЕКТИВНИ ИНДУСТРИАЛНИ И БИЗНЕС СГРАДИ ..... 316
5. Йосифова В., М. Харалампиева, ПРОУЧВАНЕ И ОЦЕНКА НА СЪЩЕСТВУВАЩИ И ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ЕНЕРГИЯ..... 321
6. Йосифова В., М. Харалампиева, ЛЪЧИСТО ОТОПЛЕНИЕ. ВИДОВЕ, ОБЛАСТИ НА ПРИЛОЖЕНИЕ И ПРЕДИМСТВА ..... 327
7. Влахова Б., ВЗАИМОВРЪЗКА МЕЖДУ ИНОВАЦИОННОТО РАЗВИТИЕ И ОСТАРЯВАНЕ В ИНДУСТРИАЛНИТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ..... 333
8. Дамянов Д., Б. Влахова, ТЕНДЕНЦИИ В ПЛАНИРАНОТО ОСТАРЯВАНЕ НА ИНДУСТРИАЛНИТЕ ПРОДУКТИ..... 338

**ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 9 “САД/САМ СИСТЕМИ” ..... 343**

1. Атанасов И., Д. Атанасова, РЕЛАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ БАЗИ ДАННИ И ЗНАНИЯ ПРИЛАГАНИ В САД/САМ СИСТЕМИТЕ..... 344
2. Топалова М., Р. Петрова, В. Райчев, П. Мъцински, ПРОГРАМЕН МОДУЛ ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА РАБОТНИ УЧАСТЪЦИ НА ПОАНСОНИ..... 350
3. Найденов Ц., М. Дочев, ПОЛУЧАВАНЕ НА УНИФИЦИРАН ТЕХНОЛОГИЧЕН ВЪЗЕЛ ЧРЕЗ САД/САМ АВТОМАТИЗИРАНА СИСТЕМА..... 355
4. Абулибде И., П. Петкова, МОДЕЛИРАНЕ НА ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ..... 360
5. Станчев Г., Д. Георгиева, АВТОМАТИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПРОЕКТИРАНЕ НА ПРИНЦИПНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ СХЕМИ И ПЕЧАТНИ ПЛАТКИ ЗА ЕЛЕКТРОННИ УСТРОЙСТВА С САД СИСТЕМИ..... 364
6. Станчев Г., Б. Илиева, АВТОМАТИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПРОЕКТИРАНЕ НА КОРПУСИ ЗА ЕЛЕКТРОННИ УСТРОЙСТВА С САД СИСТЕМИ..... 369
7. Томов П., Л. Димитров, МЕЖДУНАРОДНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОНЕН ДЕН НА ПРОЕКТА DA-SPACE OPEN INNOVATION LAB..... 374



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
Angelova S.	165
Batchvarov D.	260
Biliderov S.	218
Boneva A.	260
Bozhilov K.	231
Ćirić I.	248
Georgiev M.	237
Ivanova V.	260
Kurtev M.	254
Merdzhanov D.	231
Minkovska D.	268, 311
Nikolić V.	248
Nikolova S.	237
Pavlović M.	248
Perçuku A.	268
Raykov P.	159, 171
Raykova R.	165, 171
Ribagin S.	171
Robson N.	254
Simeonov S.	175
Simonović M.	248
Stamenković D.	248
Stanchev J.	218
Stevanović J.	248
Stoyanova L.	268, 311
Tomov P.	274, 374
Trenev V.	254
Veneva I.	165, 175
Абулибде И.	360
Авишай Д.	146
Андонова-Вакарелска Т.	99
Атанасов И.	344
Атанасова Д.	344
Бахчеванов Б.	109



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
Бояджиев В.	19, 85
Венков Р.	99
Видева М.	291
Видеков В.	302, 306
Влахова Б.	333, 338
Врублевский И.	302, 306
Генчев Д.	194
Георгиев К.	115
Георгиева Д.	364
Господинов М.	188
Дамянов Д.	338
Димитров Л.	374
Димитров С.	194, 280
Димитрова Р.	92, 128
Димитрова С.	188
Дишкелов А.	29
Дочев М.	68, 355
Енчев Е.	274
Захаринов В.	11
Иванов И.	224
Илиева Б.	29, 369
Йорданов А.	182
Йорданов К.	182
Йосифова В.	321, 327
Камбушев К.	24
Камбушев М.	243
Каменов К.	286
Кане М.	38
Карастоянов Д.	296
Кацарова П.	115
Каши Г.	146
Коев К.	291
Кънчев П.	79
Къртунов С.	42, 224



