



# АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Брой 4  
юли 2022 г.

Издателство на ТУ-София

ISSN: 2682-9584



# АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**Брой 4 юли 2022 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. дн инж. Иво Малаков

проф. д-р инж. Пламен Петров

проф. д-р инж. Димчо Чакърски

проф. 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 965-27-66, GSM+359 895 590 330, e-mail: adp-konf@tu-sofia.bg

# AUTOMATION OF DISCRETE PRODUCTION ENGINEERING

**Issue 4 July 2022 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,

Dsc Prof. Eng. Plamen Petrov, PhD

Prof. Eng. Dimtcho Tchakarsky,

PhD 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. Ochridski” Blvd №8, TU – Sofia dep. ADPE, FME  
tel.: +3592 965-27-66, mobile +359 895 590 330, e-mail: adp-konf@tu-sofia.bg

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Брой 4  
юли 2022 г.

Издателство на ТУ-София

ISSN: 2682-9584



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

### ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ

#### ПОЧЕТЕН ПРЕДСЕДАТЕЛ:

проф. дн инж. Иван Кралов – 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 Никулч - 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. дн инж. Александър Михайлов – ТУ-Донецк

д-р инж. Фолкмар Флеминг – ТУ-Дрезден

проф. д-р инж. Любомир Димитров – зам. Ректор ТУ

проф. дн инж. Иво Малаков - кат. АДП

проф. д-р инж. Димчо Чакърски – кат. АДП

проф. д-р инж. Тодор Нешков – кат. АДП

проф. дн инж. Христо Шехтов – ЛТУ, София

проф. д-р инж. Роман Захариев - БАН

проф. д-р инж. Стефан Къртунов – ТУ, Габрово

проф. д-р инж. Панчо Томов – зам. декан на МФ

проф. д-р инж. Пламен Петров - кат. АДП

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. дн инж. Иво Малаков

#### ЧЛЕНОВЕ:

проф. д-р инж. Димчо Чакърски

проф. д-р инж. Тодор Нешков

проф. д-р инж. Димитър Дамянов

проф. д-р инж. Христо Шехтов

проф. д-р инж. Стефан Къртунов

проф. д-р инж. Роман Захариев

проф. д-р инж. Пламен Петров

проф. д-р инж. Панчо Томов

### СЕКРЕТАРИАТ

доц. д-р инж. Татяна Вакарелска

гл. ас. д-р инж. Слав Димитров

Тридесет и първата международна научно-техническа конференция „Автоматизация на дискретното производство” (АДП 2022) се провежда от 29 юни до 02 юли 2022 год. в УСОБ на ТУ-София, Созопол в рамките на Дните на науката на ТУ-София.

За конференцията са депозиран и приети от програмния комитет 56 доклада от 79 автора, работещи в областта на автоматизацията на дискретните производствени процеси.

Представените доклади са в девет научни направления както следва:

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

Организационният комитет благодари на всички участници в конференцията за своевременното депозиране на научните доклади и спазването на изискванията за тяхното оформяне.

Организационният комитет благодари на НИС при ТУ-София и на фирмите „ВАНИКО” ООД – Благоевград, “КМС Инженеринг” ООД – Пловдив, и “ЛотиСофт” ЕООД- София за финансовото подпомагане провеждането на конференцията.

Предпечатната подготовка на докладите от XXXI МНТК “Автоматизация на дискретното производство” (АДП 2022) е извършена от доц. д-р инж. Ренета Димитрова.

За контакти:

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](mailto:adp-konf@tu-sofia.bg)

## СЪДЪРЖАНИЕ:

**I. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 1 “ТЕОРЕТИЧНИ ПРОБЛЕМИ НА АВТОМАТИЗАЦИЯТА НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО”**

Габриела Коцева, Николай Стоименов, Любен Клочков, ОБЗОР И АНАЛИЗ НА МЕТОДИ ЗА ПОВИШАВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ЖИВОТ ПРИ НЕЗРЯЩИ И СЛАБОВИЖДАЩИ ХОРА .....	4
Tsvetina Tsakova, THE TENDENCIES OF THE SCIENTIFIC RESEARCH IN A GLOBAL SCALE .....	8
Десислава Георгиева, Петър Горанов, Лука Банкелли, АНАЛИЗ НА ЗАКОНОДАТЕЛСТВОТО И ИЗИСКВАНИЯТА ЗА БЕЗОПАСНОСТ КЪМ МАТЕРИАЛИТЕ ИЗПОЛЗВАНИ ЗА ОПАКОВКИ НА ХРАНИ .....	13
Габриела Коцева, Николай Стоименов, Любен Клочков, ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ДЕЗИНФЕКЦИЯТА В ЖИВОТНОВЪДНИТЕ ФЕРМИ .....	18
Давид Авишай, Галя Павлова, АКАДЕМИЧНО ОБУЧЕНИЕ ПО ИНТЕЛИГЕНТНО ИНЖЕНЕРСТВО, ПОДГОТОВКА НА ИНЖЕНЕРНИ КАДРИ ЗА ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ .....	22
Стефан Къртунов, МЕХАТРОНИКАТА НА 50 ГОДИНИ – СИТУАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ДИАМАНТЕНАТА И ВЪЗРАСТ .....	27
<b>II. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 2 “ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНИ ЗА АВТОМАТИЗИРАНОТО ДИСКРЕТНО ПРОИЗВОДСТВО</b>	
Христо Шехтов, СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОЦЕСА НА КОНВЕКТИВНО КАМЕРНО СУШЕНЕ НА ДЪСКИ .....	33
Татяна Андонова-Вакарелска, Изабела Радкова, ОТНОСНО АВТОМАТИЗИРАНЕ ПРОИЗВОДСТВОТО НА ХАРТИЕН ПЪЛНЕЖ ЗА МЕБЕЛНИ ПЛОЧИ .....	38
Владимир Бояджиев, СРАВНИТЕЛЕН НАДЕЖДНОСТЕН АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОННА И ХИДРОПНЕВМАТИЧНА ЧАСТИ НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ .....	44
Владимир Бояджиев, МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖДНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ПОДАВАТЕЛЕН ПРЕВОД ПО ОС Z НА МЕТАЛОРЕЖЕЩА МАШИНА С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ .....	48
Генади Цветанов, Мирослава Ненчева, Северин Хаджиев, ПРОЕКТИРАНЕ НА ИНСТРУМЕНТ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА МАЛКОМОДУЛНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА С АСИМЕТРИЧЕН ПРОФИЛ НА ЗЪБИТЕ .....	52
Петър Панев, Миглена Панева, ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ВИДОВЕ ТЕРМОСВИВАЕМИ МАШИНИ .....	56
<u>Петър Хаджийски</u> , Илиян Илиев, Стефан Василев, ОТНОСНО РЕГУЛИРАНЕТО НА РАЗСТЪРГВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ .....	60
<b>III. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 3 “АВТОМАТИЗИРАНЕ ПОТОКА НА ДЕТАЙЛИТЕ”</b>	
Вълко Митев, Кирил Митев, ДЕФИНИРАНЕ НА ПАРАМЕТРИ, ФУНКЦИИ, ФУНКЦИОНАЛНИ ЗОНИ И ЕЛЕМЕНТИ НА УСТРОЙСТВО ЗА ОРИЕНТИРАНЕ НА КАПАЧКИ ТИП ПУЛВЕРИЗИРАЩИ ПОМПИ .....	63
Пенко Митев, ПРОЕКТИРАНЕ НА ОРИЕНТАТОР ЗА ДЪЛГИ ВИНТОВЕ С РАЗЛИЧНИ ДЪЛЖИНИ .....	66
Ренета Димитрова, Атанас Велков, Слав Димитров, ИЗБОР НА ЗАДВИЖВАНЕ ЗА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО .....	69
Слав Димитров, Кристиян Бонев, Габриела Коцева, ИЗРАБОТВАНЕ НА ПРОТОТИП НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО .....	75
Йото Георгиев, АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВО НА КАБЕЛНИ ИНСТАЛАЦИИ ЗА АВТОМОБИЛНАТА ИНДУСТРИЯ .....	79
Свилен Нейков, ПРИЛОЖЕНИЕ НА МАШИННОТО ЗРЕНИЕ И ДИГИТАЛНИТЕ ДВОЙНИЦИ ПРИ АВТОМАТИЗИРАЩИТЕ СИСТЕМИ .....	84
Илиян Илиев, Стефан Василев, УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА МАШИНА ЗА АВТОМАТИЧЕН МОНТАЖ .....	88

**IV. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 4 “ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ И РОБОТИЗИРАНИ КОМПЛЕКСИ”**

Борян Владимирова, Стилиан Николов, Слав Димитров, ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ В ОПАСНИ ЗА ЧОВЕШКОТО ЗДРАВЕ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СРЕДИ .....	94
Plamen Raykov, Nina Valchkova, Roman Zahariev, ANALYSIS OF THE CRITERIA FOR MOBILITY OF SERVICE ROBOTS .....	99
Vasil Tzvetkov, Nina Valchkova, Roman Zahariev, MOBILE ROBOTIC PLATFORM CALLED ЗРІ, DESIGNED FOR MEDICAL PURPOSES AND FOR USE IN TRAINING .....	104
Станислав Цолов, РАЗРАБОТВАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РОБОТИ С ПАРАЛЕЛНА КИНЕМАТИКА .....	109
Станислав Цолов, Ренета Димитрова, Стилиан Николов, СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА АЛГОРИТМИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РОБОТИ С ПАРАЛЕЛНА КИНЕМАТИКА .....	113
Ванеса Чавушян, Ваня Георгиева, Стилиан Николов, МЕТОДИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ВИБРАЦИИТЕ В РОБОТИЗИРАНИТЕ СИСТЕМИ .....	120

**V. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 5 “АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МОНТАЖА**

Димитър Тотев, ОСНОВНИ ПРОБЛЕМИ ПРИ ИНТЕГРАЦИЯТА НА СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМИ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ И ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА КОНЦЕПЦИЯТА „ИНДУСТРИЯ 4.0“ .....	124
Генади Цветанов, Николай Петров, ОСНОВНИ ВИДОВЕ ЗАДВИЖВАНЯ В ИНДУСТРИАЛНИ РОБОТИ ЗА АСЕМБЛИРАНЕ НА СКРЕПИТЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ .....	129
Ваня Георгиева, Габриела Коцева, АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНИЯ ПРОЦЕС ИЗПОЛЗВАН ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПИЦИ ОТ ИНОВАТИВНИ АМ И АЛ .....	134

**VI. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 6 “МЕХАТРОНИКА”**

Кирил Недялков, Мартин Камбушев, CLOUD COMPUTING (ИЗЧИСЛЕНИЯ В ОБЛАК) - СЪЩНОСТ И ПРИЛОЖЕНИЕ .....	138
Кирил Камбушев, ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДЕЛ НА АВИАЦИОНЕН ПОСТОЯННОТОКОВ ГЕНЕРАТОР .....	142
Емил Петров, Силвия Ангелова, Пламен Райков, Росица Райкова, ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОБЛЕМИ НА АКТУАТОР ЗА АКТИВНА ЛАКЪТНА ОРТЕЗА .....	146
Ивайло Трифонов, Иван Златев, ПРОЕКТИРАНЕ И КОНСТРУИРАНЕ НА КВАДРОКОПТЕР МИ-845 .....	151
Росен Петров, Денис Чикуртев, КОМБИНИРАНИ ХИБРИДНИ СОЛАРНИ СИСТЕМИ .....	157
Veronika Ivanova, Ani Boneva, EARLY DESIGN OF A MECHATRONIC LAPAROSCOPIC DEVICE FOR SURGICAL TRAINING .....	161

**VII. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 7 “СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ В ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО”**

Joanna Alexieva, Pancho Tomov, A CONCEPTUAL GENERALIZED NETS MODEL FOR CHECKING THE ACCESSIBILITY OF WEBSITES AND MOBILE APPLICATIONS .....	167
Снежана Николова, Мартин Симеонов, Мартин Камбушев, ОСОБЕНОСТИ НА СОФТУЕРНО ОСИГУРЯВАНЕ НА КВАДРОКОПТЕР МИ-845 .....	171
Stefan Biliderov, Radostina Calovska, DEVELOPMENT OF A COMPUTER-CONTROLLED CLIMATE REGULATION SYSTEM IN A CAR .....	175
Слав Димитров, Галин Рашков, Станислав Цолов, ПРОГРАМИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО .....	179
Чавдар Костадинов, ИНДУСТРИЯ 4.0 И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВАТА ПРЕД ОСИГУРЯВАНЕТО НА СИГУРНОСТ И ЗАЩИТА В КИБЕРПРОСТРАНСТВОТО .....	184
Денис Чикуртев, Ава Чикуртева, РАЗПРЕДЕЛЕНА АРХИТЕКТУРА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МОДУЛНИ РОБОТИ .....	190
Свилен Нейков, РАЗРАБОТВАНЕ НА КЛАСИФИКАЦИЯ НА PLC .....	195



---

Станислав Йовков, МЕТОДИ ЗА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ НА УЧЕБЕН МОБИЛЕН РОБОТ ..... 200

**VIII. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 8 “ИНОВАЦИИ И ИНЖЕНЕРИНГ НА АВТОМАТИЗИРАНОТО ДИСКРЕТНО ПРОИЗВОДСТВО”**

Красимира Стоилова, Тодор Стоилов, УПРАВЛЕНИЕ НА ГРАДСКИ ТРАФИК..... 205

Красимир Терзиев, Димитър Карастоянов, LEO СПЪТНИЦИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ В СЕЛСКОТО СТОПАНСТВО..... 210

Людмил Илиев, Димитър Карастоянов, Тодор Стоилов, УПРАВЛЕНИЕ НА ОБОРОТНИ ФИНАНСОВИ СРЕДСТВА ..... 215

Милена Бисерова Харалампиева, Венета Йосифова, СЪХРАНЕНИЕ НА ВЪЗОБНОВЯЕМА ЕНЕРГИЯ НА БАЗА ФАЗОВО ПРОМЕНЯЩИ СЕ МАТЕРИАЛИ ..... 219

Милвина Терзиева, Димитър Карастоянов, БАНКОВИ УСЛУГИ ЧРЕЗ ПЛАТФОРМА IDEAL В ИНТЕЛИГЕНТНОТО ЖИВОТНОВЪДСТВО ..... 223

Dimitre Kromichev, MULTIPLICATION IN FPGA BASED EDGE DETECTION: MAXIMUM OPERATING FREQUENCY ..... 227

Dimitre Kromichev, FPGA BASED EDGE DETECTION: MAXIMUM OPERATING FREQUENCY OF INTEGER DIVISION WITH A VARIABLE DIVISOR AND DIVISION BY MULTIPLYING WITH THE RECIPROCAL OF DIVISOR ..... 233

**IX. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 9 “CAD/CAM СИСТЕМИ”**

Слав Димитров, Ренета Димитрова, Васил Стоименов, 3D МОДЕЛИРАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО ..... 238

Слав Димитров, Сисак Маркосян, Христофор Рачев, ИНЖЕНЕРЕН АНАЛИЗ НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО ..... 243

Петър Горанов, Десислава Георгиева, Лука Банкелли, КОНЦЕПЦИЯ НА СИСТЕМА ЗА ИНФОРМАЦИОННО ОСИГУРЯВАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПРОЕКТИРАНЕ С ИЗИСКВАНИЯТА ЗА БЕЗОПАСНОСТ ..... 248

Миглена Панева, Петър Панев, Габриела Коцева, МОДЕЛИРАНЕ И ЕКСТРУДИРАНЕ НА СФЕРА ЧРЕЗ 3Д АДИТИВНА ТЕХНОЛОГИЯ ..... 253

Петко Стоев, РАЗРАБОТКА НА ПОВДИГАЩ МОДУЛ НА МОБИЛЕН РОБОТ ЗА СКЛАДОВИ ПОМЕЩЕНИЯ ..... 259

Чавдар Костадинов, Иванка Пеева, ПРОГНОЗИРАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ГЪВКАВА ПРОИЗВОДСТВЕНА СИСТЕМА ..... 263

# ОБЗОР И АНАЛИЗ НА МЕТОДИ ЗА ПОВИШАВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА ЖИВОТ ПРИ НЕЗРЯЩИ И СЛАБОВИЖДАЩИ ХОРА

Габриела Коцева  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии към  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: gabriela.kotseva@iict.bas.bg

Николай Стоименов  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии към  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: nikolay.stoimenov@iict.bas.bg

Любен Клочков  
Катедра „Автоматизация на  
дискретното производство,  
Технически Университет – София  
София, България  
e-mail: lklochkov@tu-sofia.bg

**Резюме:** В настоящата статия са разгледали възможностите за социализация и методите на обучение за зрително затруднени личности. Направен е обзор на историческото развитие и повишаване качеството на живот на хората с нарушено зрение. Обърнато е внимание на Брайловата азбука, нейният произход, стандарти в различни страни и използването и в различни направления.

**Ключови думи:** Брайлово писмо, Брайлова азбука, незрящи, зрителни увреждания

## I. ВЪВЕДЕНИЕ

Слепотата е едно от най-тежките сензорни увреждания. Около 90% от информацията за околния свят постъпва в човека чрез зрителния анализатор. Зрителното увреждане е предпоставка за намаляване на двигателната активност, сериозни затруднения при ориентирането и придвижването в пространството, самообслужването и комуникацията. Липсата на зрение поражда много сериозни ограничения във всички възможни сфери на човешката дейност [1].

Различията в развитието на човека като личност, отличаваща се от останалите със своята индивидуалност, чиято социализация се детерминира съобразно водещите приоритети и парадигми в общественото развитие е от особено значение. Зрително затруднените деца и ученици получават различно отношение и място в историята на образованието. Промени, намерили израз в методите, формите и средствата на обучение, възпитание и социализация във времето. Ретроспекцията в тази посока е важна за съвременното обучение с опита, изводите и положителните практики [1, 2, 3].

Целта на настоящата статия е обзор и анализ на методи и средства за повишаване качеството на живот при незрящи и слабовиждащи хора.

## II. ИСТОРИЯ ВЪВ ВРЕМЕТО ОФОРМЛЕНИЕТО

Системата за тактилното релефно писане започва своята история през 1821 г., когато незрящият французин Луи Брайл (1809-1852) е озарен от идеята за брайлова азбука. Тази идея се развива, за да бъде приета в целия свят като основна форма на писмена комуникация за незрящи хора [2, 4].

Брайловото писмо е създадено от Луи Брайл през 1825 г. Предисторията на появата на това писмо е особено интересна и затова се обръща внимание на нея. Релефната точка като основен елемент на буквата принадлежи на италианския монах Лана, който още през 1670 г. създава първия подобен шрифт за слепи. През 1823 г., стъпвайки върху идеята на отец Лана, френският капитан Шарл Барбие предлага свой релефно-точков шрифт. Значимият принос на Луи Брайл е, че развива предложенията от Барбие шрифт, като отстранява някои негови основни недостатъци, а именно: фонетичния му характер, липсата на пунктуация и относително големия размер на отделните букви. Брайловото писмо се превръща в универсално писмо на незрящите по света. Днес то е адаптирано към всички основни езици. Големите му предимства го налагат като световен шрифт на незрящите [3, 5].

Внедряването в обучителния процес стартира през 1784 г., тогава се открива и първото специално учебно заведение от институционален тип. Интегрираното обучение води началото си от 1900 г. в САЩ, но училищната интеграция и по-късно образователното включване постепенно започват да доминират през последните десетилетия на XX век [6].

В началото на 50-те години на XX век започва деинституционализацията на обучението с постепенното развитие на интегрираното обучение, преход към информационната революция, за да достигне днес до образователното включване въз основа на равноправното участие на зрително затруднените в живота на обществото. Третият период е естествено продължение на втория чрез появата на нова образователна концепция [6].

През 1905 г. в България се полагат основите на обучението на незрящите с откриването на Държавния институт за слепи в София. Тя сред първите държави, полагачи грижи за незрящи на Балканите. Идеята възниква от проф. д-р Иван Шишманов, който по това време е министър на народното просвещение. Той възлага на д-р Донеv извършване на предварителни сравнителни проучвания в Австро-Унгария, Германия и Русия [6].

В началото на 90-те години започва етапът на образователно интегриране, като продължава и до днес.



Той е свързан с революционните промени на 90-те години, навлизането на информационната революция и прехода от интегрирано към включващо обучение [3, 6].

### III. ЗРИТЕЛНИ УВРЕЖДАНИЯ

По статистически данни, всяка година в България средно 1700 човека изгубват своето зрение. За тези хора принудително започва един изцяло различен, обръкващ и често непредсказуем етап от живота. Значително по – малка група хора се раждат и израстват със сериозни зрителни увреждания. Всички те имат нужда от грижи, обучение и подходяща подкрепа [1].

#### A. Видове зрителни увреждания

Видовете зрителни увреждания основно се делят на три вида: частична (нарушено зрение – притежаващи остатъчна зрителна способност, която им позволява да се справят с ежедневните дейности); вродена слепота (родени слепи, които са без представа как изглежда света около тях); придобита слепота (изгубено зрение впоследствие, имащи визуална представа за света) [1].

#### B. Ограничения вследствие слепота и слабо зрение

Тези ограничения се преодоляват посредством предоставяне на социални услуги и системно обучение от специално подготвени за целта кадри, преминали специализирано обучение за придобиване на професионални умения, знания и компетентности за работа със зрително затруднени лица. Необходимо е специалистите, предоставящи услуги на слепи и слабовиждащи лица да познават добре методите и средствата за основна рехабилитация, обучение и социална работа, както и проблемите и рисковите фактори в пряката работа с тях [1].

#### C. Често срещани проблеми при хора след увреждане на зрението

Зрителните увреждания са предпоставка за: социална изолация, намаляване на двигателната активност, сензорни ограничения при ориентиране, самостоятелно придвижване в пространството, сензорни затруднения при самообслужването, сензорни пречки при комуникации и достъп до информация [3].

Основните причини са: физиологически, психически и функционални [3].

### IV. МЕТОДИ ЗА ОБУЧЕНИЕ

Зрително затруднените ученици могат да се разделят в следните основни групи в зависимост от дълбочината на своето зрително увреждане [3]:

1. Тотално (напълно) слепи – с нулева зрителна острота –  $\emptyset$ ;
2. Ученици с перцепция на светлина или светлоусещане (PL) и зрителна острота между  $\emptyset - 0.01$ ;
3. Частично виждащи – със зрителна острота между  $0.01 - 0.04 (0.05)$ ;
4. Слабовиждащи – със зрителна острота между  $0.04 (0.05)$  до  $0.2$  на по-доброто око).