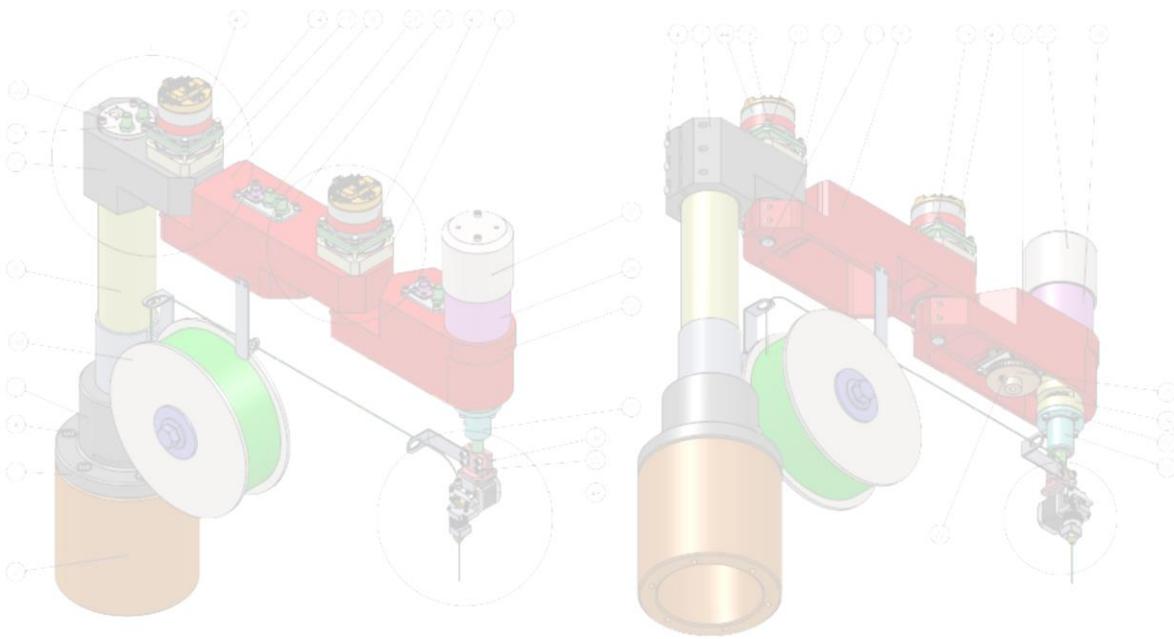
## XXVIII МНТК „АДП-2019”

ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
Личев Л.	105
Малаков И.	11
Марков Е.	139
Мъцински П.	350
Найденов Ц.	68, 355
Ненчев П.	51
Ненчева М.	46, 51
Николов С.	122
Павлов В.	128, 146
Павлова Г.	146
Панев П.	201
Панева М.	73
Пенчев Т.	73
Петкова П.	360
Петров Р.	296, 316
Петрова Р.	350
Райчев В.	350
Рачев П.	42, 224
Сандов О.	79
Севим М.	122
Славов Д.	224
Станчев Г.	364, 369
Стоименов Н.	73
Стоянов Й.	194
Тонков Г.	56, 62
Топалова М.	350
Уручева В.	291
Хаджигенова Е.	79
Хаджиев С.	46
Харалампиева М.	321, 327
Цанева Б.	306
Цанов В.	79
Цветанов Г.	46, 51
Ценев В.	206, 211



## XXVIII МНТК „АДП-2019”

<b>ФАМИЛИЯ АВТОР</b>	<b>СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА</b>
Церовски М.	188
Цолов С.	92, 182
Чакърски Д.,	4
Чернякова К.	302, 306
Чикуртев Д.	134, 139
Шехтов Х.	154
Шиваров Н.	134,139
Шиваров Н.	134
Шопов И.	115