В зависимост от това към коя група се причислява зрително затрудненият ученик, той поставя различни предизвикателства пред своя масов и ресурсен учител,

който го насочва през етапите при: особености в четенето и писането, нагледност в учебния процес, трудности в придвижването [3].

Ако учениците спадат към първата, втората, а до голяма степен и към третата групи, те ще бъдат обучавани да четат и пишат на Брайл (Брайлово писмо) [6].

#### A. Брайлово писмо

Брайловата азбука е система за докосване, четене и писане, в която повдигнати точки представляват буквите на азбуката и числата, както и музикални бележки и символи. Брайловата азбука съдържа символи за препинателни знаци и осигурява система думи с къса форма за пестене на място, което го прави ефикасен метод за тактилно отчитане [8].

Предимствата на Брайловото писмо са: създадено на базата на комбинации от 6 релефни точки, разположени в 2 колони по 3 точки, обхващащи 63 комбинации. Така позиционирана, буквата се формира в подходящ размер. Съкращават се излишни движения, което допринася за по-бързо четене. Има възможност за изписване на математически знаци. Брайловото писмо е универсално и е пригодно към всеки език по света [3, 9]. Тактилната система позволява компютъризация и възможност за прилагане с помощта на съвременните технологии.

Като недостатъци, може да се отчетат: голям обем, ниска четивна и писателна скорост, сложно книгопечатане.

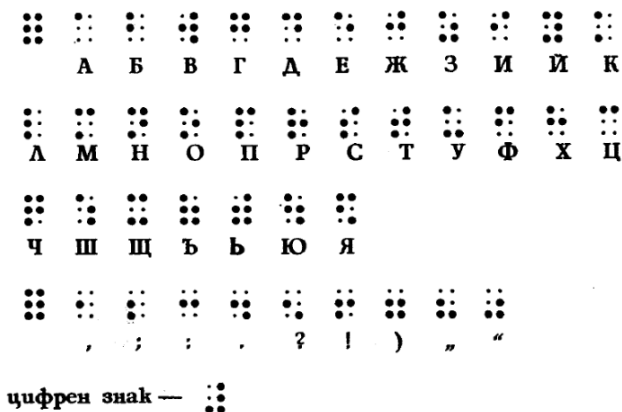
Овладяването на Брайловите букви не представлява особена трудност нито за зрително затруднените, нито за виждащите, но неговото реално практическо използване като средство за тактилно четене нерядко е трудност. На фиг. 1 и 2 са показани оригиналната, латинска брайлова азбука, както и българската брайлова азбука [3, 9].

В България методиката на Брайлово ограмотяване е разработена от Радулов (1983) и е описана в "Основи на Брайловото обучение" [3]. Първата стъпка в ограмотяването е създаване на правилна постановка на ръцете за четене и осигуряване на бързи и координирани движения на пръстите [3].

#### ЛАТИНСКА БРАЙЛОВА АЗБУКА

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1 ● 2 ●	1 ● 2 ● 3 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ● 9 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ● 9 ● 10 ●
K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1 ● 2 ● 3 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ● 9 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ● 9 ● 10 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ● 9 ● 10 ● 11 ●
U	V	W	X	Y	Z				
1 ● 2 ● 3 ● 4 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ●	1 ● 2 ● 3 ● 4 ● 5 ● 6 ● 7 ● 8 ● 9 ●				

Фиг. 1. Латинска Брайлова азбука [3, 9]

**БЪЛГАРСКА БРАЙЛОВА АЗБУКА**


Фиг. 2. Българска Брайлова азбука [3, 9]

Втората стъпка е запознаване с геометрията на Брайловата клетка [3]. Това означава запомняне на положението на всяка точка в Брайловата клетка.

**В. Стандарти на Брайловото писмо**

Стандартите за създаване на тактилни релефни знаци, подходящи за узнаване са се развили далеч от тези за хартия. Много държави са създали своите собствени спецификации като част от техните държавни строителни кодекси и докато размерът на Брайловата азбука и изисквания за разредка са част от закона за американците с увреждания, актуализиран стандарти, основани на международния сграден кодекс, са в процес на близо петнадесет години (таблица 1). В България до момента няма строг стандарт за Брайлово писмо, но опитно измерени, размерите се доближават до повечето обявени стандарти от другите страни [3, 7, 8, 9].

ТАБЛИЦА 1 АМЕРИКАНСКИ НАЦИОНАЛЕН СТАНДАРТ [7, 8, 9]

Обхват на измерване	Минимум – Максимум [mm]
Диаметър на основата на точката	1.5 – 1.6
Разстояние между две точки в една и съща клетка	2.3 – 2.5
Разстояние между съответните точки в съседни клетки	6.1 – 7.6
Височина на точката	0.6 – 0.9
Разстояние между съответните точки от една клетка отдолу	10.0 – 10.2

Таблица 2 съдържа обобщение на различните Брайлови размери, използвани в основните страни производителки на Брайлово писмо и за специфични приложения. Marburg Medium е единственият препоръчан за фармацевтични опаковки [7, 9].

ТАБЛИЦА 2 АМЕРИКАНСКИ НАЦИОНАЛЕН СТАНДАРТ [9, 10]

	Хоризонтал от точка до точка [mm]	Вертикал от точка до точка [mm]	От клетка към клетка [mm]	От линия до линия [mm]	Диаметър на точка [mm]	Височина на точка [mm]
Американска библиотека на Конгреса	2.5	2.5	6.25	10.0		0.5
Американска библиотека за слепи	2.28	2.28	6.09	10.16		0.5
Американски Стандартен знак	2.3-2.5	2.3-2.5	6.1-7.6	10.0-10.1	1.5-1.6	0.6-0.9
Австралия Знак	2.29-2.50	2.29-2.54	6-6.1	10.16-10.41	1.40-1.5	0.46-0.53
Калифорнийски	2.54	2.54	5.08			0.64
Евро брайлови знаци	2.5	2.5	6.0	10.0	1.3	0.5
Електронна брайлова азбука	2.4	2.4	6.4			0.8
Английски Interline	2.29	2.54	6.00	12.70	1.4-1.5	0.46
Английски Interpoint	2.29	2.54	6.00	10.41	1.4-1.5	0.46
Японски	2.13	2.37	5.4	13.91	1.43	0.5
Разширен американски	2.54	2.54	7.24	12.70		
Подобрено разстояние между линиите	2.29	2.29	6.1	15.24		
Френски	2.5-2.6	2.5-2.6		>10	1.2	0.8-1.0
Немски	2.5	2.5	6.0	10.0	1.3-1.6	≥0.5
Международен сграден стандарт	2.5	2.5	6.1-7.6	10.0-10.1	1.5-1.6	0.6-0.9
Италиански	2.2 – 2.5	2.2-2.5			1.0	0.5
Корейски	2.0	2.0	5.0	6.0	1.5	0.6
Латвийски	2.5	2.5	5	10.0	1.6	0.45
Marburg Medium	2.5	2.5	6.0	10.0	1.3-1.6	
Marburg Large	2.7	2.7	6.6	10.8	1.5-1.8	
Португалски	2.29	2.54	6.0	10.41	1.4	

**V. БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ**

Развиването на новите технологии дава шанс за бъдещо повишаване качеството на живот при незрящите възрастни и деца, така че да се разкрият нови предложения за образование и специално обучение, професионална квалификация, лични приспособления, които да ги улесняват и др. Освен трудните и бавни класически технологии за отпечатване в близкото минало е съществувал и проблемът за копиране от обикновен на брайлов шрифт. Това е основната причина да не се печатат брайлови вестници. Днес съществува електронно копиране и модерни брайлови принтери. Навлизането на 3D адитивните технологии дават надежда за разработване на висококачествени детайли и прототипи от заобикалящия ги свят, за да го опознаят, особено когато става въпрос за родените напълно слепи хора. Постоянната оптимизация на адитивните технологии намалява цената им. Оптимизацията и правилното моделиране при размерите на отпечатваните модели е ключова за намаляване на разходите при 3D принтирането [11, 12]. Моделите на Лийн Стартър могат да се имплементират за управление на проекти, свързани с подобряване качеството на живот при хора в неравносложно положение. Основните стълбове за оптимално управление е необходимо се съобразят с целите на таргетираните групи потребители [13,14, 15].

**VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Въз основа на направения анализ и проучване на стандартните методи за обучение, може да се каже, че за незрящите първата стъпка към повишаване качеството на живот е обучението. Основа в образованието е разчитане на Брайлово писмо и следващото им развитие в различните сфери от живота. Това дава и основен акцент върху насърчаването на независимостта на тези потребителите.

Развитието в тази насока е от особена значимост. Тези стъпки, включително използването на 3D технологиите може да повиши цялостната им представа и опознаването на околния свят.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепата на проект по Фонд Научни Изследвания, „Конкурс за финансиране на научни изследвания по обществени предизвикателства – 2018, „Разработване на гъвкава методология за развитие и управление на иновационни проекти в научни организации“, договор № КП-06-ОПР01/3“.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Фондация Хоризонти, Рехабилитация на зрително затруднените [www.horizonti.bg/120/rehabilitacija-na-zritelno-zatrudnenite](http://www.horizonti.bg/120/rehabilitacija-na-zritelno-zatrudnenite) (последно посетен март 2022)
- [2] Стефанова Н., Отношението към незрящите през различните исторически епохи, Годишник на Шуменския университет „Епископ Константин Преславски“, Педагогически факултет, година XXIV/2020, ISSN: 1314-6769, 2020, стр. 658-666
- [3] Мира Цветкова-Арсова, АБВ на работата с интегрирани зрително затруднени ученици, Особености на интегрираното обучение, издателство „Д-р Иван Богоров“, София, 2008, стр.150-164
- [4] The National Library Service for the Blind and Print Disabled, NLS Factsheet: About Braille <https://www.loc.gov/nls/resources/blindness-and-vision-impairment/braille-information/about-braille/> (последно посетен април 2022)
- [5] Педагогика на зрително затруднените, В. Радулов, Университетско издателство „Св. Климент Охридски“, София, 2004г.
- [6] Радулов В., История на педагогиката на зрително затруднените, Издателство: УИ „Св. Климент Охридски“, 2017
- [7] Данчев С., Методика на соц. услуги за хора със зрителни увреждания, <http://blog.rehcenter.org/viewtopic.php?f=26&t=62> (последно посетен март 2022)
- [8] Радулов В., История на педагогиката на зрително затруднените, Издателство: УИ „Св. Климент Охридски“, 2004
- [9] Pharmaceutical Braille, <https://www.pharmabraille.com/pharmaceutical-braille/marburg-medium-font-standard/> (последно посетен март 2022)
- [10] Size and Spacing of Braille Characters, American National Standard: Accessible and Usable Buildings and Facilities: 2003: Standard and Commentary. ICC/ANSI A117.1-2003. P151-163 - <http://www.brailleauthority.org/sizespacingofbraille/sizespacingofbraille.pdf> (последно посетен февруари 2022)
- [11] Malakov I., Zaharinov V., Tzenov V., Size Ranges Optimization, Procedia Engineering, Volume 100, pp. 791-800, ISSN 1877-7058, 2015
- [12] Malakov I., Georgiev T., Zaharinov V., Tzokev A., Tzenov V., Demand modeling for the optimization of size ranges, Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 26th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2015, Zadar, Croatia, pp. 435-444, 21-24 October, 2015
- [13] Yordanova Z., Biolcheva P., Peshev P., Educational innovation management-good practices from higher education institutions, XVI International conference of Management and Engineering, 2018
- [14] Yordanova Z., Gamification in Management Information systems, ICAICTSEE, 2018
- [15] Yordanova Z., Lean Startup as a Project Management Method in Science Organizations, 3rd International Conference on Applied Technologies, ICAT 2021, 27-29 October 2021 Vol. 1535, pp. 165-175, 2021

## OVERVIEW AND ANALYSIS OF METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF LIFE IN IMPERMINATED AND LOW-SIGHTED PEOPLE

Gabriela Kotseva  
*Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences*  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: gabriela.kotseva@iict.bas.bg

Nikolay Stoimenov  
*Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences*  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: nikolay.stoimenov@iict.bas.bg

Luben Klochkov  
*Automation of Discrete Production,  
Technical University of Sofia*  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: lklochkov@tu-sofia.bg

**Abstract:** In the presented paper are considered possibilities for socialization and the methods of training for the visually impaired people. An overview of the historical development and improvement of the quality of life of the visually impaired is made. Attention is paid to the Braille alphabet, its origin, standards in different countries and its use in different directions.

# THE TENDENCIES OF THE SCIENTIFIC RESEARCH IN A GLOBAL SCALE

Tsvetina Tsakova  
University of Forestry  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: tsvetitsakoff@abv.bg

**Abstract:** The transfer of the science and innovations in the industry is the key cause of the third generation universities. The new technological productions require highly professional and competent human resources. The applied education which cultivates experience and skills is the actual function of the academic institutions.

The labour-social practice shows that the collaboration between business and high education deepens. Various organizational forms of collaboration, including students' initiatives are applied. The European association ESTIEM (European Students of Industrial Engineering and Management) established in 1990 is a mediator between the universities and the companies. The aim of the European association is that the students should achieve experience and skills for work in international teams.

The results from the scientific research are commercialized through the market mechanisms. Different ways are used for the transformation of the scientific prototype in a market product. The former university lecturer Gunter Shu has found a niche in the market of innovations. He has established Next.e Go Mobile in the city of Aachen, Germany. The company invests in micro factories for the sustainable production of electric cars, e.g. local manufactures which are close to local markets.

The modern profitable universities integrate the applied education and science with the commercialization of the digital and ecological technologies. The European programme Horizon Europe (2021-2027) for science and innovations finances top scientific achievements which correspond to the Green and Digital transition of the economy.

The European Union is the third world economic power after China and USA. The European Road Map for the establishment of a uniform scientific research environment is a strategic document for the educational policy. The project European University of Technology – EUt+ is part of the solution for a common European educational and scientific environment. The project EUt+ is developed by eight universities- partners from Bulgaria, France, Germany, Cyprus, Ireland, Latvia, Romania and Spain. EUt+ prepares the students and lecturers for the challenges of the multidisciplinary scientific research.

In coordination with the European directives the Bulgarian government updates The National road map for scientific infrastructure (2020-2027). It envisages a reduction of the fragmentation of the scientific research activity. The National Centre for High Achievements in the Mechatronics and Clean Technologies is found in 2021 with this aim. The campus at Studentski grad - Sofia unites four universities – The Technical University in Sofia, Varna and Gabrovo and The Chemical-Technological University – Sofia.

The study is with a focus on the tendencies of the scientific research in a global scale. The main aim is the enlisting of the Bulgarian education and science in the world knowledge-based economy.

The topic is developed through the use of the modern multidisciplinary method of the scientific research. The management, financing, functions and aims of the three historical generations of universities are compared in the analysis and interpretation of the received results.

*Key words:* cause, multidisciplinary scientific research, scientifically applied nature, open innovations

## I. INTRODUCTION

The choice of the topic is not random. It corresponds to the present social-economic reality. The creative human intellect invents the computer and the robot. The Internet and the English language as a *lingua franca* construct the global net society, based on the economy of knowledge.

The migration of lecturers and students around the world makes the education and science international. Each year thousands of Bulgarian students study at foreign universities, and usually do not go back to our country after their graduation.

The universities are conservative educational institutions. The academic society parts with the established status-quo with difficulty, especially at the universities with deeply established traditions. The professors see the innovations like Mark Twain who says: "I'm for the progress but I don't like change".

The modern academic institutions differ from their historical archetypes, mainly by the applied scientific research and the commercialization of innovative technologies. The so-called open innovations are established through the transfer of science into industry.

The study is with a focus on the tendencies of the scientific research in a global aspect. The key aim is the enlisting of the Bulgarian education and science in the world knowledge-based economy.

The topic is developed through the use of the modern multidisciplinary method of scientific research. The management, financing, functions and aims of the three historical generations of universities are compared in the analysis and interpretation of the received results.

## II. EXPOSITION

### A. A short historical review of the evolution of the European universities

There are three models of universities in a historical plan: Middle-aged (first generation university), Humboldt (second generation university) and Modern (third generation university).

*The Middle-aged University* is found by erudite lecturers and diligent students. The word “university” means an association of both lecturers and students. The academic associations are permitted by the Pope and the state. The middle-aged universities assist in the consolidation of the two powers. The education in law stabilizes the state and in theology – the church.

The main aim of the *Middle-aged University* is the acquaintance with the ancient wisdom in the context of the church doctrines. The future princes of both the state and the church study at the universities, but “They do not invent anything. They exercise in delicacy, finesse and eloquence”. [6].

The fundamental change of the *Middle-aged University* starts after the appearance of the Renaissance in Europe in the XIX century. The influence of the church is eliminated slowly. The first Catholic university is established in Bonn, Germany, without a papal decree.

*The Humboldt University* is established in the XIX century during the age of the *Industrial Revolution* in Europe. At this time the academic activity is with a focus on the scientific research, based on systematic experiments and conclusions. The present day science is established and later the technology. The results are published in specialized scientific issues.

It should be pointed out, that the research at the *Humboldt University*, does not have an applied character in spite of the relations between science and industry. The academic staff continues to defend the established status-quo. The inventors Thomas Edison, A. Bell, H. Ford and G. Eastman do not work at the university structures.

The nationalistic ideology in the XIX century reflects on the university activities. The official national languages replace Latin of the academic society. The lack of a *lingua franca* limits the mobility and communication of the scientists. The scientific research is monodisciplinary.

*The Modern university* is established in the XX century. In the 60s there is a mass number of students at academic institutions. The universities grow four times just for one decade. The application exams are abolished in many European countries. There is an abundance of government scholarships without the academic staff being younger. This educational policy is in the benefit of students whose aim is to receive a diploma, respectively a professional realization.

The mass character of the high education puts an end to the part time work day for the lecturers who are also at administrative positions. Not all lecturers are motivated to give up both the lecturing and scientific activity. That is why the universities hire managers for full time jobs. The supporting administrative services are on the rise. The Dutch professor Hans Wissema writes about this transformation in the management of the universities: “The lobbying is a key factor of the academic career. Due to a lack of professors, managers are hired who are former state employees. The deans are professors by tradition. By the reverse logic the managers hired as deans become professors. The original thinking is a victim and mediocrity is a norm” [6].

The transition to the model of the *Modern university* and the changes in high education start earlier in Bulgaria in comparison to Western Europe. In the beginning of the XXI century for a short period of time the number of the universities in the country reaches 52. At the same time thousands of Bulgarian students emigrate abroad. The social-educational processes reduce the criteria both for the admission of the students and the habilitation of the lecturers.

#### B. *The cause of the modern European universities*

*The Third Generation University* prepares for the challenges of the technological XXI century which correspond to the problems of the automation of production. The actual cause of the academic institutions is the transfer of science and innovations in the industry. The European strategy is the establishment of effective collaboration between the universities. The aim is the consolidation of the innovative standards of the high education and the scientific research. The universities are the key drive of the ecological and digital transition of the economy.

The fast-developing industrial European countries establish innovative integrated productions. The smart machines (computer and robot) carry out the routine and repeating operations. That is why, the functions of many of the employees is to monitor, support and control the automated systems.

The new technological industries require highly-qualified and competent human resources. The science for the very science remains in the Humboldt model of universities. The task of the modern academic institutions is the applied education and science which cultivate experience and skills. The sociology of labour differentiates the term “formal knowledge”, e.g. the diploma for a professional qualification from “competence”. According to the definition of Rayman Vatie the competence is “the successful unifier of knowledge, skills and the wish” [2].

The labour – social practice shows that the collaboration between business and high education deepens. Various organizational forms of collaboration including students’ initiatives are applied. The ESTIEM (European Students of Industrial Engineering and Management) - European students’ association established in 1990 becomes more popular. Today the organization unites students from 80 technical universities of over 32 countries. The aim of the European association is that the students should achieve an experience and skills for work in international teams. ESTIEM is an intermediary between the universities and the business.

The results from the applied scientific research become commercialized. Different mechanisms are used for the transformation of the scientific prototype into a market product. Licenses for know-how technologies are most often sold or start-ups are established on the basis of scientific inventions, the so -called technostarters.

A paradigm for network collaboration between the multinational companies and the universities is *The centre for business development at the Technological university in Letterkenny*. The modern incubator research and entrepreneurial Co Lab changes the appearance of the small city in the farthest Northwestern part of Ireland.

Co Lab includes: “23 business centers, situated on the area of 2500 square meters. They provide start-ups with incubators together with equipment for industrial research. The European Union invests in Co Lab 2,67 million of Euros” [5].

The transfer of science and innovations in the industry is done by both lecturers and students who have entrepreneurial skills. The former university lecturer Gunter Shu establishes *Next. E. Go Mobile* in Aachen, Germany. The company invests in micro factories for sustainable production of electrical cars, e.g. manufactures which are close to a local market [3].

Today many multinational companies use the market instruments for the receiving of high-technological prototypes of the universities. For example *The Technical University in Varna*, Bulgaria carries out scientific research with a contract for the companies *Siemens, Microsoft, Lukoil*, etc.

The information and communication company *Acronis-Bulgaria* plans to make considerable investments for scientific research at Bulgarian universities. Sergej Belousov, owner of the company says: “through investment in the university scientific activity *Acronis-Bulgaria* will turn into the biggest Bulgarian IT company. *Acronis-Bulgaria* is open to the hiring of 1000 employees with different professions” [1].

The European Union is the third largest economic power in the world after China and USA. Today the new industrial countries, mainly China and India, actively establish technological companies. The strategy of the EU is not to catch up but to outrun the world innovations (invention +entrepreneurship). The key financial mechanism for the research policy of the EU is *Horizon Europe*. High scientific achievements in the field of digital and ecological technologies are subsidized through the programme.

*The European road map* for the establishment of a uniform scientific area is a strategic document for the educational policy of the EU. The project *European University of Technology Eut+* is part of the decision for a common European educational and scientific environment. Eight universities from Bulgaria (*Technical university – Sofia*), France, Germany, Cyprus, Ireland, Latvia, Romania and Spain participate in the programme. *The European University of Technology* prepares the students and the lecturers for the challenges of the multidisciplinary scientific research.

The Bulgarian government actualizes *The National Road Map for Scientific Infrastructure (2020-2027)* in coordination with the European directives. It predicts a reduction of the fragmentation of the scientific and research activity. In 2021 *The National Centre for high achievements in Mechatronics and clean technologies* is found. The campus at Studentski grad – Sofia combines four universities – Technical universities in Sofia, Varna, Gabrovo and the Chemical Technological University, Sofia.

The European Commission (EC) suggests ten new partnerships between the EU, the member-states and the industry in 2021. The aim of the institutional cooperation is to accelerate the transition to the decarbonization and the

digital industry. The strategic vision of the EC initiative is *Intelligent Europe* for a sustainable and competitive economy.

The institutional European partnerships are financed by the *Programme Horizon Europe (2021- 2027)* for scientific research and investments in innovations. The subsidies are directed to projects, connected with effective low-carbon air planes, use of renewable energy sources, stimulation of leadership in the field of digital technologies and infrastructure and competitive railway transport. The initiative is open to participation of a wide circle of public and private economic subjects such as industry, universities, research institutions, including foundations and non-governmental organizations.

The responsibility of the modern universities is to integrate their new function of commercialization of the research with their traditional aims – education and science. The academic institutions which do not follow the world trends of the university education are in the opinion of professor Hans Wissema: “the new vacuum cleaners which gather students from the neighbouring areas. In fact they serve as transit houses of the best and smartest who later receive their MAs and PhDs from prestigious universities. The universities -vacuum cleaners are like a clearing house for ambitious students and lecturers“ [6].

It should be pointed out, that during the 60s of the XX century the research at the West European universities is developed on the basis of two or more technological disciplines, which add to themselves. The multidisciplinary method replaces the monodisciplinary research at the Humboldt type of universities.

### C. *The reflections of the multidisciplinary method on the scientific research and linguistics*

The Internet communications and the English language transform the technological-scientific area into a global one. All over the world multinational teams work on mega projects for innovations with a vision towards the decarbonization and digitalization of the economy.

The actual evaluation of the results of the scientific studies are with two, instead of three dimensions: social demand, profitability and ecological standard. That is why, a synergetic intellect is necessary, e.g. a team of lecturers from different scientific and technological fields.

The multidisciplinary scientific studies form integral applied sciences. The new subject econometrics combines in one mathematics, economy and statistics.

The commercialization of science and innovations and the multidisciplinary method of study create new lexical constructs such as strategic concept, open innovation, ecological policy, etc. They do not replace but add to the typical for the scientific style word combinations, published in the book by professor Georgi Tassev and Tsvetina Tsakova, PhD - *How to write scientific texts on common scientific topics*.

The scientists go out of the box of their scientific field through the multidisciplinary research. They become part of the so -called network society built on the digital transformation of the global knowledge-based economy.

## III. CONCLUSION

The data from the analysis of the information received from the historical review of the evolution of the academic institutions prove the thesis that their functions and aims are adequate to the social – economic and political status – quo of Europe. The education of theology and law in the *Middle – aged University* unites the church and state power.

*The Humboldt university of Berlin* opens in the XIX century, e.g. at the age of the *Industrial revolution* in Europe. That is why, the basic functions (educational and scientific) are with a focus on the research in the field of the exact sciences - mathematics and engineering. In spite of that, the conservative academic society keeps the status-quo of the inapplicable scientific research, e. g. their products are not integrated into the industry. The famous inventors from this era - Edison, Bell, Ford and Eastman work outside university structures.

The modern European universities are dedicated to solve complex social-economic problems. They construct relations of cause-effect which start and finish with the basic aims and functions of the academic institutions: applicable scientific research - transfer of scientific products (results) and innovations in the industry - competent maintenance of complex automated systems - critical deficiency of highly – qualified human capital - applied university education, e.g. preparation of engineering human resources who are with skills adequate to the economic environment. Consequently, in the technological XXI century the academic education and science are a key strategic factor to the growth and competitiveness of the European economy.

The multidisciplinary method marks the beginning of the third generation of universities. Today the estimation of the scientific product includes more criteria - social benefit, profit of the input of technology and ecological standard of the digitalization and robotization of the applied economy. That is why, the synergy of scientists from different scientific and technological disciplines is applied at a larger scale. The tendency is to broaden the multidisciplinary scientific research of the problems connected with the world climate crisis.

At the end, it should be pointed out, that the profitable universities are the ones which integrate the basic functions - applied education and science with the commercialization of the high achievements of the digital and ecological technologies.

## REFERENCES

- [1] Belousov, S. Sofia as a Centre for the Growth of Acronis. In: Capital, number 21, Sofia, 2021.
- [2] Kergoat, D. Working Hours, Conditions of Labour, Demographic Behavior. Academic Publishing House “Prof. Marin Drinov”, Sofia, 2007.
- [3] Nikolov, K. The Balkan’s Electrical Car in Lovech. In: Capital, number 29. Sofia, 2021.
- [4] Tassev, G., Ts. Tsakova. How to Write Scientific Texts on Common Scientific Topics. Typical for the Scientific Style Word Combinations in Bulgarian, Russian and English. Avangard Prima Publishing House. Sofia, 2011.
- [5] The European commission. The Policies of the European Union. Budget. Service for publications. Sofia, 2014.
- [6] Wissema, H. The Technostarters and the Third Generation Universities. Publishing house at The University of Forestry, Sofia, 2014.

## ТЕНДЕНЦИИТЕ НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ В ГЛОБАЛЕН МАЩАБ

Цветина Цакова

Лесотехнически университет

София, България

e-mail: tsvetitsakoff@abv.bg

**Резюме:** Трансферът на науката и иновациите в индустрията е ключовата кауза на университетите от трето поколение. Новите технологични производства изискват висококвалифицирани и компетентни човешки ресурси. Приложното образование, което култивира опит и умение, е актуалната функция на академичните институции.

Трудово-социалната практика показва, че се задълбочава колаборацията между бизнеса и висшето образование. Прилагат се разнообразни организационни форми на сътрудничество, включително студентски инициативи. Създаденото през 1990 г. европейско сдружение ESTIEM (European Students of Industrial Engineering and Management) е медиатор между университетите и компаниите. Целта на европейската организация е студентите да постигат опит и умения за работа в интернационален екип.

Чрез пазарните механизми се комерсиализират резултатите от научните изследвания. Използват се различни начини за трансформиране на научния прототип в пазарен продукт. Бившият университетски преподавател Гюнтер Шу намира ниша в пазара на нововъведенията. Той основава *Next. e. Go Mobile* в Аахен, Германия. Компанията инвестира в микрофабрики за устойчиво производство на електромобили, т.е. локални предприятия, които са близо до местен пазар.

Рентабилните съвременни университети интегрират приложното образование и наука с комерсиализацията на цифровите и екологичните технологии. Европейската програма *Хоризонт Европа (2021-2027)* за наука и иновации финансира върхови научни постижения, които кореспондират със Зеления и Дигитален преход на икономиката.

Европейският съюз е третата световна икономическа сила, след Китай и САЩ. Европейската пътна карта за изграждане на единно научноизследователско пространство е стратегически документ на образователната политика. Проектът *Европейски технологичен университет (European University of Technology – EUt+)* е част от решението за общоевропейско образователно и научно пространство. Проектът *EUt+* се разработва от осем университета - партньори от



---

България, Франция, Германия, Кипър, Ирландия, Латвия, Румъния и Испания. *EUt+* подготвя студентите и преподавателите за предизвикателствата на мултидисциплинарните научни изследвания.

В синхрон с европейските директиви българското правителство актуализира *Националната пътна карта за научна инфраструктура (2020-2027)*. Тя предвижда редуциране на фрагментацията на научноизследователската дейност. С тази цел през 2021 г. се открива *Национален център за върхови постижения по мехатроника и чисти технологии*. Кампусът в Студентски град – София обединява четири университета - Техническият университет в София, Варна и Габрово и Химикотехнологичният университет – София.

Изследването е с фокус тенденциите на научните изследвания в глобален аспект. Главната цел е вписването на българското образование и наука в световната икономика на знанието.

Темата е разработена чрез използване на модерния мултидисциплинарен метод за научни изследвания. При анализа и интерпретацията на получените резултати се сравняват мениджмънтът, финансирането, функциите и целите на трите исторически поколения университети.



# АНАЛИЗ НА ЗАКОНОДАТЕЛСТВОТО И ИЗИСКВАНИЯТА ЗА БЕЗОПАСНОСТ КЪМ МАТЕРИАЛИТЕ ИЗПОЛЗВАНИ ЗА ОПАКОВКИ НА ХРАНИ

Десислава Георгиева  
ТУ - София  
София, България  
e-mail: desy@tu-sofia.bg

Петър Горанов  
ТУ - София  
София, България  
e-mail: pvgor@tu-sofia.bg

Лука Банкелли  
ТУ – София  
Студент МФ  
София, България

**Резюме:** Безопасността на храните е от особена важност за потребителите. Опаковките за хранителни продукти трябва да гарантират тяхното безопасното и отлично хигиенно състояние, да бъдат лесни за употреба и да отговарят на качествените и функционални нужди на продукта. Материалите, от които се правят опаковките на храните и тяхната технология за преработка, са от особено значение за поддържане на качеството на храните и оказват непряко влияние върху човешкото здраве. Изискванията към всички материали и предмети, предназначени за контакт с храни са описани в различни международни и национални документи. Целта на този доклад е да се направи преглед на действащото национално законодателство, а също така и на законодателството на ЕС.

**Ключови думи:** законодателство, изисквания за безопасност, опаковки, храни

## I. УВОД

Съхранението и дългосрочната употреба на хранителни продукти е въпрос, който стои пред човечеството още от древни времена. Опаковките, които използваме в нашето ежедневие играят важна роля за качеството на хранителните продукти, като осигуряват постоянна защита на храните от заобикалящата ги среда, а така също и от химически и физически замърсители. При производство на опаковки за храни, както и за материали в контакт с храни трябва да се използват само материали и предмети, които при съхранение и употреба не отделят в храната съставки в количества, представляващи опасност за човешкото здраве, а така също и не променят нейният външен вид, мирис, вкус и състав [1].

Храната влиза в контакт с много материали и предмети по време на производството, обработката, съхранението и др. Такива материали и предмети се наричат „Материали предназначени за контакт с храни“ (МКХ). Тези материали трябва да са достатъчно инертни, така че съставките им да не въздействат неблагоприятно нито върху здравето на потребителя, нито върху качеството на храната. За да се гарантира безопасността на материалите, предназначени за контакт с храни, и да се улесни свободното движение на стоки, в Европейския съюз (ЕС) са въведени редица правни изисквания и контролни мерки [2]. След присъединяването на България към ЕС на 1 януари 2007 законодателните актове на съюза

относно материалите и предметите, предназначени за контакт с храни се прилагат пряко на национално ниво.

Законодателството на ЕС определя задължителни правила, които стопанските субекти трябва да спазват. Правилата могат да бъдат от общ характер, т.е. да се прилагат за всички МКХ или само за конкретни материали. Законодателството на ЕС може да бъде допълнено с националните законодателства на държавите членки, ако не съществуват специални правила на ЕС [2].

Целта на настоящия доклад е да бъдат анализирани най-важните нормативни актове (Европейски и национални), които определят изискванията към материалите за производство, употреба и рециклиране на опаковки за хранителни продукти в Единния европейски пазар. На базата на направения анализ да бъде създадена информационна система за нормативно осигуряване с изискванията за безопасност към материалите и предметите, предназначени за контакт с храни.

## II. ЗАКОНОДАТЕЛНА ОСНОВА НА ИЗИСКВАНИЯТА КЪМ МАТЕРИАЛИТЕ И ПРЕДМЕТИТЕ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ОПАКОВКИ ЗА ХРАНИ В Р БЪЛГАРИЯ

### A. Европейско законодателство

1. Регламент - Регламентът е задължителен законодателен акт. Той трябва да се прилага в своята цялост във всички страни от ЕС [3].

Регламенти в областта на материалите и предметите, предназначени за контакт с храни:

- Регламент (ЕО) № 1935/2004 относно материалите и предметите, предназначени за контакт с храни, и за отмяна на директиви 80/590/ЕИО и 89/109/ЕИО

Списък на групите материали и предмети, които могат да бъдат обхванати от специфични мерки [4]:

1. Активни и интелигентни материали и предмети
2. Лепила
3. Керамика
4. Корк
5. Каучук

6. Стъкло
  7. Йонообменни смоли
  8. Метали и сплави
  9. Хартия и картон
  10. Пластмаси
  11. Печатарски мастила
  12. Регенерирана целулоза
  13. Силикон
  14. Текстил
  15. Лакове и покрития
  16. Парафин
  17. Дърво
- Регламент (ЕО) № 282/2008 на комисията (от 27 март 2008 година относно материали и предмети от рециклирана пластмаса, предназначени за контакт с храни, и за изменение на Регламент (ЕО) № 2023/2006) [5].

Този регламент обхваща употребата на рециклирани пластмасови материали и изделия, които влизат в пряк контакт с храни. Той не се прилага за неизползвани изрезки или полимери, които са химично разградени до мономери, с което, например, се премахва тяхното свойство на пластмаса.
  - Регламент (ЕС) № 10/2011 относно материалите и предметите от пластмаси, предназначени за контакт с храни [6].

В регламента се посочват веществата, които могат целенасочено да се използват при производството на материали и предмети от пластмаси. Списъкът включва:

    - материали и предмети, както и части от тях, които се състоят изключително от пластмаси;
    - многослойни материали и предмети от пластмаси, съединени помежду си с лепила или с други средства;
    - материали и предмети, посочени в буква а) или б), които са отпечатани и/или са с покритие;
    - слоеве от пластмаси или покрития от пластмаси, образувачи уплътнения в капачки и приспособления за затваряне, които заедно с тези капачки и приспособления за затваряне се състоят от два или повече слоя от различни видове материали;
  - слоеве от пластмаси в многослойни материали и предмети от различни материали.
  - Нови вещества се добавят в списъка, ако Европейският орган за безопасност на храните издаде положително становище след процедура за подаване на заявления и одобрение.
  - Регламент (ЕО) № 2023/2006 на Комисията — добра производствена практика за материали и предмети, предназначени за контакт с храни [7].

Законодателството се прилага за всички сектори и всички етапи на производството, обработката и разпространението на такива материали и предмети.
  - Регламент (ЕО) № 450/2009 на комисията от 29 май 2009 година относно активните и интелигентните материали и предмети, предназначени за контакт с храни [8].

С посочения регламент се определят специфични изисквания за предлагането на пазара на активни и интелигентни материали и предмети, предназначени за контакт с храни
2. Директива - законодателен акт, с който се определя цел, която всички страни от ЕС трябва да постигнат. Отделните страни членки обаче могат да приемат свои собствени закони с оглед на постигането на тези цели [3].

Директиви в областта на материалите и предметите, предназначени за контакт с храни:

    - Директива 2002/72/ЕО относно материали и предмети от пластмаси, предназначени за контакт с храни, изменена с Директиви 2004/1/ЕО, 2004/19/ЕО, 2005/79/ЕО, 2007/19/ЕО и 2008/39/ЕО [9];

Настоящата директива се прилага за материали и предмети от пластмаси и техните части, които:

      - а) се състоят изключително от пластмаси; или
      - б) са съставени от два или повече пласта материали, всеки от се състои изключително от пластмаси и които са свързани по между си със свързващи вещества или по други начини, които в готовия продукт са предназначени за или ще бъдат в контакт, съгласно предназначението си, с храни.
    - Директива 1978/142/ЕИО за сближаване на законодателството на страните-членки относно материалите и предметите, които съдържат винилхлориден мономер

и са предназначени за контакт с храни [10];

Материалите и предметите не трябва да съдържат винилхлориден мономер в количество, превишаващо посоченото в приложение. Материалите и предметите не трябва да отделят върху храни, които са или са били поставени в контакт с такива материали и артикули, никакъв винилхлорид, който е определен с помощта на метод, отговарящ на критериите, формулирани в приложение.

- Директива 2007/42/ЕО относно материали и предмети, изработени от фолио от регенерирана целулоза, предназначени за контакт с храни [11];

Настоящата директива се прилага за филм от регенерирана целулоза по смисъла на описанието, дадено в приложение, който е предназначен да влиза в контакт с храни или който, по силата на предназначението му, в действителност влиза в такъв контакт и който или:

а) съставлява сам по себе си готов продукт; или

б) съставлява част от готов продукт, който съдържа други материали.

Настоящата директива не се прилага за изкуствени обвивки от регенерирана целулоза.

- Директива 84/500/ЕИО за сближаване на законодателството на държавите-членки относно керамичните предмети, предназначени за контакт с храни, изменена с Директива 2005/31/ЕО [12];

Директивата се отнася до възможното отделяне на олово и кадмий от керамични предмети, които в завършено състояние са предназначени за контакт с храни или са в контакт с храни в съответствие на тяхното предназначение.

„Керамични предмети“ означава изделия, произведени от смес на неорганични материали с общо високо съдържание на глина или силикат, към която могат да се прибавят малки количества органични материали. Тези изделия първо се формират и така получената форма се втвърдява окончателно чрез изпичане. Те могат да бъдат глазирани, емайлирани и/или украсени.

- Директива 1993/11/ЕИО за изпускане на N-нитрозамини и N-нитрозиращи вещества, отделяни от биберони и залъгалки, произведени от еластомер или каучук [13].

Бибероните и залъгалките не трябва да предават на течността за изпитване на изпускането при условията, определени в приложение, никакъв N-нитрозамин и N-нитрозиращо вещество, което може да се открие чрез установен метод, който отговаря на критериите, посочени в приложение, и при който могат да се открият следните количества:

— 0,01 mg общо за всички преминали N-нитрозамини на килограм (от частите на биберони или залъгалки, изработени от еластомер или каучук),

— 0,1 mg общо за всички преминали N-нитрозиращи вещества на килограм (от частите на биберони или залъгалки, изработени от еластомер или каучук).

Изискванията на тези директиви са въведени в националното законодателство.

### 3. Друго европейско законодателство

- Решенията са задължителни за този, за когото се отнасят (например страна от ЕС или предприятие), и се прилагат пряко [3].

- Препоръките не са задължителни. Препоръката позволява на институциите да изразяват своето мнение и да предлагат насоки за действие, без това да води до правни задължения за тези, към които тя е насочена [3].

- Становището е инструмент, който позволява на институциите да направят изявление, без да налагат правни задължения на тези, за които то е предназначено. Становищата не са задължителни [3].

*Друго европейско законодателство, свързано с материалите и предметите, предназначени за контакт с храни*

- Регламент (ЕО) № 852/2004 на Европейския парламент и Съвета относно хигиената на храните [14]

Постановява разпоредби, приложими за опаковането и пакетирането на хранителни продукти. В глава X Разпоредби приложими, за опаковането и пакетирането на хранителни продукти.

- Директива 2019/904/ЕИО относно намаляването на въздействието на

определени пластмасови продукти върху околната среда [15].

В повечето от държавите членки са въведени допълнително национално законодателство и препоръки в секторите, в които няма хармонизирано законодателство на ниво Европейска общност.

### *В. Национално законодателство на Р България*

#### 1. Закони

Цялостната хармонизация на законодателството на Европейската общност със законодателството на Р България относно материалите и предметите, предназначени за контакт с храни е въведено чрез Закона за храните.

- Закон за храните [16]

Раздел IV - Опаковане, етикетирание, представяне и реклама на храните.

За опаковането на храни се използват само материали и предмети, включително активни и интелигентни материали и предмети, предназначени за контакт с храни.

С този закон се въвеждат в националното законодателство съответните Европейски Регламенти.

#### 2. Наредби

- Наредба № 2 от 23 Януари 2008 г. за материалите и предметите от пластмаси, предназначени за контакт с храни, издадена от МЗ и МОСВ, обн. в ДВ бр. 13 от 8 Февруари 2008 г., изм. ДВ. бр. 86 от 3 Октомври 2008 г., изм. ДВ. бр. 62 от 10 Август 2010 г., изм. ДВ. бр. 44 от 10 Юни 2011 г., изм. ДВ. бр. 2 от 6 Януари 2012 г. [17].

В наредбата се разглеждат Разрешени субстанции за производство на материали и предмети от пластмаси предназначени за контакт с храни (Раздел II), Допустими граници на миграция (Раздел III), Правила за извършване на контрол върху материалите и предметите предназначени за контакт с храни (Раздел IV).

- Наредба № 3 от 04.06.2007 г. за специфичните изисквания към материалите и предметите, различни от пластмаси, предназначени за контакт с храни, изд. от МЗ и МОСВ, обн. в ДВ бр. 51 от 26 Юни 2007 г., изм. ДВ. бр. 13 от 8 Февруари 2008 г., изм. ДВ. бр. 83 от 23 Септември 2008 г. [18];
- Наредба № 4 от 10 май 2006 г. за употребата на определени епоксидни деривати при производството на материали и предмети, предназначени за контакт с храни, изд. от МЗ и МОСВ, обн. ДВ бр. 42 от 23 Май 2006 г. [19].

Наредбата въвежда в националното законодателство Регламент (ЕО) № 1895/2005 за ограничаване употребата на определени епоксидни производни (BADGE, BFDGE и NOGE), използвани за производство на материали и предмети, предназначени за контакт с храни.

- Наредба № 5 от 25 май 2006 г. за хигиената на храните, издадена от МЗ и МЗГ, обн. ДВ бр. 55 от 7 Юли 2006 г. [20].

Раздел X – Изисквания към обвиването и пакетиранието на храните.

#### 3. Постановления

- Постановление № 354 от 26 октомври 2021 г. за приемане на Наредба за намаляване на въздействието на определени пластмасови продукти върху околната среда [21].

Член единствен. Приема Наредбата за намаляване на въздействието на определени пластмасови продукти върху околната среда.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е направен анализ на действащото законодателство на ЕС и законодателство на Р България в областта на изискванията за безопасност към материалите използвани за опаковки на нахрани. Посочени са Регламентите и Директивите на ЕС свързани с изискванията към материалите и предметите предназначени за контакт с храни, а също така и Законите и наредбите на законодателството на Р България в тази област.