№	Bezeichnung	Stückzahl	Material
1	Motor	1	9001-0001-0001
2	Gehäuse	1	9001-0001-0002
3	Welle	1	9001-0001-0003
4	Welle	1	9001-0001-0004
5	Welle	1	9001-0001-0005
6	Welle	1	9001-0001-0006
7	Welle	1	9001-0001-0007
8	Welle	1	9001-0001-0008
9	Welle	1	9001-0001-0009
10	Welle	1	9001-0001-0010
11	Welle	1	9001-0001-0011
12	Welle	1	9001-0001-0012
13	Welle	1	9001-0001-0013
14	Welle	1	9001-0001-0014
15	Welle	1	9001-0001-0015
16	Welle	1	9001-0001-0016
17	Welle	1	9001-0001-0017
18	Welle	1	9001-0001-0018
19	Welle	1	9001-0001-0019
20	Welle	1	9001-0001-0020
21	Welle	1	9001-0001-0021
22	Welle	1	9001-0001-0022
23	Welle	1	9001-0001-0023
24	Welle	1	9001-0001-0024
25	Welle	1	9001-0001-0025
26	Welle	1	9001-0001-0026
27	Welle	1	9001-0001-0027
28	Welle	1	9001-0001-0028
29	Welle	1	9001-0001-0029
30	Welle	1	9001-0001-0030
31	Welle	1	9001-0001-0031
32	Welle	1	9001-0001-0032
33	Welle	1	9001-0001-0033
34	Welle	1	9001-0001-0034
35	Welle	1	9001-0001-0035
36	Welle	1	9001-0001-0036
37	Welle	1	9001-0001-0037
38	Welle	1	9001-0001-0038
39	Welle	1	9001-0001-0039
40	Welle	1	9001-0001-0040
41	Welle	1	9001-0001-0041
42	Welle	1	9001-0001-0042
43	Welle	1	9001-0001-0043
44	Welle	1	9001-0001-0044
45	Welle	1	9001-0001-0045
46	Welle	1	9001-0001-0046
47	Welle	1	9001-0001-0047
48	Welle	1	9001-0001-0048
49	Welle	1	9001-0001-0049
50	Welle	1	9001-0001-0050
51	Welle	1	9001-0001-0051
52	Welle	1	9001-0001-0052
53	Welle	1	9001-0001-0053
54	Welle	1	9001-0001-0054
55	Welle	1	9001-0001-0055
56	Welle	1	9001-0001-0056
57	Welle	1	9001-0001-0057
58	Welle	1	9001-0001-0058
59	Welle	1	9001-0001-0059
60	Welle	1	9001-0001-0060
61	Welle	1	9001-0001-0061
62	Welle	1	9001-0001-0062
63	Welle	1	9001-0001-0063
64	Welle	1	9001-0001-0064
65	Welle	1	9001-0001-0065
66	Welle	1	9001-0001-0066
67	Welle	1	9001-0001-0067
68	Welle	1	9001-0001-0068
69	Welle	1	9001-0001-0069
70	Welle	1	9001-0001-0070
71	Welle	1	9001-0001-0071
72	Welle	1	9001-0001-0072
73	Welle	1	9001-0001-0073
74	Welle	1	9001-0001-0074
75	Welle	1	9001-0001-0075
76	Welle	1	9001-0001-0076
77	Welle	1	9001-0001-0077
78	Welle	1	9001-0001-0078
79	Welle	1	9001-0001-0079
80	Welle	1	9001-0001-0080
81	Welle	1	9001-0001-0081
82	Welle	1	9001-0001-0082
83	Welle	1	9001-0001-0083
84	Welle	1	9001-0001-0084
85	Welle	1	9001-0001-0085
86	Welle	1	9001-0001-0086
87	Welle	1	9001-0001-0087
88	Welle	1	9001-0001-0088
89	Welle	1	9001-0001-0089
90	Welle	1	9001-0001-0090
91	Welle	1	9001-0001-0091
92	Welle	1	9001-0001-0092
93	Welle	1	9001-0001-0093
94	Welle	1	9001-0001-0094
95	Welle	1	9001-0001-0095
96	Welle	1	9001-0001-0096
97	Welle	1	9001-0001-0097
98	Welle	1	9001-0001-0098
99	Welle	1	9001-0001-0099
100	Welle	1	9001-0001-0100