С оглед на тенденциите в световен и европейски мащаб, производителите на опаковки за хранителни продукти, трябва да се съобразяват с политиката за опазване на здравето, на хората и околна среда. Те трябва да заложат тези изисквания през целия жизнен цикъл на изделията до етапа на тяхното рециклиране. Специално за Единния европейски пазар производителите подчинявайки своето производство на опаковки за хранителни продукти трябва да спазят разгледаните Европейски регламенти и директиви. Опаковките предназначени за територията на Р България трябва да бъдат подчинени както на Европейското, така също и на националното законодателство.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от вътрешния конкурс на ТУ-София-2022/№ 221ПР0009-06.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://www.sustz.com/journal/VolumeII/Number3/Papers/SnezhanaTodorova.pdf>. (посетен на 10.04.2022)
- [2] [https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/cs\\_fcm\\_legis\\_pm-guidance\\_brochure\\_bulg.pdf](https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/cs_fcm_legis_pm-guidance_brochure_bulg.pdf). (посетен на 10.04.2022)
- [3] [https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/types-legislation\\_bg](https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/types-legislation_bg). (посетен на 11.04.2022)

- [4] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R1935&from=BG>. (посетен на 11.04.2022)
- [5] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R0282&from=BG> (посетен на 11.04.2022)
- [6] <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/10/oj> (посетен на 12.04.2022)
- [7] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R2023&from=BG> (посетен на 12.04.2022)
- [8] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0450&from=BG> (посетен на 12.04.2022)
- [9] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0072&from=BG> (посетен на 12.04.2022)
- [10] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:31978L0142&from=BG> (посетен на 12.04.2022)
- [11] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0042&from=BG> (посетен на 12.04.2022)
- [12] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:31984L0500&from=BG> (посетен на 12.04.2022)
- [13] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993L0011&from=BG> (посетен на 12.04.2022)
- [14] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:02004R0852-20090420&from=BG> (посетен на 17.04.2022)
- [15] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904&from=BG> (посетен на 26.04.2022)
- [16] [https://www.bfsa.bg/userfiles/files/Zakoni/ZAKON\\_za\\_hranite.pdf](https://www.bfsa.bg/userfiles/files/Zakoni/ZAKON_za_hranite.pdf) (посетен на 17.04.2022)
- [17] [https://www.mh.government.bg/media/filer\\_public/2015/04/17/naredba2-ot-23-01-2008g-plastmasi-kontakt-s-hrani.pdf](https://www.mh.government.bg/media/filer_public/2015/04/17/naredba2-ot-23-01-2008g-plastmasi-kontakt-s-hrani.pdf) (посетен на 17.04.2022)
- [18] [https://www.bfsa.bg/userfiles/files/KH/Doc/NAREDBA\\_3\\_ot\\_40620\\_07\\_g\\_za\\_specifnicite\\_iziskvaniq\\_kym\\_materialite\\_i\\_predmetite\\_razlicni\\_ot\\_plastmasi.pdf](https://www.bfsa.bg/userfiles/files/KH/Doc/NAREDBA_3_ot_40620_07_g_za_specifnicite_iziskvaniq_kym_materialite_i_predmetite_razlicni_ot_plastmasi.pdf) (посетен на 17.04.2022)
- [19] <https://www.lex.bg/laws/ldoc/2135526214> (посетен на 17.04.2022)
- [20] [https://www.bfsa.bg/uploads/File/Dokumenti\\_naredbi/Naredba\\_5\\_hihiena\\_na\\_hranite.pdf](https://www.bfsa.bg/uploads/File/Dokumenti_naredbi/Naredba_5_hihiena_na_hranite.pdf) (посетен на 17.04.2022)
- [21] <https://dv.parliament.bg/DVWeb/showMaterialDV.jsp;jsessionid=BA0F105955488E4448B5AA6421C6F5FF?idMat=163849> (посетен на 17.04.2022)

## ANALYSIS OF LEGISLATION AND SAFETY REQUIREMENTS FOR MATERIALS USED FOR FOOD PACKAGING

Desislava Georgieva  
TU-Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: desy@tu-sofia.bg

Petar Goranov  
TU-Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: pvgor@tu-sofia.bg

Luca Banchelli  
TU-Sofia,  
Student  
Sofia, Bulgaria

**Abstract:** Food safety is of particular importance to consumers. Food packaging must ensure their safe and excellent hygienic condition, be easy to use and meet the quality and functional needs of the product. The materials from which food packaging is made and their processing technology are of particular importance for maintaining food quality and have an indirect impact on human health. The requirements for all materials and articles intended to come into contact with food are described in various international and national documents. The purpose of this report is to review existing national legislation as well as EU legislation.

## ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ДЕЗИНФЕКЦИЯТА В ЖИВОТНОВЪДНИТЕ ФЕРМИ

Габриела Коцева

Институт по информационни и комуникационни технологии към Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: gabriela.kotseva@iict.bas.bg

Николай Стоименов

Институт по информационни и комуникационни технологии към Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: nikolay.stoimenov@iict.bas.bg

Любен Клочков

Катедра „Автоматизация на дискретното производство, Технически Университет – София  
София, България  
e-mail: lklochkov@tu-sofia.bg

**Резюме:** В настоящата статията е направен обзор и анализ на дезинфекцията в животновъдните ферми. Обяснено е значението на дезинфекцията, представени са методите и практиките за дезинфекция в животновъдните стопанства. Разгледани са дезинфекционните средства, техните предимства и недостатъци. Анализирани е ефективността и оценката на обеззаразяването, специалните изисквания към кравефермите и всекидневните им грижи.

**Ключови думи:** дезинфекция, препарати, животновъдство

### I. ВЪВЕДЕНИЕ

С развиването на технологиите в индустриалния свят е необходимо да се обърне внимание на роботизиране на процесите при дезинфекция и почистване в най-различни отрасли на индустрията. Дезинфекцията в специализирана система за отглеждане на животни позволява поддържане на определен хигиенен стандарт. Хигиенния стандарт е от първостепенна важност както за здравословното състояние на животните и условия в които се отглеждат, така и за качеството и годността на продукцията. Отговорността за спазване хигиенните изисквания на помещения, съоръжения, инсталации, включително и животни с подходящи препарати, гарантиращи здравето и сигурността на производството пада върху собствениците на животновъдния комплекс [1, 2].

Механичната и химична дезинфекция и хигиена в интензивното животновъдство представлява съвкупност от практики и техники, които предпазват животните от замърсителни агенти, различни патогени и неприятни вредители. Осигурените добри условия в процеса на отглеждане ще гарантират постигне оптимална продуктивност и реализиране качествения и количествения производствен потенциал на животните, затова е особено важно да се разгледа този проблем [2].

Целта на настоящата статия е обзор и анализ на дезинфекцията в животновъдните ферми.

### II. ЗНАЧЕНИЕ НА ДЕЗИНФЕКЦИЯТА

Думата дезинфекция произлиза от латински de (без) infesto (заразяване) и буквално означава обеззаразяване. Тя е процес, който редуцира броя на патогенните микроорганизми (бактерии, микобактерии, вируси, фунги) върху различни обекти на външната среда, кожа

и лигавици, до безопасно за здравето на човека ниво. Дезинфекцията не гарантира унищожаването на бактериалните спори [3, 4].

Целта на дезинфекцията е процес на прекъсване на механизма на предаване на инфекцията във външна среда. Осъществява се от комплекс от мерки и мероприятия, при които болестотворните микроорганизми се инактивират необратимо.

### III. ДЕЗИНФЕКЦИЯ НА ЖИВОТНОВЪДНИТЕ СТОПАНСТВА

Унищожаването на болестотворните микроорганизми в замърсена околна среда, чрез използването на методи и средства се нарича дезинфекция.

В зависимост от целта, с която се извършва, дезинфекцията се разделя на два вида: предпазна и наложителна [5].

#### A. Предпазна дезинфекция

С цел да се предотвратят появата и избухването на заразни болести, предпазната дезинфекция е постоянна мярка в здравите ферми. При задължително спазване на принципа „пълно-празно“, обеззаразяването се провежда в зависимост от вида и категорията на животните, технологията на отглеждане и годишния сезон [5].

Всяка следваща група животни съгласно зоохигиенния принцип „пълно-празно“ се заселва в помещение, което е изцяло изпразнено, основно почищено и ефективно обеззаразено. За целта се определя почивен период от 7 до 21 дни за различните видове и категории животни [5].

Предпазна дезинфекция в помещенията за овце се извършва два пъти в годината (през пролетта и есента), а при всички останали видове животни - след приключване на технологичния цикъл [5].

#### B. Наложителна дезинфекция

С цел да се предотврати разпространението на заразните причинители, при избухването на някоя заразна болест, се провежда наложителната дезинфекция на животновъдните ферми. Тя бива текуща и заключителна. Текущата изисква всекидневно провеждане, за да се унищожи своевременно заразното начало, а заключителната дезинфекция - след ликвидиране на заразното заболяване, за да се обеззаразят всички места, обитавани от болните животни [5].

#### IV. ДЕЗИНФЕКЦИОННИ СРЕДСТВА

Дезинфекционните средства са две основни групи: физични и химични.

От физичните дезинфекционни средства най-често се използват механичните средства, ултравиолетовите лъчи и топлината.

Механичната дезинфекция е задължителен етап, предшестващ химичната дезинфекция. Дезинфекционните средства, които включва са: почистване на предметите, премахване на повърхностния пласт, измиване и измазване.

За дезинфекция на водата, въздуха, стените на хладилниците, инкубаторите и др., се прилага използването на ултравиолетовите лъчи, като за целта се използват предимно живачно-кварцовите лампи [5].

Топлината се прилага под формата на огън, суха и влажна топлина.

Прилага се огън като нажежаване, обгаряне и изгаряне. Заразени малоценни предмети като тор, остатъци от фураж и др. се изгарят. Целта най-често се извършва с бензинова лампа [5].

Влажната топлина намира най-широко приложение. Най-често за измиване на доилни роботизирани апарати и съдове, особено с добавка на 1-2%-ов разтвор на натриев карбонат, или кипяща вода за обеззаразяване на вода, съдове и др. се прилага като гореща вода (около 70°C) [5].

Химичните дезинфекционни средства се разделят на няколко групи химични вещества с разнообразен механизъм на действие [5].

Химичните дезинфекционни средства в животновъдните ферми се прилагат от необходимост да: убиват всички патогенни микроорганизми; не предизвикват отравяния на човека и животните и да не повреждат обработваните предмети; се прилагат лесно; да са евтини [5].

Най-голяма употреба в дезинфекционната практика намират хлорната вар, натриевата основа, гасената вар, формалинът, лизолът и др. във вид на водни разтвори, а самата дезинфекция се постига чрез потопяване, измиване и напръскване с помощта на специални апарати [5].

#### V. ЕФЕКТИВНОСТ НА ДЕЗИНФЕКЦИЯТА

Основното предназначение на дезинфекцията е да се унищожат патогенните микроорганизми (МО) по всички повърхности, които са в контакт с животните: стени, подове, клетки, хранилки, поилки, транспортни средства, оборудване, дрехи, обувки и ръце на персонала. В борбата със заболяването от различни болести из животните трябва да се използват само тествани и одобрени за тази цел дезинфектанти [6, 7].

Всеки дезинфектант има собствен спектър на действие. Всяка компания, предлагаща такива средства трябва да осигури списък с данни срещу кои микроорганизми действа той и в какви концентрации да се използва. Изборът на дезинфекционно средство при

всяка конкретна ситуация трябва да бъде съобразен с влиянието на условията на околната среда и характера на повърхностите, подлежащи на дезинфекция. Р България прилага своята действаща система за предоставяне на биоциди на пазара и за използването им на основание разпоредбата на чл. 89, параграфи 2 и 3 от Регламент (ЕС) № 528/2012 на Европейския парламент и на Съвета от 22 май 2012 г. относно предоставянето на пазара и употребата на биоциди [6,7].

Влияещи фактори за ефективността са [7]:

- Органично и неорганично замърсяване затрудняват действието на всички дезинфектанти – затова е необходимо предварително механично почистване, своевременна подмяна на дезинфекционните разтвори или увеличаване на концентрацията. Най-силно повлияващи от замърсяванията са кислород-отделящите, хлор-отделящите и йод-отделящите дезинфектанти. По-слабо повлияващи са алдеhidите и алкалиите [6];
- Разреждането с твърда вода (с високо съдържание на метални йони) намалява ефективността на четвъртичните амониеви съединения – необходими са по-високи концентрации [7];
- Ниските температури намаляват активността на някои дезинфектанти – формалдехид и феноли, докато други (кислород-отделящи, хлорни, йодни) дезинфектанти запазват активността си [7];
- Дезинфекцията на синтетични повърхности (PVC, полипропилен), стъкло, боядисани и лакирани повърхности, инокс и др. с високо повърхностно напрежение и добро хидрофобно покритие се наблюдава тенденция на събиране на някои дезинфектанти (хипохлорити, хлорамини) на големи капки, между които остават сухи участъци (мъртви зони) без контакт на патогените с дезинфектанта. При тези повърхности е необходимо да се използват дезинфектанти, съдържащи в състава си повърхностно активни вещества (четвъртични амониеви съединения) [7];
- Наличието на остатъци от почистващи средства по повърхностите (анионни детергенти – веро, сапун, прах за пране) неутрализират четвъртичните амониеви съединения (катионни детергенти) поради йонно взаимодействие [7];
- Наличието на амоняк (образуващ се при разлагане на урина, фекалии и др.) блокира действието на формалдехида поради химична неутрализация [7];
- Да се избягва смесването на дезинфектанти от различни химични групи - в повечето случаи дезинфектантите се неутрализират, а в други се

отделят силно токсични газове (напр. при смесване на формалдехид с хлор-отделящи дезинфектанти) [7];

- Да се приготвя работен разтвор в необходимата концентрация непосредствено преди употреба му.

#### VI. ОЦЕНКА НА ДЕЗИНФЕКЦИЯТА

Чрез микробиологични изследвания на проби взети от дадения животновъден обект се провежда контролът върху ефективността на проведените дезинфекционни обработки. Има два метода за оценка на ефективността – директен и индиректен [7].

Получаването на проби, отривки (отриване на дадена повърхност със стерилен тампон) или смивки (промиване със стерилен разтвор) и изследване за наличие на жизнеспособен вирус се отнасят към директният метод [7].

При оценката не се допуска наличието на жизнеспособен вирус в нито една от пробите.

Пробите се поставят в епруветки с транспортна среда за вируси (достъпни са различни видове) и изпратени в хладилни условия. Доказването на вирусния антиген и/или нуклеинова киселина не е равнозначно на наличието на витален (жив) вирус. Съществуват случаи, в които вирусът може да е инактивиран (дезинфекцията да е ефективна), но отново да бъде доказано наличие на антиген/нуклеинова киселина. Най-точно е вирусологичното изследване, изолацията на вируса, но това е практически невъзможно изпълнимо при такъв брой проби. Затова в много случаи се предпочита внедряването на индиректен метод за оценка на дезинфекцията [7].

С индиректен метод се установява наличието на жизнеспособни хигиенно-индикаторни микроорганизми (най-често колиформи) върху повърхностите след извършената дезинфекция. Съответствието между устойчивостта на съответния патоген и устойчивостта на избрания индикаторен микроорганизъм – индикаторния микроорганизъм трябва да има аналогична или по-висока устойчивост към дезинфекционните средства от патогена. В случая с вирус със сложна структура, т.е. с допълнителна липопротеидна обвивка колиформите са подходящ индикаторен микроорганизъм [7].

Индиректният метод за оценка на дезинфекционната ефективност включва получаването на проби (отривки или смивки) от дезинфекцираните повърхности след изтичане на съответната експозиция. От всяка контролна повърхност трябва да се получат минимум по 3 проби [7].

Пробите се изследват за наличие на жизнеспособни хигиенно-индикаторни микроорганизми, в случая – колиформи.

Не се допуска наличието на хигиенно-индикаторни микроорганизми (колиформи) в пробите при оценката на дезинфекцията, получени след извършване на дезинфекция. Дезинфекцията се оценява като ефективна (задоволителна), ако във всички получени проби не се установява наличие на колиформи.

Микробиологичен контрол на активността на дезинфекционните разтвори в дезинфекционните вани, в дезинфекционните стелки за обувките и прочие се прилагат същите критерии – не се допуска наличието на колиформи в дезинфекционните разтвори [7].

#### VII. ДЕЗИНФЕКЦИЯ НА КРАВЕФЕРМИТЕ

Кравефермите се нуждаят от извършване на редовна дезинфекция, дори при съвременните системи за торопочистване. Животновъдните обекти за отглеждане на ЕПЖ отговарят на следните изисквания [8]:

- имат отделни помещения или боксове за животни от различните технологични групи или обособени зони в тях, отговарящи на специални изисквания;
- имат съоръжения за добив и помещения за измиване, дезинфекция, съхранение на инвентара за доене (при случаи, различни от доилна зала и централен млекопровод) и помещение със съоръжения за съхранение на млякото до предаването му за преработка, които отговарят на ветеринарно-санитарните и хигиенните изисквания при добива на сурово мляко
- осигуряват подходящи условия за ветеринарномедицинско обслужване и при необходимост за стационарно лечение на животни;
- имат обособени родилни боксове или места или помещения;
- имат обособено място в животновъдния обект за временно съхранение на тор и обеззаразяване, съобразено с капацитета и технологията на отглеждане, с изключение на случаите при временно съхранение на торови маси върху терен извън регулация на населено място или на място, определено от местната административна власт; животновъдни обекти, разположени в нитратно уязвимите зони, за опазване на водите от замърсяване с нитрати от земеделски източници и програмата от мерки за ограничаване и предотвратяване на замърсяването с нитрати от земеделски източници в уязвимите зони освен в случаите при сключен договор с преработвателно предприятие за ежедневно извозване на торовите маси;
- имат добра естествена вентилация или вентилационна система, осигуряваща подходящ микроклимат.

Изискванията за боксове за животни от различни технологични групи или обособени не се прилагат за животни с направление месо и за месодайни и автохтонни породи ЕПЖ [8].



Пълна дезинфекция на помещенията се извършва след смъртта на животно и преди преместването им в помещенията на младите телета или след промяна на групата животни [8].

Дезинфекцията трябва да се извършва всеки път, след ваксинации или медицински анализи. Преди дезинфекцията е важно да се извърши мокро почистване - тогава ще се изразходват по-малко дезинфектанти, отколкото за третиране на замърсената повърхност [8].

#### VIII. БЪДЕЩИ РАЗРАБОТКИ

При използването на роботизиращи системи за дезинфекция и почистване може да се намали контакта с вредните изпарения, които може да се отделят при някои препарати. Прилагането на роботизиращи техники и системи би довело до по-честа и лесна дезинфекция на помещения. Някои недостатъци и съображения при използването на почистващи препарати като ниска температура могат да бъдат избегнати чрез добавяне на различни модули при роботизиращи системи за почистване и дезинфекция. Комбинирането на модули би довело до повишаване качеството на дезинфекция и почистване, намаляване на разходи и време за почистване и дезинфекция [9].

#### IX. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на направеният анализ и проучване на дезинфекция при животновъдството специално внимание е нужно да се обърне на постелката, тъй като санитарното ѝ състояние пряко зависи здравословния статус на вимето и копитата на кравите. Местата около канавките за отвеждане на тора и най-влажните места в помещението е необходимо да се дезинфекцират добре. Торкта, отпадъците и други замърсявания се отстраняват всекидневно, тъй като това пряко засягат здравето животните и хигиената на добива на мляко.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепата на Национална научна програма „Интелигентно животновъдство“, споразумение за безвъзмездна помощ № Д01-62/18.03.2021, финансиран от Министерството на образованието и науката.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tomov P., Industrial Development in the Context of Global Changes in Technology and Automation, International Conference on High Technology for Sustainable Development, HiTech 2021, Sofia, 07-08 October, 2021
- [2] Дезинфекция при интензивно животновъдство, Copyright © 2022 PaChico Inc., <https://pachico.net/> (последно посетен март 2022)
- [3] Дезинфекция, <https://bg.wikipedia.org/> (последно посетен март 2022)
- [4] Дезинфекция – обеззаразяване, <https://www.stopvrediteli.com/> (последно посетен април 2022)
- [5] ГОВЕДОВЪДСТВО, Дезинфекция на животновъдните ферми, <https://agri.bg/>, (последно посетен април 2022г.)
- [6] Министерство на здравеопазването на Р.България, Регламент (ЕС) № 528/2012 на Европейския парламент и на Съвета от 22 май 2012г.
- [7] Министерство на земеделието, храните и горите, Р.България, Инструкция за „Биосигурност в животновъдните обекти срещу Африканска чума по свинете“ (проведено в България), [https://www.bfsa.bg/userfiles/files/ZJ/CP/instruction\\_\\_bio\\_asf\\_fin.pdf](https://www.bfsa.bg/userfiles/files/ZJ/CP/instruction__bio_asf_fin.pdf) (последно посетен април 2022г)
- [8] Закони, правилници, конституция, кодекси, държавен вестник, правилници по прилагане, Специални ветеринарномедицински и зоохигиенни изисквания към животновъдните обекти за отглеждане на селскостопански животни, Раздел III, Чл.9. - <https://lex.bg/laws/ldoc/2135525777> (последно посетен март 2022)
- [9] Стоев П., Шиваров Н., Стоименов Н., Панев П., Шиваров С.. Хигиенизиращ модул за мобилни роботи за почистване на комплекси за отглеждане на животни. Proceedings of International Conference “Robotics, Automation and Mechtronics’21”, RAM 21, Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 2021, ISSN:1314-4634, стр. 61-64, 2021

## OVERVIEW AND ANALYSIS OF DISINFECTION IN LIVESTOCK FARMS

Gabriela Kotseva  
Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: gabriela.kotseva@iict.bas.bg

Nikolay Stoimenov  
Institute of Information and  
Communication Technologies at  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: nikolay.stoimenov@iict.bas.bg

Luben Klochkov  
Automation of Discrete Production,  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: lklochkov@tu-sofia.bg

**Abstract: In the presented paper an overview and analysis of disinfection in livestock farms is presented. The importance of disinfection is explained, the methods and practices for disinfection in livestock farms are presented. Disinfectants, effectiveness, pros and cons. Evaluation of decontamination, special requirements for cow farms and their daily care are considered.**

# АКАДЕМИЧНО ОБУЧЕНИЕ ПО ИНТЕЛИГЕНТНО ИНЖЕНЕРСТВО, ПОДГОТОВКА НА ИНЖЕНЕРНИ КАДРИ ЗА ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ

Давид Авишай  
Азриели, катедра Индустиален  
мениджмънт и инженерство  
Йерусалим, Израел  
e-mail: davishay@jce.ac.il

Гая Павлова  
Технически университет – София  
ФКСТ  
София, България  
e-mail: racheva@tu-sofia.bg

**Резюме.** В тази статия се разглеждат методологиите на обучение на интелигентното инженерство. За да добият дипломираните инженери качества, подпомагащи прилагането на технологиите на четвъртата индустриална революция на практика, са необходими нов вид взаимодействия в комуникацията човек - машина. Какъв е минимумът знания и способности, които трябва да притежава съвременният инженер и как да ги приложи, за да станат удобни и разбираеми от обществото? Това е нов вид култура на взаимоотношение между хората и машините, способност да се използват качествата на двете страни, за постигане на разумно, иновативно управление на процесите и комуникациите.

**Ключови думи:** интелигентно, умно, обучение, инженерно образование, изкуствен интелект, четвърта индустриална революция.

## I. УВОД

„Интелигентното инженерство“ може да се опише като използване на балансирана и оптимизирана комбинация от хора, процеси и най-подходяща технология, за да се постигне максимално предимство за операционния модел и бизнес процесите на компанията.[1] Това определение дава Джон Стокоу в своя лекция пред Intrinsic UK през 2016 година. Преди пандемията от Ковид 19, четвъртата индустриална революция стремително навлизаше, ползвайки дигитализацията в основни области от социалното и професионално съществуване. Това се случваше без съобразяване с национални, религиозни, географски и други условия. На тази основа д-р Хенри Кисинджър обяснява в своя лекция, че технологията днес изпреварва философията на живота и създава хаос от правна и социална гледна точка.[2] Забавянето на скоростта на навлизане на новата технология, поради здравната криза в последните години, спомогна на учените да обмислят нещата поновому и да организират нещата сравнително разумно. Разбира се, за това спомогнаха множеството международни срещи и конференции, на първо място, срещата на Световния икономически форум в Давос.

Има някакъв ред в развитието и прилагането на технологиите, първо са хората, после идват процесите, следвани от моделите, създаването на технологията и накрая прилагането и в бизнеса. Пресен пример за тази последователност, е как постъпиха учените при създаване на ваксините срещу Ковид 19. Хората (световната наука)

се организираха, приложиха знания и опит, създадоха, пробваха и чак тогава произведоха и приложиха ваксините. Ако говорим за технологиите на четвъртата индустриална революция, те не биха били разбираеми без новата култура на дигиталните знания и способността на инженерите да боравят с умна и гъвкава техника (бързи и мощни препрограмируеми машини, контролери и компютри). Всички тези параметри се нуждаят от висока степен на интелигентно мислене и самоорганизация на новодипломираните инженери, чрез които да покриват изискванията при приложение и експлоатацията.

## II. ИНТЕЛИГЕНТНО ИНЖЕНЕРСТВО

Колкото и да е развита автоматизацията и роботиката, единствено хората са в основата на интелигентното инженерство. Те са тези, които въвеждат новата култура на взаимоотношения с техниката. Те го правят от тях и за тях. Затова и понятията за нови технологии са тясно свързани с чувствата и разбиранията на хората. Постоянно срещаните понятия „облак“, „умен“, „триизмерен“, „интернет на нещата“, „интелигентен“, „дигитален“, „виртуален“ и др. са напълно познати днес. Въвеждането им не се различава от начина на влизане в лексиката на понятията от предните индустриални революции, като „парна машина“, „конвейер“, „електричество“, „автомобил“, „робот“, „автоматизация“, „иновация“ и др. Разбира се, до това се е достигнало, след опита на хората да преработят физически и биологически способности в конфигурирани и интегрирани форми на динамично действащи платформи. На базата на тези платформи са разработвани модели (симулативни и реални) и след експериментирането им са внедрявани в редовно производство.

Четвъртата индустриална революция изиска нов подход на разглеждане, защото при нея става дума за управление, което налага по-умно и по-ефективно обслужване. Това е определящото при разглеждане на процесите. Интелигентни ли са, колко са интелигентни, каква е интелигентността, която ги формира? Днес, за да се развият, технологиите се нуждаят от изкуствен интелект (ИИ). Процесите са сложни и комплексни, а човешкият мозък се оказва с ограничени възможности за комплексно организиране, като например, работа с големи бази данни (Big Data).

Привидно съвременните процеси се движат от дигиталните технологии, но в действителност

управлението им е от хората и за хората. Ето защо е необходимо развитието на способностите и знанията на хората. Тук академичното образование задължително трябва да въведе и използва формите за обучение и експериментиране, които са полезни да се извършват съвместно с приложното производство. Затова е целесъобразно, да се концентрират и стимулират всички интелигентни човешки способности в комплексно обучение, без специализирано разпределяне, както е показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Множествена интелигентност, приложима в обучението

Задачата на обучението в интелигентното инженерство се състои в ползването на човешкия ум, за да се свърже науката и технологиите за стимулиране на иновациите, трансформирането на бизнес операциите, за постигане на по-голяма ефективност, производителност, с по-ниски разходи и по-ефективно реализиране в пазара.

Интелигентното инженерство променя усещанията на хората за това как живеем, как работим, как играем, как почиваме и как се адаптираме към новото.

За целта и правилното оформяне на интелигентното пространство на инженерната дейност са необходими познания в конфигурирането, оценката и анализа на приложните данни в интегрирана форма, с отношение към миналото, планиране на настоящето и предвиждане на бъдещето. Това наистина звучи умно (интелигентно)!

Така трябва да е оформено новото академично обучение, за да подсигури бизнеса и политиката с кадри, които да искат и прилагат своя инженерен интелект за решаване на икономически, национални, фирмени и глобални управленски задачи в условията на конкурентоспособност и постоянно съпътстващи кризи.

Академията трябва да се превърне в главната школа за развитието на инженерите, да станат приложими в сърцето на дигиталното бъдеще и технологиите на четвъртата индустриална революция.

### III. ПРЕДМЕТИ ЗА ОБУЧЕНИЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНО ИНЖЕНЕРСТВО

Кои са дисциплините, които се явяват задължителни за интелигентното изграждане на инженерите? Желателно е да се разделят на твърди и меки, като твърдите да са задължителни, а меките да са според желанието на обучаващите се.

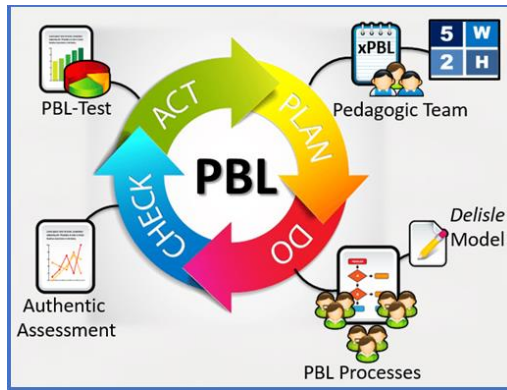
Задължителни (твърди) дисциплини за обучение:

- контрол на процеса и автоматизация на производството;
- схеми на управление на качеството;
- разработване на комплексни проекти;
- съвременни езици за програмиране и интернет приложения;
- роботика и технологии на автоматиката;
- енергетика и енергийна ефективност;
- ергономия и природна среда;
- управление на процеса по създаване на продукт и бизнес интелигентия (BI);
- научно управление на данните, работа с големи бази данни (Big Data);
- комбинирани технологии и Blockchain;
- IoT и технологиите на четвъртата индустриална революция;
- дигитални и виртуални инженерингови методологии и технологии (AR, VR);
- методи за машинно обучение.

Дисциплини, с които студентите могат да допълнят интелигентното си образование според индивидуалното желание (меки):

- организационно поведение;
- управление на знанието;
- управление на времето;
- работа в екип и решаване на конфликти;
- лидерски методи и стилове и комуникативни умения;
- емоционална интелигентност;
- презентационни умения.

Разбира се, част от курсовете не трябва да са пълно-семестриални и не е задължително да завършват с изпит. Курсовете могат да са седмични или месечни и да приключват с разработен проект по методологията PBL (Project-based learning) Фиг. 2.



Фиг. 2. Схематично представен процес на обучение, базирано на проекти

Трябва да се има предвид, че този списък не е пълен. Той само маркира най-важното в интелигентното инженерно обучение за момента. Динамиката на развитие на технологиите, повишаването на нуждата от определени продукти, енергийните източници, климатичните условия, икономическите предизвикателства, кризите, войните, банкрутите и политическите условия, ще определят конфигурирането на нови дисциплини за изучаване. Не трябва да се подценяват новите дигитални, дистанционни, хибридни и виртуални форми на обучение. Нека не забравяме, че това се превръща в световна практика с вече навлизащата нова „Метаверсия“ на виртуално управление на процесите (Metaverse).

#### IV. ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ (ИИ)

Темата за ИИ е огромна и е целесъобразно, в случая да разгледаме връзката и с обучението в интелигентно инженерство и разбира се, какво трябва да знае съвременния инженер, за да приложи разумно тази технология. Опасностите от директното прилагане на ИИ при всички условия, може да доведе до много нежелани конфликти, за които предупреждават световни учени, футуристи, като Илон Мъск, Ювал Ноа Харари, Стиван Хопкинс и др.

Как се намесва ИИ в съвременното образование? За последните 50 години университетите и училищата не са се променили особено много. Участниците в процеса седят в клас, през последните две години пред екраните на компютрите и изпълняват едни и същи задачи, използвайки едни и същи учебници и помагала, независимо от успеваемостта на всеки един ученик по всеки един предмет. Една част от обучаемите не успяват да усвоят материала, а другата бързо го преминават и започват да скучаят. В допълнение, днес училището не е място само за учене. Съвместно с учебния процес, то се съобразява и наблюдава социалното състояние на обучаващите се. В много случаи дори оказва контрол върху тяхното поведение.

Алгоритмите на ИИ притежават възможностите за справяне с тези задачи. ИИ вече помага на учителите да персонализират процеса на обучение и контрол. Обучаемите получават възможност да се запознават с новия материал в удобно за тях темпо, използвайки специални дигитални приложения и платформи. Тези

приложения се превръщат в помощник-учители, които помагат на преподавателите да реализират максимално своя потенциал. Също така ИИ програми наблюдават причините за изоставане на едни ученици спрямо други и предлагат организация на критерии за ограничаване на разликите, без да се създаде екстремно натоварване.

Преимущество на ИИ е, че може да направи образованието по-качествено, по-евтино и достъпно за всички слоеве на обществата по всяко време.

Друга форма на приложение на ИИ е в самообучението. Добре познатият частен учител, може да бъде заменен много успешно с програма, работеща на компютър, на таблет и дори на смартфон. Задачи по математика или химия, или разработване на литературни теми, могат да се контролират, обясняват и оценяват машинно, не по-лошо от частния преподавател, което прави този процес по-евтин и по-приложим по всяко време.

Вече съществуват в световната мрежа приложения, като Brainly, Thinkster Mat, Netex Learning и др. Качество на тези приложения за самообучение е, че те са специализирани, т.е. не са универсални. Способността им да говорят на различни езици, ги превръща в масово приложими. Разбира се, трябва да се вземе предвид спецификата при ползване на дигитални устройства и техните приложения, като се извърши необходимата адаптация към тяхното действие.

Като всяко друго и автоматизираното обучение, и оценяване на знанията с помощта на ИИ има своите недостатъци. За ефективната му работа се изисква надежден и стабилен интернет достъп, а самият алгоритъм не винаги е достатъчно достъпен, разбираем и евтин.

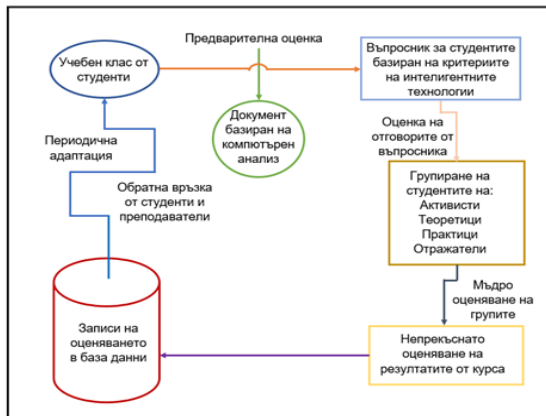
ИИ заема все повече позиции в процеса на обучение и оценяване, въпреки че той никога няма напълно да замени оценката на учителя. Преподавателите могат да автоматизират оценката практически във всички видове знания, където учениците трябва да направят избор от различни варианти, а изпитването по принципа „попълни пропуснатото“ може да влезе директно в изпитната програма. Така оценяването на учениците става далеч по-бързо и по-точно и освобождава преподавателя от отговори за нивото на оценката. Всъщност, машинното тестване и оценяване е освободено от субективизма.

#### V. КАКВА Е РАЗЛИКАТА МЕЖДУ МАШИННОТО ОБУЧЕНИЕ И ИИ?

ИИ е напредък и широка дисциплина. Състои се от много други области като инженерство, математика, компютърни науки и др. Разликата между машинното обучение и ИИ е, че машинното обучение е вид ИИ, който дава възможност на компютъра да се самообучава, без да е изрично програмиран като ИИ. Това от своя страна отваря нови възможности за концентриране, или разширяване на достъпа на знания до обучаемия. Целта е да се премахне скучното повтаряне на познати, вече теоретични понятия. Новата интелигентност се развива с помощта на теорията на компютърни системи, способни да изпълняват задачи умно, подобно на човека. Машинното обучение е новата модерна технология на

III. Най-елементарно е, опростяване на задачата, изпълнявана от машина, до ниво, разбираемо от хора с различни познания и подготовка.

Машинното обучение трябва да бъде контролирано и организирано в специализирани курсове. Те трябва да бъдат оформени от предварително оформена правилната оценка. В приложената по долу схема е направен опит да се разгледа модел на подобна организация, конфигурирана като модулна схема, в която главният критерий е оценката на отделните интелигентно подготвяните групи обучаеми. (Фиг.3)



Фиг. 3. Модули за групиране на студенти за изучаване на курсове за интелигентно инженерство

## VI. ИНТЕЛИГЕНТНИЯТ АВАТАР ОТ VR В ПОМОЩ НА ИНЖЕНЕРИТЕ

Днес терминът „Метавселена“ е един от най-коментираният. В него е създадена възможност (платформа) за сливане на две идеи, които съществуват от много години: виртуална реалност (VR) и дигитален втори живот (DE – Digital Engineering).

Мечтата на технократите за ера, в която виртуалният ни живот ще играе също толкова важна роля, колкото и физическата ни реалност, прави първите си стъпки. Теоретично хората са способни да прекарват много време в общуване във виртуалното пространство. Също така, сме готови да купуваме скипировка и предмети за нашите цифрови аватари (дигиталните фигури, които ни „представяват“ във виртуалното пространство).

В понятието, което Марк Зукърбърг нарича „Метавселена“, виртуалната реалност служи като компютърна платформа за живеене на втори „онлайн живот“. Във виртуалната реалност се ползват, визуални устройства, тримерно озвучаващи слушалки и микрофон, контролери за отчитане на движенията, които взаимодействат с виртуални обекти и хора, които намиращите се около вас, не виждат и не чуват.[4]

Това е нов свят, изграден напълно на базата на онлайн чувствата, породени в човешкия мозък от дигиталната скипировка (AR Augment Reality, VR Virtual Reality, MR Mixed Reality, с очила и ръкохватки).

Но това ли е всичко? Вие и вашият аватар си взаимодействате с други хора и предмети в дигитално-виртуалната среда?

Казано едносрично, ДА.

Тогава въпросът е, как и за какво може да бъде приложено в интелигентното инженерно обучение? Използването на дигиталните очила Oculus Quest - VR Stand Alone - Facebook – 2019, под платформата на Фейсбук се оказват приложими в лабораторните упражнения за студенти, обучавани в технологиите на четвъртата индустриална революция (курс “Industry 4.0”). В лабораторните занимания студентите не само виждат и изграждат виртуални индустриални обекти, но могат да ги подреждат и задействат в производствен процес. Така се учат да търсят най-оптималния модел за специфичен вид производство, в почти реални условия без да притежават скъпото оборудване. Симулация много близка до реалните условия.

В приложената снимка е демонстриран момент от обучение на студенти, ползвайки комплект очила Oculus Quest в лабораторията Industry 4.0, в Академичен инженерен колеж „Азриели“ в Йерусалим (Фиг. 4). Тази система позволява единично обучение и съвместна работа на двама студенти заедно. В допълнение преподавателят може да наблюдава и контролира действията на студентите на екрана на компютър, с който очилата се свързват чрез кабел.



Фиг. 4. Учебно занятие с приложение на VR технологиите в Академичен инженерен колеж „Азриели“ в Йерусалим

## VII. ИНТЕЛИГЕНТНИЯТ АВАТАР ОТ VR В ПОМОЩ НА ИНЖЕНЕРИТЕ

Един от критериите, характеризиращи висока интелигентност, е добре подредената и организирана човешка памет. Чисто човешко качество, изразено по различен начин във всеки индивид.

Интересен феномен е синдрома „Висококачествена автобиографична памет – HSAM“ (Highly Superior Autobiographical Memory). Състояние, което споделят само около 60 човека в целия свят. Те могат да си спомнят близкото минало, със смесица от широки шрихи и остри детайли.[5]

Изследванията на хора, притежаващи HSAM, се концентрират в изказването на невробиолога д-р Крейг Старк: „Мислим ли за това (спомена) и преживяваме ли го по различен начин?“ Всеки знае, че когато преживяваш мислите си, спомените стават по реални. Но да усещаш и помниш, не са качества, които може да се приложат

едновременно в машините. Все пак, разширената памет на компютрите, ползвайки облачните технологии и съответно програма за бързо и ефикасно намиране на необходимата информация, ще доведат до допълнително оптимизиране на интелигентното производство. За ползването на такава технология са нужни интелигентни кадри.

### VIII. BUSINESS INTELLIGENCE (BI)

Business Intelligence включва процеси, средства и технологии, необходими за превръщането на данните в информация, а информацията в знания и планове, които предполагат бързи и ефективни бизнес действия и подпомагат процеса на вземане на решения.

Именно чрез система за бизнес анализи потребителите получават сигурна, консистентна, разбираема, навременна и лесна за обработка информация, която създава предпоставки за информирано решение.

Ако систематизиране, Business Intelligence то той:

- Подпомага вземането на ефективни и информирани решения.
- Превръща огромните обеми от данни в ценно съдържание за бизнеса.
- Позволява достъп, споделяне, обработка и анализ на данни от точните хора, в точното време и по предпочитания от тях начин.
- Предоставя единна версия на истината.
- Запазва знанието в компанията.
- Спестява време и усилия на ключови фигури в компаниите.

Целта е резултатите от анализите да бъдат достъпни по всяко време и от всяко място за хората, отговорни за вземането на решения в компаниите. Също така и за анализаторите, които ползват време и знания в търсене на зависимости, за откриване на възможности, и за вземане на мерки преди зараждането на проблеми.

Проблемите, които BI може да реши също изисква подготвени високоинтелигентни кадри, които не само да

се справят с обслужване на системата за анализ и вземане на решения, а така също да могат да я развият.

Вследствие на умното използване, BI система, благодарение на множеството визуализации, налични в едно-единствено приложение, може да се проследява информацията през различни сечения, да се откриват скрити възможности и да се вземат информирани решения на база множество различни източници (ERP, CRM, Excel, Web и др.). Още един интелигентен метод, служещ си с разбиване и опростяване на сложните операции в широко познати и достъпни модели.

### IX. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новите видове автоматизация, дигитализация, виртуализация и умно производство налагат нови критерии и изисквания, както към обучаеми, така и към обслужващите ги кадри. Подготовката на такива кадри е предизвикателство към висшите училища да организират и проведат специализирани курсове по интелигентно инженерство. Тази нужда вече е осезаема и сред самите студенти, които по време на лабораторни занимания, ползвайки устройства, работещи с най-новите технологии на четвъртата индустриална революция, демонстрират заинтересованост, желание и с удоволствие изпълняват задължителни задачи, попълват необходими знания и дори предлагат идеи за развитие, които се превръщат в проекти за реализиране от тях.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] John Stokoe. "Exploiting the Fourth Industrial Revolution – Intelligent Engineering defines our future", Business, Innovation, and Sustainability in the Age of Experience, May 4, 2016
- [2] Henry Kissinger, Eric Schmidt and Daniel Huttenlocher, The Age of AI and Our Human' Review: Where is my Thinking Machine, WSJ, Nov. 1, 2021
- [3] Д-р. Давид Авишай, проф. Веселин Павлов, д-р. Галя Павлова, „Психо-технически, социални и реални достижения, и проблеми при използване на ИИ, и роботи в управление на производството през Четвъртата индустриална революция“, юни 2020, Конференция АДП, България.
- [4] Brian X Chen, What's All the Hope About the Metaverse, The New York Times, Jan. 18, 2022
- [5] Linda Rodriguez McRobbie, Total Recall: the People Who Never Forget, The Guardian, 08.02.2017

## ACADEMIC TRAINING IN INTELLIGENT ENGINEERING, PREPARING OF ENGINEERS FOR THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION

Давид Авишай  
Азриели, катедра Индустиален  
мениджмънт и инженерство  
Йерусалим, Израел  
e-mail: davishay@jce.ac.il

Галя Павлова  
Технически университет – София  
ФКСТ  
София, България  
e-mail: racheva@tu-sofia.bg

**Abstract:** This article discusses the methodologies of teaching intelligent engineering. In order for graduates to acquire the qualities that support the application of the technologies of the fourth industrial revolution in practice, a new type of human-machine interaction is needed. What is the minimum knowledge and skills that a modern engineer must have and how to apply them to become comfortable and understandable to society? It is a new kind of culture of human-machine relationship, the ability to use the qualities of both parties to achieve sound, innovative management of processes and communications

## МЕХАТРОНИКАТА НА 50 ГОДИНИ – СИТУАЦИОНЕН АНАЛИЗ НА ДИАМАНТЕНАТА И ВЪЗРАСТ

Стефан Къртунов  
ТУ - Габрово  
Габрово, България  
e-mail: skartunov@abv.bg

**Резюме:** Представена е историческа ретроспекция в развитието на мехатрониката. Изразена е позиция по това какво е състоянието ѝ през различните етапи на база личния опит на автора. За целта е направен ситуационен анализ за миналото и настоящото на Мехатрониката в диамантената възраст, който трябва да помогне със своя инструментариум за развитието ѝ в бъдещето. Използван е известният метод на SWOT-анализ. Разгледани са четири фактора, които идентифицират специалността и професията: плюсове, минуси, възможности и опасности и са представени данни по него.

*Ключови думи:* ситуационен анализ

### I. УВОД

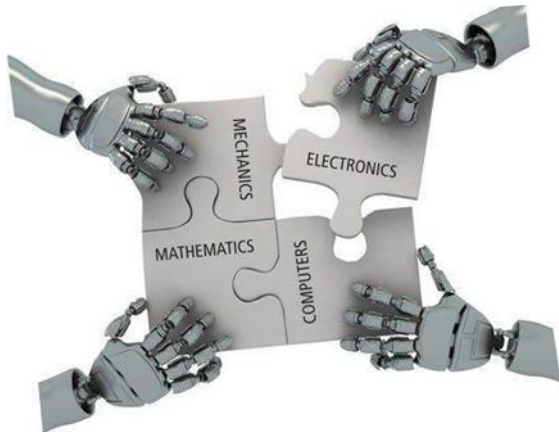
Словосъчетанието „Мехатроника“ е въведено от главният инженер Т. Мори и С. Яшкава - основател на фирма Yashkawa Electric, Япония през 1969 г. и е регистрирано официално като търговска марка в 1972 г. за получаване на приоритет в конкуренцията на пазара [1]. Навлизането и признаването на мехатрониката се дължи на нейното постоянно развитие и нарастващо значимо влияние върху различни области на техниката за увеличаване на производителността, с нови конструктивни решения, технологични методи и принципи на интеграция и минитюаризация в изделията. Може обобщено да се каже, че през 60-те години на ХХ-век са определени основните направления, в 70-те години – заложи основите на съвременната мехатроника, а в 80-те години тя се утвърждава и са получени удивително добри резултати в практиката и икономиката. Следва десетилетието на интердисциплинарно обучение и развой, микротехниката и микромехатрониката, ХХI-век с нанотехнологиите, наномехатроника и преходът от устройства с микроразмери към такива с наноразмери и тяхната неизбежна комерсиализация. Пълното навлизане на мехатрониката се дължи не само на структурните изменения в машиностроенето, но и на използването на нова елементна база (особено през 70-те години с появата на ИС), различни мениджърски методи в производството и търговски прийоми. Конкретни и съществено забележими резултати в нашия живот се виждат изобилно в прекия смисъл към и след 2015 г. Различават се следните по-характерни особености в това развитие: оптимизиране на конструкцията чрез CAD/CAE-системи, усъвършенстване на задвижванията и управленията; развитие на авангардни технологии, връзка с микро- и нанотехниката и интеграция в CIM; повсеместно внедряване на интелигентни системи за задоволяване потребностите на хората.

По-нататъшната еволюция естествено е чрез генетични, самоорганизиращи се системи, роботи и персонални синтезатори в промишлеността и селското стопанство, електромеханиката и биологията, екологията и разумната околна среда, космогонията и кибернетиката, медицината и геронтологията, които са разгледани от автора в [2, 3, 4]. В специализираната литература първи опит да представи обобщен труд по тематиката прави Кобаяси отново в Япония [5]. Съвременното състояние, актуалните проблеми и перспективите за развитие на наномеха-трониката са анализирани например в [6, 7].

### II. ИЗЛОЖЕНИЕ

За да се анализира развитието трябва да се разгледат сглобяваните единици в мехатронните изделия - елемент, модул (среща се и като компонент) и система. Електронните, цифрови, механични, електрически, хидравлични, пневматични и информационни елементи са част от мехатронната система, като първоначално елементи от различна физическа природа, сглобени съвместно, за да се получи качествено нов резултат, който не може да бъде постигнат от всеки елемент поотделно. Мехатронен модул (ММ) – функционално и конструктивно самостоятелно изделие за реализиране на движение с интеграция на техническото и програмно осигуряване на съставните му с различна физическа природа елементи. Мехатронна система (МС) – съвкупност от няколко мехатронни модула и сглобяеми единици (възли), синергетично (хармонично работещи) свързани помежду си за изпълнението на конкретни задачи [8]. Тези определения са от порядъка на 1995 г. и съвсем логично развитието на техниката доведе и продължава да води до мехатронни системи, които да съдържат принципно нови от конструктивна и технологична гледна точка сглобяеми единици [9]. МС се отличават със своята интегрираност на компонентите и изпълняваните функции в различна степен и в Индустрия 4.0, така както микро/нано-системната техника и мехатрониката са част от уредостроенето. Въвежда се и понятието „мехатронен подход“ или интегрален междудисциплинарен подход при разработване на МС. Япония е страната с най-активното развитие на подобен подход в технологиите, където се комбинират механични елементи, електрически машини, силова електроника, микропроцесори и софтуер за прилагане на високо прецизно управление на електрическо задвижване (фиг. 1). За производството на елементи, компоненти и системи от микротехниката в частност и мехатрониката се прилагат преди всичко методите за изработване чрез

тънки слоеве върху подложка, така че да бъде реализирано голямо разнообразие от уникални елементи.



Фиг. 1. Колаж Мехатроника [38]

Водещи страни в света, освен Япония, са Германия, САЩ, Корея, Русия..., а без да се прави реклама – фирмите National Instrument (САЩ), FESTO, Bosch-Rexroth, SMC, SIMENS (Германия) и Mitsubishi (Япония). В България приоритетна област бяха системите за автоматизация на инженерния труд, разработвани в комбинат “Мехатроника” Габрово, периферна и изчислителна техника в „Оргтехника” Силистра, системи и роботи за автоматизация на производството в ИММ и ИТКР София, ГАПС в Стара Загора, а в по-ново време са системите за опазване околната среда, контролерите за управления, нанотехнологиите станаха стратегически и други. Към момента водещи фирми са Мехатроника-Габрово, ИНТРАКОМ Трейд-Шумен, Клъстер по Мехатроника София и други.

Мехатрониката е наука, която започва да се преподава във ВУЗ от около 25-30 години като дисциплина, специализация и се обособява и като интердисциплинарна специалност, включваща механични, електронни и информационни системи. Специалността “Мехатроника” по данни към 2012 г. се изучава по света в машиностроителните факултети на престижни университети (Русия - 13, САЩ - 10, Германия - 8, Канада - 5, Холандия - 4, Япония, Австралия, Белгия - 3, Финландия и Унгария - 2, Нова Зеландия и България – 2, Сърбия и Македония - 1 и т. н.). За десет години посочените данни са се увеличили десетократно. Най-добрите 54 ВУ за обучение по Мехатроника са посочени в [10], съгласно проучване на Keystone Bachelorstudies. Според сайта на ТУ-София в последните години тя усилено се преподава в над 90 университета. В ТУ-София специалността е въведена през 2008г. В ТУ-Габрово от 2009 г. бе разкрито редовно и задочно обучение по “Мехатроника” за ОКС магистър и година по-късно - за ОКС бакалавър. Разработени са и 2 проекта за дуално обучение по Мехатроника. Мехатрониката масово е въведена във ВВМУ и ТУ-Варна, Русенски университет, в професионалните гимназии в страната-Габрово, Русе, Враца, Бургас, Ямбол, Чепеларе и т.н. По данни на ЮНЕСКО специалността е една от десетте най-търсени, нови и перспективни в Света. Националната агенция по професионално образование и обучение от 2013 г.

регламентира изискванията за квалификация по професията Мехатроника.

По отношение на научно-изследователските организации и институти в областта на нанотехнологиите, които предимно са към университетите, отново към 2012 г. водеща роля има САЩ с 21 центри, следвани от Р.Ю.Корея – 17, Германия, Япония и Израел – 10, Франция и Индия – 8, Великобритания и КНР – 7, Холандия – 3 и т. н. В България е Институтът по механика и ЦЛМП към БАН. През 2020 г. в ТУ-Габрово е открит център за компетентност “Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии”. По подобен начин стоят нещата и с научно-изследователските центри по микротехника. Аналогично данните за тях се увеличават десетократно.

Понастоящем съществуват най-разнообразни съвременни средства и учебно-методични материали за търсене, поясняване и онагледяване на елементи от мехатрониката и тяхното приложение в практиката – мултимедия, електронни библиотеки, сайтове за информационно и видеосподеляне on-line в Интернет и т.н., от които може да се види, прочете или направи справка. Затова ще се ограничи да дам само някои източници за целта [11, 12]. В библиографско направление се появиха редица книги като [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22], дефиниращи конструктивните и технологичните основи в мехатрониката. В последствие излизат специализирани издания, някои от които са [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32] и е много трудно да се обхванат всичките.

Съвременните направления се формират на научни конференции [33, 34]: Наномехатроника (Nanomechatronics), включваща проектиране, моделиране и симулиране на нови нано-устройства и системи и технологии за изработването им; Наноматериали и нанофотоника/оптика; Наноелектроника и спинтроника; Надежност и устойчивост на отказите в мехатрониката; Наномрежи; Нанобиология/бионика/ биомиметика; Нано-физика, нанокриохимия; Саморегулиращи се наносенсори и изпълнителни механизми (адаптивна механика) и други. Областите на приложение на мехатронните системи са: Промислена и специална (при аварии, екокатастрофи и подобни) робототехника; Машиностроене, оборудване и системи за автоматизация на ТП и ГАПС; Електроно машиностроене, диагностика и оборудване за бързо прототипиране; Авиационна, морска и космическа техника; Военна техника, уреди за полицията и спецслужбите; Разпознаване на образи; Автомобилостроене и нетрадиционни транспортни средства (електромобили и жироскопични велосипеди, инвалидни колички и т.н.); Офис- и регистрираща техника, периферни устройства в компютърната техника. Полиграфически машини; Медицинско и спортно оборудване (биоелектрически протези, тренажъри, масажъри); Битова техника и енергетика; Микромашини (за медицината, биотехнология, средства за връзка и телекомуникация); Контролно-измерителни средства и устройства, продажба и маркетинг; Лифтово и складово оборудване, автоматически врати в хотели и летища; Фото- и видеотехника, следящи и позициониращи системи; Транспорт по железници (системи за контрол и



стабилизация при влакове); Интелектуални машини за хранителната промишленост, селско стопанство; Екология, инженеринг и мониторинг, развой на програмно осигуряване; Интелектуални устройства за шоу-индустрията и атракционни заведения, За инженеринг, реинженеринг и продължаване на жизнения цикъл на индустриални машини, уреди и системи, както и за създаване на системи за автоматизирано и софтуерно подпомагано управление и други. Нарастващата дигитализация превръща тази област в жизненоважна за бъдещето ни.

В изследването при провеждане на анализа за състоянието на 50 годишнината на Мехатрониката се използва известен метод. Метод за анализиране на слабите и силните страни и отнасянето им към факторите за успех в даден бранш, е SWOT-анализът [35]. Неговата цел е определянето на позицията за собствените приоритети и сравняването им спрямо тези на конкуренцията. SWOT-анализът е ситуационен анализ, който е определен във времето. В настоящия анализ този известен метод се използва само и единствено с презюмпцията за отстраняване на рисковете и изграждане на печеливша стратегия за бъдещото на Мехатрониката и след 50-годишния ѝ юбилей.

ТАБЛИЦА 1 SWOT-анализ на Мехатрониката във връзка с 50-та ѝ годишнина

<b>СИЛНИ СТРАНИ:</b>	<b>СЛАБОСТИ И НЕГАТИВНИ ФАКТОРИ:</b>	изпълняват конкретни задачи.	пазарни отношения, европейско и световно интегриране.
<p>1. Относително ниска цена на мехатронните системи, постигната благодарение на значителна интеграция, стандартизация и унифициране на всички компоненти на интерфейсите и елементите.</p> <p>2. Способността да се прилагат точни и сложни движения благодарение на методите за интелигентно управление.</p> <p>3. Висока степен на надеждност, дълготрайност и устойчивост на шум.</p> <p>4. Компактността на използваните модули, която позволява да се управлява на по-малка площ. Те могат да бъдат лесно комбинирани, за да се постигне способността да се</p>	<p>1. Недостатъци. Разработване на генерална стратегия за развитие на Мехатрониката с визия, цел, акценти и отличителни страни/ценности в отделните дейности, която да е основа в управлението ѝ. Дефиниране на глобалните, национални и регионални функции и приоритети и набелязване на конкретни стратегически мерки за изпълнение в указан период.</p> <p>2. Да бъде ориентирана за изграждане на предприемчиви личности, отговорни за собственото си развитие.</p> <p>3. Да бъде среда за развитие на социално загрижени личности, подготвени за живот в условията на демокрация, гражданско общество,</p>	<p>5. Благодарение на опростяването на кинематичните вериги, мехатронните системи имат добри динамични и масови размери.</p> <p>6. Разработване на актуални изделия, пряко свързани с потребностите на хората в най-различни области на живота, включително и Корона-вирус.</p> <p>7. Нарастващ дял на пазара, по-висока норма на възвръщаемост и намален риск в сравнение с други инвестиции, единични нововъзведения и етапност в развитието.</p> <p>8. Специалността и професията Мехатроника е търсена, интересна и вече се е превърнала за много хора в смисъл за целия живот.</p> <p>9. Мехатрониката е комплексна изследователска и създаваща, виртуална и материална, социална и диалогична, новаторска и стратегическа, интелигентна в реално и извън работно време трансдисциплинарна специалност, професия и инженерна парадигма - феномен на съвремието - във всички области на науката и практиката !</p>	<p>4. Да осигурява интердисциплинарно общо и тясно специализирано образование, основано на изследванията и връзката с практиката. Застаряло оборудване по отношение на стендове, установки за изпитания и провеждане на научно-изследователска дейност.</p> <p>5. Липса на конкурентни предимства. Липса на действена система за постоянен мониторинг на пазара на труда и оценка на потребностите. Репутация, присъствие и достъп на пазара. Нарушаване единството м/у обучение и научни изследвания поради конюнктурата на пазара. Ниска ефективност в сферата на интелектуалната собственост.</p> <p>6. Уязвими страни. Недостатъчно ефективно навлизане в трудовата заетост на страната и чужбина. Наличие на отделни случаи на корупция.</p> <p>7. Пропуски в качеството на изделията, изпълнението и работа под натиск на крайни срокове. Малък цикъл на живот.</p> <p>8. Материална база. Оптимизиране на инфраструктурата и управлението. Управленско покритие, приемственост на управленските решения. Ниска ефективност и големи загуби от дадените под аренда, наем и приватизирани мощности и площи.</p> <p>9. Липса на внимание към начина ни на</p>

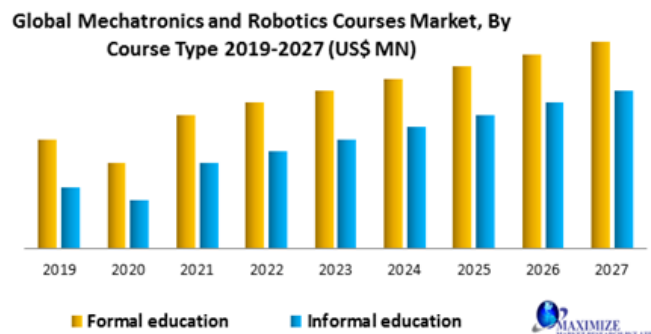
	<p>мислене, говорене и поведение по отношение на специалистите.</p>	<p>специализации за региона, страната и ЕС.</p>	<p>по видовете услуги в държавата.</p>
<p><b>БЛАГОПРИЯТНИ ВЪЗМОЖНОСТИ</b></p> <p>1. Да се оцени значението, перспективите и значимостта на проектите. Изгответе проектни документи, които описват дизайн и процеса на производство на отделните елементи.</p> <p>2. Разработване на информационни, електромеханични, електрохидравлични, електронни и микропроцесорни модели на системни модули. Наблюдаване развитието за съответствие.</p> <p>3. Създаване на софтуер за управление на мехатронни устройства, процеси и събития. Прилагане на CAE-системи при проектирането, изработването и изпитването на мехатронните системи. Дигитализиране.</p> <p>4. Да произвежда, сглобява и тества проектираното оборудване. Подготвяне инструкции и нормали за използване на устройствата. Да се съставят и регистрират патенти и лицензи. Работа в тим.</p> <p>5. Модернизиране и отстраняване на грешки в мехатронните системи.</p> <p>6. Развитие на пазара, бранша. Въвеждане на приоритети за развитие на науката и образованието. Откриване на нови направления и</p>	<p><b>ЗАПЛАХИ (РИСКОВЕ) И ОПАСНОСТИ</b></p> <p>1. Политически ефекти и нестабилност, загуби от войни.</p> <p>2. Законодателни ефекти. Увеличаване количеството на проблемите, свързани с правната система.</p> <p>3. Негативни ефекти от околната среда. Влияние на външната среда, демографският фактор (най-голямо върху развитието и потенциала на Мехатрониката).</p> <p>4. Развитие на ИТ-сектора. Използване на интелектуалната собственост и незачитане на авторските права. Масово прилагане на дистанционното обучение по технически специалности. Намаляване качеството на обучение по специалността.</p> <p>5. Намерения, цели на конкуренцията. Дъмпингова политика от конкурентите. Загуба на конкурентна способност и не задоволяване потребностите на работодателите и работещите. Загуба на ключови служители и липса на персонал. Липса на стратегия и приемственост в кадровата политика. Изтичане на кадри по финансови причини. Адаптивен процес за самообучение на управленческия персонал.</p> <p>6. Пазарно търсене. Липса на адекватно планиране, служби за целта и връзка с динамичността на пазара</p>	<p>7. Развитие на технологиите и иновациите.</p> <p>8. Глобално влияние върху бизнеса. Нови пазари и целеви пазарни ниши. Географски внос, износ. Организиране на ефективен финансов мениджмънт в 4 направления: анализ на състоянието, планиране на дейността, осигуряване и разпределение на ресурсите</p> <p>9. Нови уникални предложения и изделия</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кое прави Мехатрониката различна?</li> <li>• Силата на инженерното познание;</li> <li>• Многобройните научно-изследователски и образователни проекти.</li> </ul>	<p>7. Нови технологии, услуги, идеи. Прогнозиране рисковете и адекватна самооценка „Къде сме ние“.</p> <p>8. Препятствия. Недостатъчните парични средства и съкращаване на бюджет. Недооценяване на стратегически задачи.</p> <p>9. Зависимост и пристрастеност на човека от мехатронните изделия.</p> <p>10. Загуба на професионални умения и навици. Непреодолими слабости - дай Боже да се справим!</p>

Анализът разглежда четири фактора, които идентифицират обектът, за която са приложени:

- Плюсове (Strengths) - какви са силните страни на анализирания обект, например ключови компетенции;
- Минуси (Weaknesses) - негативни вътрешни фактори;
- Възможности (Opportunities) - положителни външни фактори;
- Опасности (Threats) - идентифицирани опасности могат да помогнат за планиране на рисковете.

Графично представяне на SWOT анализа е представено в таблица 1, а данни по него – следват: Областите за внедряване на специалисти по Мехатрониката в практиката са многостранни. Съгласно [36] най-голям дял от 42% има изследователската и развойна дейност, следват техническото паниране и проектиране 23%, консултанска и сервизна дейност 10%, производство и продажби по 7% и т.н. Пазарът за 2019 г. има дял от 1071 мил. \$ и се очаква да достигне до 2027 г. до 1704,2 мил. \$ с ръст от 6%, което бе отчетено на конференцията по Мехатроника и автоматика в Париж [33]. На фиг. 2 е показано и нарастващото пазарно търсене на образователни услуги в Мехатрониката за периода

2019-2027 г. Развитието продължава и след 50-та годишнина!



Фиг. 2. Пазарно търсене в мехатрониката [37]

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ситуационният анализ на миналото и настоящото на Мехатрониката в диамантената ѝ възраст трябва да помогне със своя инструментариум в развитието ѝ в бъдещето. Използван е известният метод на SWOT-анализ. Разглеждат се четири фактора, които идентифицират специалността и професията: плюсове, минуси, възможности и опасности. Изразена е позиция по това как се е развивала през различните си етапи на база личния опит. Разбира се, че има и други методи като портфолио, икономически анализ и т.н., но смятам че това е достатъчно. Опитът да се покаже къде точно е заемала, заема и ще заема място на пазара и изобщо какво е в живота ни Мехатрониката не е без риск, но би трябвало да даде резултат или най-малко да доведе до размисъл. Това е желанието на съвременният, предприемчивият габровски дух, който така ми се иска в професионалистите по Мехатроника да личи!

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

[1] Предметно-систематически указател по рускоязычним терминам, Москва, Националният изследователски център „Курчатовски институт“, 2011, <http://144.206.159.178/FT/psu.pdf>

[2] Къртунов С., Quo vadis Mechatronic?, Известия, ТУ – Габрово, бр. 47/2014, ISSN 1310-6686, стр. 88-89

[3] Kartunov S., State, Applications and Tendencies in the Advance of Novelty Nanotechnologies, Vranecika banja, Serbia, ISK “RADMI-05”, 2005, стр.53, ISBN 86-83803-20-1

[4] Къртунов С., Технологични основи в мехатрониката, микро- и наносистемната техника, Габрово, УИ „В. Априлов”, 2012, ISBN 978-954-683-482-9, стр. 383, COBISS.BG-ID – 1259450340

[5] Кобаяси Н, Введение в нанотехнологию, второ издание (пер. на рус.), Москва, БИНОМ Лаборатория знаний, Россия, 2008

[6] Теряев Е., Филимонов Н., Наномехатроника: состояние, проблемы, перспективы, Мехатроника, автоматизация, управление, N 1 (106), 2010, стр. 2-14, ISSN 1684-6427

[7] <https://www.bakalavarski-programi.com/Бакалавриат/Мехатроника/>

[8] Мехатроника/Mechatronics - HD 720p, [www.youtube.com/watch?v=УНсР115\\_Uk](http://www.youtube.com/watch?v=УНсР115_Uk)

[9] <http://ru.wikipedia.org/wiki/Мехатроника>

[10] Мехатроника, video.data.bg/28/98682

[11] Мехатроника, Статия мехатроника, №7. Основа метода мехатроники, №8 Синергетическая интеграция, [www.mehatronus.ru/boar/1-1-0-9/10](http://www.mehatronus.ru/boar/1-1-0-9/10)

[12] Подураев Ю., В. Кулешов, Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем, Мехатроника N:1, 2000,

[www.mechatronica-journal.stankin.ru/image/Poduraev-Kuleshov.pdf](http://www.mechatronica-journal.stankin.ru/image/Poduraev-Kuleshov.pdf); Основы мехатроники, 2007, ISBN 978-5-217-03388-1;

[13] Grote Antonsson (Eds.), Springer Handbook of Mechanical Engineering, Wuerzburg, Springer Verlag, 2008, ISBN 978-3-540-49131-6

[14] Gideon Halevi, Handbook of Production Management Methods, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001, ISBN 0 7506 5088 5

[15] Adrian Munteanu, ELECTRICAL ENGINEERING TECHNOLOGY, Iasi, 2015, p. 230

[16] [16]. Gupta H., Gupta R., Mittal A., Manufacturing Process (Second Edition), New Delhi, NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS, 2009, ISBN (13) : 978-81-224-2844-5, p. 194

[17] Ramalingam K., Handbook of Mechanical Engineering (Second Edition), New Delhi, NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS, 2009, ISBN (13) : 978-81-224-2874-2, p. 366

[18] Carvill J., Mechanical Engineer’s Data Handbook, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2003, p.354

[19] Martin Hägele, Klas Nilsson, J. Norberto Pires, Industrial Robotics, Springer Verlag, DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5\_43, 2007

[20] Fischer U., Heinzler M., Naeher F...Mechanical and Metal Trades Handbook, Haan-Gruiten, Verlag EUROPA LEHRMITTEL, 2010, ISBN13978-3-8085-1913-4, p. 436

[21] G-roover M., AUTOMATION TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING SYSTEMS (4th Edition),

[22] Исии Т., Симояма И., Иноуэ Х и др., Мехатроника, Москва, Мир, 1988, УДК 621.396.6, перевод от японски С. Л. Масленников

[23] Яхно О., Узунов А., Луговской А. и други, Введение в мехатронику, Киев, Белоцерковная друкарня, 2008, ISBN 966-8454-19-7, стр. 527

[24] T. Cornelius: Handbook Techniques and Applications Design Methods; Fabrication Techniques; Manufacturing Methods; Sensors and Actuators; Medical Applications. Springer, 2007, p.1350

[25] Онами М., Введение в микромеханику, Москва, Металургия, 1987, УДК 531, перевод от японски П.Д.Баев

[26] Czichos Horst, Mechatronik, Verlag: Wiesbaden, Springer Fachmedien, 2019, ISBN: 978-3-8348-9480-9

[27] Isermann Rolf, Mechatronische Systeme, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K, 2013, ISBN13 9783540323365, p. 550

[28] Traehtler A., Gausemeier J., Steigerung der Intelligenz mechatronischer Systeme, Springer Vieweg, 2018, ISBN-13: 978-3662563915, p.262

[29] Janschek Klaus, Systementwurf mechatronischer Systeme, Springer, 2010, ISBN: 978-3-540-78876-8, p. 842

[30] Gausemeier Jürgen, Ansgar Trächtler und Wilhelm Schäfer, Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme, Carl Hanser, 2014, ISBN 978-3-446-43630-5, p. 309

[31] Чигарев А., Цимерманн, Чигарев В., Введение в мехатронику, Минск, БНТУ, 2013, ISBN 978-985-550-008-8, p. 388

[32] Lambert Lutz, Mechatronische Systeme, Oldenbourg, Published by De Gruyter, 2022, ISBN: 9783110737998, p.280

[33] Международна конференция „Nano-Net”, Люцерн, Швейцария, 18.10.2009 - 20.10.2009 <http://www.nanonets.org/>, (<http://popnano.ru/events/index.php>); 5-та Нано-технологична конференция Nanotech Europe 2009, Берлин, Германия, [www.nanotech.net](http://www.nanotech.net); 6-та Международна конференция „Тенденции в нанотехнологиите”, Барселона, Испания, 2009, [www.tntconf.org](http://www.tntconf.org); Paris, 2022, Praga, 2022, <https://mechatronics.conferenceseries.com/>;

[34] Чакърски Д., Мехатроника – постижения, перспективи, 2008, [www.kaminata.net/mehatronika-t17410.html](http://www.kaminata.net/mehatronika-t17410.html), [www.pomagalo.com](http://www.pomagalo.com)

[35] Къртунов С., Д. Димова, Логистика, Габрово, УИ „В. Априлов”, 2007, ISBN 978-954-683-377-8, стр. 4-5

[36] Maß Martin, Berufliche Perspektiven, <https://www.w-hs.de>

[37] [www.maximizemarketresearch.com](http://www.maximizemarketresearch.com)

[38] [garynevillegasm.com/obrazovanie/76311-mehatronika](http://garynevillegasm.com/obrazovanie/76311-mehatronika)



## MECHATRONICS AT THE AGE OF 50 – SITUATIONAL ANALYSIS OF HER DIAMOND AGE

Stefan Kartunov  
TU – Gabrovo  
Gabrovo, Bulgaria  
e-mail: skartunov@abv.bg

**Abstract:** A historical retrospective in the development of mechatronics is presented. A position has been expressed on what her condition is during the various stages based on the personal experience of the author. For this purpose, a situational analysis of the past and present of Diamond Age Mechatronics has been made, which should help with its tools for its development in the future. The known method of SWOT analysis was used. Four factors that identify the specialty and the profession are considered: pros, cons, opportunities and dangers and presented data on it.

# СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОЦЕСА НА КОНВЕКТИВНО КАМЕРНО СУШЕНЕ НА ДЪСКИ

Христо Шехтов  
Лесотехнически университет  
София, България  
e-mail: hr.shehtov@mail.bg

**Резюме:** Конвективното камерно сушене на фасонирани дървени материали (дъски) е задължителен технологичен процес, предназначен да намали високата им естествена начална влажност до ниска такава, подходяща за тяхната конкретна (по предназначение) експлоатация. Разгледани са прилаганите у нас и в чужбина методи за неговото управление. Те са оценени по редица показатели: продължителност на технологичния процес, енергийни разходи, качество на изсушените материали. Доказано е предимството на предложението от автора метод за управление на процеса по посочените показатели, постигнати в ,производствени условия.

**Ключови думи:** конвективно камерно сушене, фасонирани дървени материали (дъски), сушилен агент, температура, влажност и скорост на циркулация на сушилният агент, температура, влажност, влажностен градиент и вътрешни напрежения на изсушаваните дъски, метод на управление на сушилният процес, системи за автоматично програмно и следящо управление (регулиране) на конвективно камерно сушене на дъски.

## I. УВОД

Практическото използване на скъпата и дефицитна в миналото и днес дървесина се предшества като правило от нейното изсушаване до влагосъдържание, отговарящо на условията на експлоатация и предназначението на изделията, изработени от нея или с нейно участие. С изсушаването на дървесината се осигурява и по-голяма нейна трайност и продължителност на експлоатация на тези изделия. Атмосферното сушене на дървесината, възникнало исторически най-рано не е изгубило своето значение и днес, особено в страни като България с относително голям брой слънчеви дни в годината. С въвеждането на едни или други технически средства за неговото ускорено протичане, каквито сме използвали и в наши разработки и реализирани решения, то става в значителна степен по-ефективно от естественото такова. Несъмнено, най-широко прилагания начин на сушене на масивна дървесина – фасонирани материали (дъски), така и на някои други дървесни материали е този на конвективното камерно сушене. При него се съкращава значително продължителността на процеса на сушене на дървените материали в сравнение с тази на естественото им, атмосферно такова – резултат на допълнителното им подгриване. При камерното сушене до голяма степен се елиминира влиянието на климатичните условия. В качеството на основен обработващ агент при конвективното камерно сушене се използва топъл влажен въздух и прегрята пара - паровъздушна смес, която чрез

конвекция предава топлина на изсушаваните дървени материали.

Сушенето на масивната дървесина е сложен процес, обусловен от едновременно протичане на редица физически явления като: топлообмен на материала и обкръжаващата го среда – сушилният агент в камерата; изпарение на влагата от повърхността на изсушаваните дъски, преместване на влага вътре в материала. Последното става под въздействието на движещите сили на влажностния и температурния градиенти, на разликата в налягането вътре в материала, водеща до преместване на влагата в посока към по-ниското такова. Правилното протичане на сушилният процес е възможно само с отчитане на свойствата и на двата компонента на процеса: на изсушавания материал и на сушилният агент, особено на специфичността на първия. Дървесината се отнася към капилярно-порестите колоидни тела с анизотропен строеж и с налична в нея свободна и свързана влага. Изучаването и отчитането на физико-механическите явления на процеса на сушене, т.е. на микромеханизма на неговото протичане е твърде сложно и математическото му описание е трудно постижимо. Затова при процеса на сушене на дървените материали се изхожда най-често от макромеханизма на пренасяне на топлина и влага по време на протичането му на основата на законите на термодинамиката на необратимите процеси с отчитане на специфичността на условията, при които то се провежда.

## II. МЕТОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОЦЕСА НА КОНВЕКТИВНО КАМЕРНО СУШЕНЕ НА ДЪСКИ. ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ

По въпросите на усъвършенстването на технологията и управлението на сушилният процес на дървени материали (дъски), в частност, на конвективно-камерното им изсушаване, са работили и работят голям брой учени в света, в т.ч. и наши такива. Достатъчно е да споменем някои по-известни от тях, като: проф. Серговски, проф. Шубин и проф. Уголев (Русия); проф. Колман, проф. Флеминг и проф. Гилвелд (Германия); проф. Требула и проф. Чичел (Словакия); проф. Николов, проф. Виделов, проф. Делийски и проф. Шехтов (България). Усилията на тези и други учени в техните разработки са ориентирани към търсене и намиране на научно-технически решения водещи до една или друга степен на оптимизиране протичането на важния и отговорен технологичен процес, какъвто е сушилният на дървени материали.

На основата на натрупания дългогодишен опит по изсушаване на дървени фасонирани материали (предимно дъски от един или друг дървесен вид) в много страни, в

т.ч. и в нашата са разработени и се прилагат и днес т.нар. нормативни режими на управление на процеса на конвективно камерно сушене, съобразени с дебелината и дървесния вид на материалите, началното им (изходно) влагосъдържание, с изискванията за крайното им такова и качеството на изсушените вече продукти. В съответствие с избрания нормативен режим, управлението на сушилният процес се свежда до задаване и реализиране по време на едни или други параметри (температура и влажност) на сушилният агент. Изборът на нормативния режим на сушене, свързан с изискванията за качеството на изсушените дървени материали на практика води до един от двата режима – нискотемпературния или високотемпературния. Първият режим се провежда с използване на сушилен агент – влажен въздух с температура в началото на процеса под 100 °С в една от трите категории: меки, нормални или форсирани. Меките режими са препоръчителни за сушене до транспортна влажност. Нормалните режими се прилагат за сушене на дъски за вътрешно (в страната) потребление независимо от желаната им крайна влажност. Форсираните („острите“) режими са подходящи за сушене до експлоатационната им влажност на определени строителни материали. Високотемпературните режими се провеждат в камери със сушилен агент в тях прегрята пара с температура над 100°C и налягане от порядъка на атмосферното. При прилагането им на практика дървесината променя цвета си – потъмнява, намалява в известна степен здравината ѝ, което ограничава тяхното практическо използване.

Разгледаните и други прилагани за сушене на различни дървени материали режими се базират на големия опит. Индивидуалните им особености и параметри в рамките на един и същи пакет обаче обуславят различното им поведение по време на процеса и, в крайна сметка, невъзможността да се прогнозира вярно и постигне напълно желаното качество в резултат на тяхното изсушаване при възможно най-малки енергийни разходи. Този недостатък не се избягва каквито и да са прилаганите технически средства за контрол и управление на сушилният процес, включително и микропроцесорните системи, използвани за тази цел. Това е така, тъй като системите за управление на процеса реализират един или друг избран режим на сушене по твърда програма. Предимствата на прилагането на методите за управление на сушилният процес на конвективно камерно сушене на базата на избран, изхождайки от дългогодишния опит, нормативен режим остават главно по-малките финансови разходи за осъществяването му. Този показател е важен, но не може да бъде водещ, ако е постигнат за сметка на нарушаване на изискванията за качество на изсушените материали, регламентирани според техните предназначение и условия на експлоатация. В резултат от управление на сушилният процес на дървени фасонирани материали по описания, широко разпространен в практиката метод, се постига желаната им крайна влажност, но тя е средната за пакета, но нейното разпределение в отделните му части е различно. Налице са и остатъчни вътрешни напрежения, деформиращи (измятащи, изкривяващи) изсушените дъски. Това е така, тъй като управлението на процеса на конвективно камерно сушене по избран нормативен

режим е всъщност, както се изтъкна, управление по твърда предварително зададена програма. За постигане на подобрения в управлението на този сложен технологичен процес, специалистите-технолози и автоматични търсят възможности за неговото по-добро, по-пълно и адекватно моделиране. В тази насока са били ориентирани и нашите разработки, повечето от които са доведени и до успешна практическа реализация. [1;2]. В тях е заложено становището, че сушенето на дървените материали в камери ще протича по-бързо, с по-малко енергийни разходи и с по-добро качество на крайния продукт, колкото по-пълно се отчита моментното (по време на процеса) състояние на изсушаваните материали чрез важните за него параметри, контролирани на основата на изведени достоверни, адекватни модели.

### III. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА УПРАВЛЕНИЕТО НА ПРОЦЕСА НА КОНВЕКТИВНО КАМЕРНО СУШЕНЕ НА ДЪСКИ НА ОСНОВАТА НА СЪВРЕМЕННИТЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ ПОСТИЖЕНИЯ

В резултат на многобройните изследвания на споменатите по-горе и други учени, през последните години са изяснени редица показатели, характеризиращи поведението на материалите от масивна дървесина по време на конвективното им камерно изсушаване. Това се отнася до вида (картината) на температурното и влажностното разпределение в различните части на отделните дъски и на пакета като цяло. Изследвани са постфактум вътрешните напрежения в изсушаваните дъски, възникващи по време на процеса, съдейки за тях по последвалите в края му остатъчни деформации. Известни са и отделни изследвания на динамичните характеристики на самите камери, в които се провежда сушилният процес, като част от системата за неговото управление. В резултат на тези многобройни научни изследвания, в т.ч. на начина на протичане на процеса и на разработени в съответствие с тях математични модели, са предложени едни или други системи за неговото управление. В тях са постигнати, без съмнение, определени подобрения в управлението на сушилният процес в сравнение с това в предходните технически решения. Въпреки това, използването им на практика не позволява постигане на желаното му оптимизиране. Това е и причината, при провеждане на практическото, промишлено конвективно камерно сушене на фасонираните дървени материали, управлението да се осъществява по твърда програма, без по-пълно отчитане на индивидуалните за отделните дъски в пакета стойности на технологичните им параметри.

В очертаните насоки на изучаване на сложния технологичен процес на конвективно камерно сушене на фасонирани дървени материали и, търсейки на тази основа на възможно най-доброто негово управление, са многостранните наши разработки в един продължителен период от време (повече от 30 години). Те позволиха реализирането в условията на производствената практика на действително доказано оптимално управление. Ето част от тези разработки и получените от внедряването им положителни резултати.

В нашите по-ранни разработки се ориентирахме към създаване на метод за управление на процеса на

конвективно камерно сушене, т.е., на параметрите на сушилният агент – температура, влажност и скорост и посока на циркулация на основата на контрола (следене) през целия сушилен процес на средната влажност на изсушаваните фасонирани материали [3]. Този параметър е важен за процеса, тъй като неговата промяна от висока начална стойност до определена крайна (ниска) такава отговаря на целта и същността на сушилният процес. Този метод е очевидно по-добър от прилагания широко все още у нас и в чужбина за управление на процеса чрез промяна на параметрите на сушилният процес по твърда програма в зависимост от текущото време (регламентирани от избрания за конкретния случай нормативен режим). Аналози на посоченото наше по-добро решение се наблюдават и в чужбина (Русия, Чехия, Словакия, Австрия и др.). Управлението на сушилният процес в тях е както в нашето решение с тази разлика, че за средната влажност на изсушаваните дъски при тях се съди по тази на изсушавани паралелно с тях в камерата отделни образци, а в нашия метод тя се отчита на тегловен принцип за целия пакет. Техническото решение, което ние разработихме, представлява хидравлична везна, или, в реализирания вариант, тензометрична такава. По-конкретно в него се използват 4 тензометрични 5-тонни глави, монтирани под подвижна част на релсовия път в камерата, върху която се позиционира вагонетката с пакета от дъски. По време на сушилният процес автоматично се отчитат показанията на тензометричните глави и се пресмята средната влажност на целия пакет от дъски [4]. Следва да се изтъкне, че гарантираната висока точност на отчитане на тази средна влажност (под 1,5%) е резултат на точното пресмятане за конкретния случай изсушавани дъски на тяхната маса в абсолютно сухо състояние. Прилагането в производството на описания наш метод за управление на сушилният процес на фасонирани дървени материали е оправдано и целесъобразно за случаите на по-малки изисквания относно качеството им за условията на тяхната експлоатация, както и предназначението им за употреба.

За по-отговорни случаи на приложение на изсушените вече дървени материали се изисква контролиране на по-голям брой характерни техни параметри, при това, отчитани не само обобщено за целия пакет, но и индивидуално за отделните дъски в него. Макар и подбрани от един и същи дървесен вид и с първоначални сходни параметри, на практика включените в един и същи пакет дъски имат различни техни температурни и влажностни стойности. По време на изсушаването им те се променят по различен начин, влияние оказва и местоположението им в пакета. Тяхното пълно отчитане (т.е., във всички точки на отделните дъски) е не само невъзможно, но не е и целесъобразно и оправдано. Затова, търсейки начин на управление на процеса на конвективно камерно сушене на дървените фасонирани материали, с индивидуално, доколкото е възможно, отчитане на техните влажностни и температурни показатели, проведохме голям брой изследвания, търсейки изясняване на картината на тяхното количествено разпределение в пакета. На тази основа определихме характерните места (краен брой), в които те трябва да се контролират по време на сушилният процес и да се управлява оптимално самият сушилен процес [5,6]. Вече

отбелязахме по горе, че при неговото протичане в отделните дъски възникват вътрешни напрежения, някои от които, големи, можещи да предизвикат техни деформации (измятания) и пукнатини. Автоматичният директен контрол на тези вътрешни напрежения все още е непостижим, но техният косвен такъв е възможен и целесъобразен. Имайки предвид, че, доказано, стойностите на тези напрежения се определят в значителна степен от тези на влажностния градиент (разликата между влажностите в отделните точки на изсушаваните дъски), в разработен от нас метод сме заложили автоматично, непрекъснато време на процеса контролиране на влажностния градиент с определяне максималния за момента такъв. В изпълнение на тези действия разработихме специализирано автоматично устройство [7], доказало в работа изпълнението на заложените му функции. Този начин на косвен контрол на вътрешните напрежения в изсушаваните дъски е по-добър от, все още прилагания в практиката, за вътрешните напрежения да се съди по деформациите на изрязвани на определени интервали от времето на сушене т.н. „силови“ П-образни секции от отделни дъски. В някои решения в чужбина за вътрешните напрежения в дъските се съди по степента на тяхното „съсхване“. И в двата случая косвеният контрол на вътрешните напрежения се прави на малък брой образци и резултатът от него не е представителен и автентичен за тяхната цялостна картина. Затова с основание смятаме, че нашият метод за контрол на напреженията в дъските по влажностните им градиенти, контролирани в уточнени за тях характерни места, позволява по-реално косвено отчитане на напрегнатото състояние на изсушаваните материали. Към параметрите на сушилният агент, чиито стойности задължително трябва да се управляват по време на процеса на изсушаване на дъските – температурата и влажността следва да се добавят и скоростта и посоката на неговата циркулация. Обобщено казано, в разработения от нас метод за управление на процеса на конвективно-камерното сушене на дървените фасонирани материали (дъските) е заложено то да се осъществява по изброени параметри на сушилният агент (влажен въздух, паровъздушна смес) на основата на моментното им състояние, отчитано чрез контрол на стойностите в уточнени характерни места в пакета на изброените по-горе параметри. С други думи казано, вместо прилаганите в производството методи на програмно (по уточнена преди процеса, съобразно избран нормативен режим твърда програма) управление на процеса на конвективно камерно сушене, нашият метод залага на следящо управление (регулиране), продиктувано от моментното състояние на изсушавания дървен материал. Безспорните предимства на нашия метод позволиха той да бъде защитен успешно не само у нас и в бившите социалистически страни (СССР и ГДР), но и в редица капиталистически страни като Австрия, ФРГ, Франция, Швеция и Канада [8-15].

За осигуряване на възможности за практическо реализиране на патентования наш метод за автоматично следящо управление (регулиране) на процеса на конвективно камерно сушене на фасонирани дървени материали (дъски), разработихме две специализирани технически устройства. Техните решения са оригинални,

съвременни за времето на създаването им и са признати за изобретения (патенти) у нас и в посочените по-горе други страни. Едното от тях [16-21] е устройство за автоматично определяне на средната влажност на материала, по-специално на бичен дървен материал по време на камерното им изсушаване. Другото [22-29] е задаващо звено за автоматично регулиране на режима (управление на параметрите на сушилният агент) по време на камерното сушене на дървесината. Оценявайки високо научно-техническите постижения, съдържащи се в нашите патентовани решения, Институтът по изобретения и рационализации (Патентното бюро на България) осигури необходимите финансови средства за тяхното практическо реализиране. Те бяха осъществени в дървообработващия завод „Рилски бор“ (г. Искър), където конвективното камерно сушене се осъществяваше, както и в другите заводи в страната, на основата на избрани нормативни режими. В отделна камера, предоставена от Ръководството на завода беше монтирана нашата автоматична система за управление на конвективното сушене на дъски от използваните в предприятието дървесни видове. Резултатите от проведената 72-часова проба на нашето техническо решение, както и продължителната експлоатация на системата впоследствие доказаха убедително голямото ѝ предимство икономическата ефективност в сравнение с прилаганите други технически решения. Накратко огласено, предимството се изразяваше в следното:

- Съкращаване продължителността на сушилният процес средно с 29% за дъски от иглолистни и с 15% за тези от широколистни дървесни видове;
- Реализирана икономия на енергия средно 16%.

И в двата случая качеството на изсушените фасонирани материали беше по-добро (много по-малък процент пукнатини и деформации в тях) в сравнение с масово прилаганите в практиката методи на конвективно камерно сушене.

В по-късни наши разработки, стремежът е бил, използвайки по-добри съвременни технически средства, основно микропроцесорни и такива за по-прецизен контрол на технологичните параметри, да актуализираме апаратно изпълнението на разглежданата по-горе патентована наша система за управление на процеса на конвективно камерно сушене на фасонирани дървени материали [30].

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конвективното камерно сушене на фасонирани дървени материали (дъски) е важен технологичен процес, целящ намаляване на влажността им от висока начална до ниска крайна, съответстваща на условията на тяхната експлоатация. Той се е прилагал много отдавна, като с времето е бил подобряван на базата на натрупан все по-голям опит и постигнати научни резултати в тази област. Заслуга за високото съвременно ниво на съвременните методи и технически решения за управление на процеса на конвективно камерно сушене на дървените материали имат голям брой световно известни учени и инженерни специалисти. Значителен е в това отношение и приносът

на наши научни работници, в т.ч., и на автора, признат у нас и в чужбина.

По-конкретно това се отнася до предложения метод за следящо управление на процеса на конвективно камерно сушене на дървени фасонирани материали (дъски) на основата на важни техни параметри в характерни места, установени в резултат на проведени голям брой изследвания. Методът, както и някои автоматични устройства, разработени за неговото приложение, са патентовани у нас и в чужбина, а резултатите от внедряването им в производството са доказали убедително превъзходството им спрямо известните прилагани със същата цел методи. Техническите решения, съвременни за времето на тяхното създаване позволяват тяхното усъвършенстване както по отношение на тяхната прецизност, така и по отношение на тяхната обхватност. Логично е да се очаква в бъдеще да бъдат създадени и технически средства за директен автоматичен контрол на отделни технологични параметри, контролиращи ги засега само косвено.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шехтов, Хр. (1988), Възможности за математическо описание на процеса на конвективно камерно сушене на масивна дървесина, Научни трудове на ВЛТИ, 1988, том XXXI, с. 67-71.
- [2] Шехтов, Хр. (1996), Математическо моделиране на процеса на конвективно камерно сушене на масивна дървесина, Сборник доклади от международната научна конференция „Механична технология на дървесината“, София, 1996, с.27-34.
- [3] Шехтов, Хр., В. Пенчев (1992), Електронна система за автоматичен контрол по тегловния метод на влажността на дървен материал при камерното му изсушаване, Научни трудове на ВЛТИ, 1992, том XXXV, с. 111-117.
- [4] Шехтов, Хр., В. Пенчев (1996), Автоматичен контрол на моментната средна влажност на дървен материал при изсушаването с използване на тензометрични измервателни глави, Научни трудове на ЛТУ, 1996, том XXXVII, с. 123-129.
- [5] Шехтов, Хр. (1973), Изследване на разпределението на влажността и температурата в сушилната фигура по време на сушилният процес, Научни трудове на ВЛТИ, 1973, , том XIX, с. 83-90.
- [6] Шехтов, Хр. (1999), Зависимост между температурите на сушилният агент и изсушаваната конвективно дървесина с отчитане на топлопроводността в радиално и направление, сп. Дървообработване и производство на мебели, 1999, бр.1, ISSN 1311-4972, с. 9-10.
- [7] Шехтов, Хр., А. Филипов, Ст. Боянов (1978), Устройство за автоматично определяне на максималния влажностен градиент на изсушаван дървен материал, Научни трудове на ВЛТИ, 1978, с. 209-216.
- [8] Шехтов, Хр., Метод за регулиране на режима при камерно сушене, по-специално на бичен дървен материал, Авторско свидетелство рег. № 14486 от 25.05.1970 (България).
- [9] Шехтов, Хр., Способ управления процессом сушки пиломатериалов в сушильной камере, Авт.свидетелство, рег. № 415853 от 15.02.1974 (бивш СССР).
- [10] Schechtov., Chr., Verfahren zur Regelung des Klimaverlaufes bei der Kammetrocknung insbesondere von Schnittholz, Wirtschaftpatent 74499 von 05.07.1970 (бивша DDR).
- [11] Schechtov, Chr., Verfahren zur Regelung des Klimaverlaufes in einer Kammer, insbesondere bei der Verdunstungstrocknung von Schnittholz durch Luft-Dampf-Gemisch, Patent, 316432 , 10.07.1974 (Osterreich).
- [12] Schechtov, Chr., Method, for controlling the process conditions in kiln drying, of sawn timber in particular, Patent, 911566, 03.10.1972 (Canada).





- [13] Schechtov, Ch., Procédé et dispositif de régulation du séchage en chambre en particulier de bois de sciage ou analogue, Patent, 70.14745, 22.02.1971 (France).
- [14] Schechtov, Ch., Sätt för reglering av arbetsforeoppet vid kammartorkning av tramaterial, Patent, 394509, 06.10.1977 (Schveden).
- [15] Schechtov, Chr., Verfahren zur Steuerung des Arbeitsverlaufes bei der Kammertrocknung, insbesondere von Schnittholz, Patent, 2020049, 12.11.1970 (BRD).
- [16] Шехтов, Хр., Устройство за автоматично определяне на средната влажност на материала, по-специално на бичен дървен материал по време на камерното им изсушаване, Авторско свидетелство рег. № 14485 от 25.05.1970 (България).
- [17] Шехтов, Хр., Устройство для автоматического контроля влажности пиломатериалов в процессе сушки, Авт.свидетелство, рег.№ 511033 от 15.04.1976 (бывш СССР).
- [18] Schechtov, Chr., Einrichtung zur automatischen Regelung des Trocknungsprozesses eines Holzstapels nach dem Masseabnahmeprogramm des Stapels, Wirtschaftpatent 76435, 20.09.1970 (бывша DDR).
- [19] Schechtov, Chr., Einrichtung zur automatischen Bestimmung der mittleren Feuchtigkeit eines Stoffes, Patent, 312330 von dem 27.12.1973 (Osterreich).
- [20] Schechtov, Chr., Device for automatic determining the mean humidity of materials sawn timber in particular during its kiln drying, Patent, 923329, 27.03.1973 (Canada).
- [21] Schechtov, Ch., Dispositif de détermination automatique de l'humidité moyenne de matériaux, en particulier de bois de sciage, pendant le séchage, Patent, 70.14743, 22.02.1971 (France).
- [22] Schechtov, Ch., Anordning för automatisk bestauning av fikthalten hos ett material surshilt sagvirke under dess torking, 376079, 14.08.1975 (Schveden).
- [23] Шехтов, Хр., Задаващо звено за автоматично регулиране на режима по време на камерното сушене на дървесината, Авторско свидетелство № 14464 от (България).
- [24] Шехтов, Хр., Задающее устройство для системы регулирования технологического режима камерной сушки древесины, Авт.свидетелство, рег.№ 416928 от 26.04.1969 (бывш СССР).
- [25] Schechtov, Chr., Sollwertglied zur automatischen Regelung des Klimaverlaufes während der Kammertrocknung von Holz, Wirtschaft patent 81312 von 20.05.1971 (бывша DDR).
- [26] Schechtov, Chr., Sollwertgeber zur automatischen Regelung des Klimaverlaufes während der Kammertrocknung von Schnittholz, Patent, 305150, 12.02.1973 (Osterreich).
- [27] Schechtov, Chr., Control apparatus for the automatic regulation of the operating conditions during the drying of timber in the drying room, Patent № 889517, 28.12.1971 (Canada).
- [28] Schechtov, Chr., Dispositif generateur de fonctions pour la régulation automatique des conditions de fonctionnement pendant le séchage en chambre de matériaux en bois ou analogues, Patent, 70.14744, 22.02.1971 (France).
- [29] Schechtov, Ch., Borvardesgivare för automatisk reglering av diftförhållandena vid kammartorkning av tramaterial, Patent, 364562, 06.06.1974 (Schveden).
- [30] Шехтов, Хр., Г. Генчев, (1999), Компютърно управление на процеса на конвективно сушене на дървен материал в камери с периодично действие. Научни трудове на ВЛТИ, 1999, том XXXVIII, с. 154-160.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS FOR THE PROCESS REGULATION OF CONVECTIVE CHAMBER BOARD DRYING

Hristo Schechtov  
LTU  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: hr.shehtov@mail.bg

**Abstract:** The convective chamber board drying is an obligatory technological process aimed at reducing their high initial natural moisture to low one, suitable for their specific exploitation. The methods of control used both in Bulgaria and abroad have been discussed. They are evaluated by a number of indexes: duration of the technological process, energy costs, quality of the drying timber. The advantage of the suggested by the author method for control of the process according to the achieved production indexes has been proven.

## ОТНОСНО АВТОМАТИЗИРАНЕ ПРОИЗВОДСТВОТО НА ХАРТИЕН ПЪЛНЕЖ ЗА МЕБЕЛНИ ПЛОЧИ

Татяна Андонова-Вакарелска  
КЕЕ при ТУ - София  
София, България  
e-mail: vakarelska@tu-sofia.bg

Изабела Радкова  
ФГП, Лесотехнически Университет  
София, България  
e-mail: izabelarad@abv.bg

**Резюме:** За осъществяване на ефективно автоматизирано производство на хартиен клетъчен пълнеж за мебелни плочи и врати са разгледани и анализирани начините за производство и производствените им характеристики. Предложени са няколко ефективни решения за автоматизиране на процесите. Извършен е технологичен и икономически анализ. Осъществена е оценка на решенията за автоматизация и е избрано оптималното от тях за автоматизирано производство на хартиен пълнеж за мебелни плочи и интериорни врати.

**Ключови думи:** хартиен пълнеж, автоматизирани технологии, оптимизация, пчелна пита

### I. ВЪВЕДЕНИЕ

Автоматизацията на процесите в дискретните производства е сложен и многообразен процес. Те са с прекъсваем характер. Това са всички процеси в: машиностроенето, електронната и електротехническата промишленост, фармацевтиката, хранително-вкусовата промишленост, дървообработващата промишленост, производството на строително-керамични изделия и др. Тези процеси по-трудно се автоматизират, тъй като съществуват множество обекти, но независимо от това могат да се използват едни и същи методи и средства за автоматизирането им. По света потреблението на мебели расте всяка година, а у нас се забелязва известен растеж през последните години

В условията на пазарна икономика въпросът за качеството на произвежданите изделия и ниската им себестойност придобиват важно значение поради нарастващата конкуренция между фирмите. Това предизвиква необходимост от бързо и качествено конструиране на нови и модифициране на съществуващи изделия. Жизненият стандарт на всяка държава зависи от развитието на индустрията и степента на автоматизация.

Дървообработващата и мебелната промишленост е отрасъл с голямо значение за българската икономика.

В производствената практика съществува голямо разнообразие на технологични процеси и операции, както и на решения за тяхното автоматизиране. Важен дял в промишлеността заема дървообработването и в частност мебелното производство. Характерно за него е голямото разнообразие от използвани материали и технологии, позволяващи изработването на различни по вид и функционално предназначение готови изделия. Значителна част от детайлите които се използват при създаването на мебели са плочи с различни геометрични и физични параметри.[5,7] Автоматизираните системи за

обработване на конструктивни елементи - мебелни плочи, се изграждат за нуждите на производството на мебели (интериорни врати, корпусни мебели и др.). Конструирането на технически решения изисква възможно най-кратки срокове при тяхното проектиране, внедряване и производство с минимални разходи.

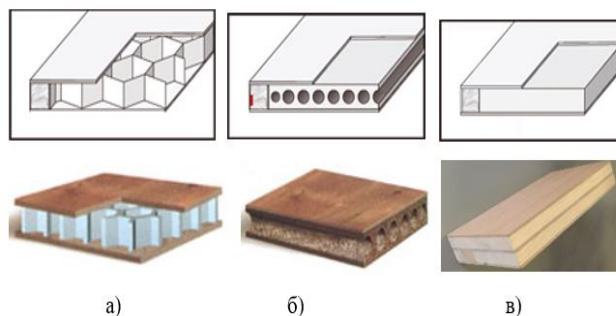
При настоящите условия на европейския пазар българските производители на мебели се сблъскват с много трудности, като: висока конкуренция по отношение на качество и себестойност, високи изисквания за безопасност към вложените суровини и материали, сравнително малки партии и серии продукти и готови изделия, голям брой и многообразие на формите на съставните им части, преобладаващи детайли с различни размери, високи изисквания за точност и грапавост на повърхнините и др.

След приватизирането на държавните и общински предприятия и закриването на по-голямата част от тях в България производството на хартиен пълнеж се осъществява като основно, в малки частни предприятия. Технологичното оборудване, машините и съоръженията са проектирани и изградени със собствени финансови и инженерни средства. Такова предприятие е предмет на настоящия доклад.

### II. ИЗЛОЖЕНИЕ

#### A. Специфика и приложение на мебелни плочи с хартиен пълнеж

Материалите тип плочи с хартиен пълнеж (пълнеж пчелна пита) се използват широко както за плоски, така и за извити повърхности. Намират приложение в мебелна индустрия, в производството на леки промишлени композитни материали, рециклируеми опаковки, опаковки, пълнеж от пчелна пита на интериорни врати, създаване на плоски мебелни панели и др.



Фиг. 1. Видове пълнеж

Видовете интериорни врати, които се използват при обзавеждане на вътрешни пространства за жилища и обществени сгради, се различават според конкретните изисквания, които трябва да удовлетворят.

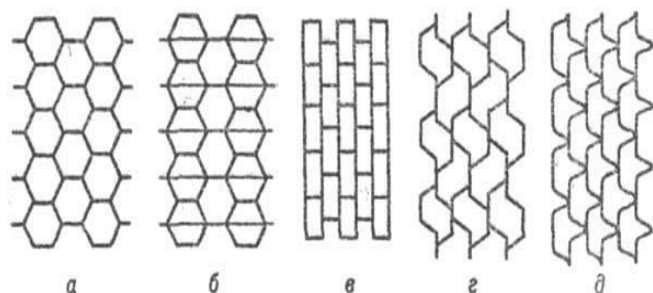
В зависимост от вида на дървесните материали, използвани за изработването им, те се характеризират с различна степен на здравина, експлоатационна надеждност, дълготрайност и себестойност. [1,9]

Тези показатели до голяма степен се обуславят от различните видове пълнеж, с които са изработени интериорните врати. Различават се следните видове пълнеж (фиг.1): а) хартиен пълнеж тип „пчелна пита“, б) флакс пълнеж тип „перфорирано ПДЧ, в) плътен пълнеж тип „сандвич“ с масив и МДФ.

Пълнежът с пчелна пита в момента е най-обещаващият материал за производството на свръхлеки и издръжливи конструкции за различни цели.

### *В. Структурни компоненти и физикомеханични свойства*

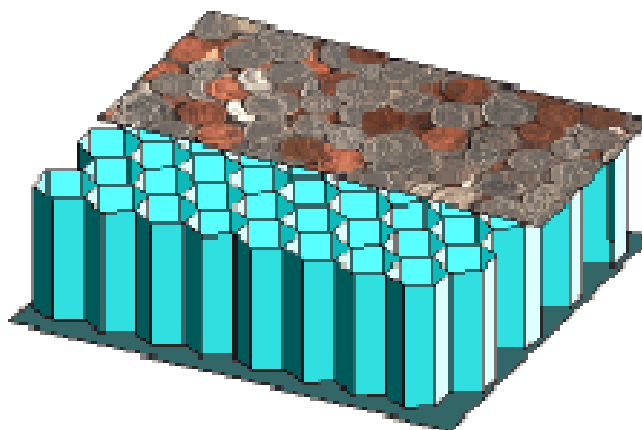
Панелите със сърцевина от пчелна пита, притежаващи висока стабилност, позволяват използването на носещи повърхности с малка дебелина, което е много важно за намаляване на теглото на конструкцията. Общата стабилност, при натиск и срязване, на структурите от пчелна пита е многократно по-голяма от стабилността на листовите, включени в различни други конструкции. Сложната им структура се състои от поне два материала - хартия и лепило. Обикновено се използва рециклирана хартия с тегло (плътност) от 120 до 180 g/m<sup>2</sup>. Решаващият механичен параметър е якостта на натиск. Тази якост се увеличава с намаляване на размера на клетката и с увеличаване на плътността на използваната хартия. Има добра звуко и топлоизолация, влагоустойчивост, нетоксичност, висок капацитет на натоварване, абсорбира енергията, висока твърдост и стабилност при надлъжна компресия, включва по-малък брой части, които съставляват монтажа и др. Ядрото на пчелната пита има клетъчна структура (фиг. 2). [2, 3]



Фиг. 2. Форми на пчелна пита: а - шестоъгълна; б - шестоъгълник подсилен; в - правоъгълна; г - изместване на шестоъгълник; д - гъвкав (флексор)

Пълнителят пчелна пита (фиг.3) е изработен от полимерни и целулозни хартии и по структура наподобяващ пчелна пита. По своята структура ядрото представлява набор от съседни клетки (най-често шестоъгълни), изработени от залепен и пресован картон. Основните параметри, които влияят на качеството са:

- диаметърът на кръга, вписан в шестоъгълника (тоест размерът на клетката);
- вида и плътността на използвания картон;



Фиг. 3. Структура на трислоен панел с пчелна пита

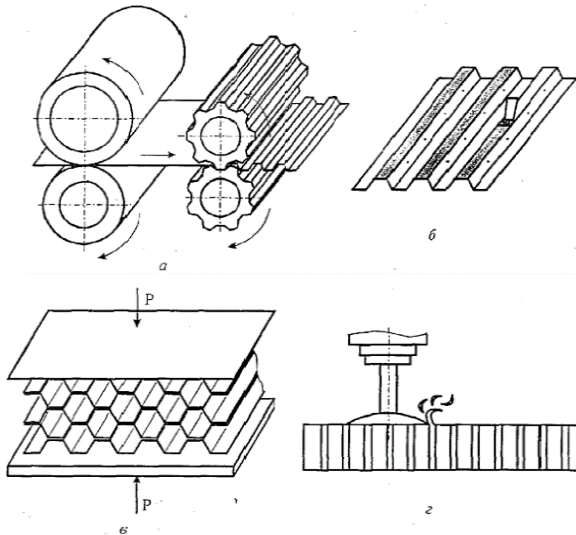
От размера на клетката и плътността на картона се определят физичните и механичните свойства. Преобладаващо се използва пчелна пита с клетка от 45 mm, 35 mm или по-малко и якост на натиск в разтегнато състояние от най-малко 0,5 kg/cm<sup>2</sup>. Физичните и механичните свойства на пълнителя за пчелна пита значително зависят от свойствата на хартията и лепилото. PVA емулсията се използва почти навсякъде като лепило при производството. Това се обяснява главно с екологичната чистота на това лепило, високата технологичност и икономическата осъществимост. Панелите със сърцевина от пчелна пита не трябва да се нагряват дълго време над температурата на полимеризация на лепилото, използвано при формирането на сърцевината от пчелна пита.

При производството на сърцевина от пчелна пита на базата на различен тип хартии се използват два основни метода [1,10]:

- производство на пълнители от пчелна пита по метода на профилиране;
- производство на пълнители от пчелна пита чрез разтягане.

Методът на профилиране се използва при производството на ядра от пчелна пита от импрегнирани и неимпрегнирани тънки хартии [9]. Основните етапи на техническия процес и последователността на операциите е показана на фиг. 4:

- профилиране на материала;
- нанасяне на лепило върху повърхностите за залепване и изсушаване;
- сглобяване на блока, пресоване и залепване в пещта;
- обработка на пълнителя за получаване на желаната форма.



Фиг. 4. Последователност на операциите: а – листово профилиране; б – нанасяне на лепило; в – лепене на гофрирани листове; д – фрезозване на повърхността на блока пчелна пита

### С. Етапи на производствения процес

Технологичния процес за производство на структури от пчелна пита е свързан с геометричните им параметри, материала на обвивката и сърцевината на пчелна пита, с вида на ядрото ѝ, с формата и размера на клетките, с проектиране на уплътняване и точки на прехвърляне на концентрирани товари, както и с технологични адхезивни свойства.

Налице са следните стъпки на производствения процес:

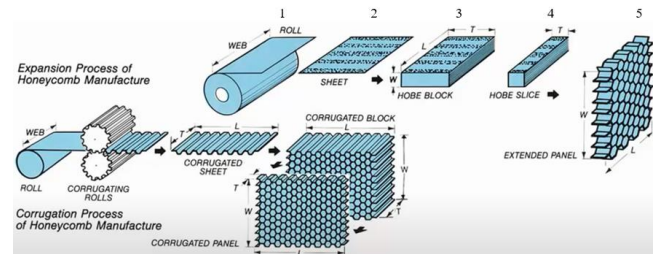
- Входен контрол на материали – проверка за качествени показатели;
- Формиране на структурите - да отговарят на спецификациите;
- Производство и подготовка на сърцевина от пчелна пита;
- Предварителен монтаж и демонтаж на конструкции от пчелна пита;
- Препарат за лепене на пчелните пати;
- Нанасяне на лепило върху повърхността;
- Монтаж и лепене;
- Контрол на качеството на конструкциите от пчелна пита.

Придаването на необходимата форма на плосък пълнеж от пчелна пита се състои в това, че за производството на пълнеж от пчелна пита с единична или двойна кривина, той предварително се омекотява чрез нагриване и след това се деформира върху преса. В същото време пълнителите с правоъгълни клетки са по-добре податливи на необратимо оформяне.

За производството на пчелна пита с променлива височина се използва механична обработка. По дължината на хартиената лента се нанасят лепилни ленти.

Ширината на ивиците и разстоянието между тях се избират в зависимост от размера на клетката. Ролка хартия с нанесени залепващи ленти се нарязва на листове с определена дължина, които впоследствие се сглобяват в пакет (пакет с пчелна пита). При сглобяването на ориентацията на залепващите ленти се извършва шахматно. Броят на листовите определя дължината на разширените гребени. Тази процедура се извършва в загрята преса. След това пакетът с пчелна пита се нарязва на машина за рязане на хартия на сегменти пчелна пита с необходимата височина, които се предават за продължаване на производството на необходимия краен продукт.

Преди употреба пчелната пита се разтяга до състояние, при което клетките приемат формата на шестоъгълници и се поставят в предварително подготвено пространство. Тази технология (фиг.5) се характеризира с ниска производителност и незадоволителна точност на сглобяване на пчелните пати, което води до занижено качество [6,8]. Отделните операции се извършват механизирани.



Фиг. 5. Технологична схема за производство на сърцевина от пчелна пита: 1 - роло хартия; 2 - изрязан лист хартия с нанесени залепващи ленти; 3 - пакет с пчелна пита; 4 - пчелна пита; 5 - пчелна пита в опъната форма (преди употреба в продукта).

### III. АВТОМАТИЗИРАНЕ И ОПТИМИЗИРАНЕ НА ПРОИЗВОДСТВОТО НА МЕБЕЛНИ ПЛОЧИ С ХАРТИЕН ПЪЛНЕЖ

Анализът на съществуващия технологичен процес показва известна нестабилност, някои трудности при постигане на механичните характеристики в целия обем на формирания блок пчелна пита и големи обеми изпаряващи се разтворители, свързани с необходимостта от многократно импрегниране на блокове с втвърдяващи разтвори. Значителна технологична загуба на материал при рязане на блокове в плочи и полагане на плочи в трислойни плоскости с пчелна пита. Всичко това налага автоматизирането на производствените операции.

Предложената за автоматизиране технология за производство на хартиен клетъчен пълнеж се състои във формирането на надлъжен пакет от последователно наслоени един върху друг листове хартия, които се съединяват по повърхнините си, посредством няколко слоя лепило. Готовият пакет, с точна дължина и широчина се разкроява напречно и се получава отрязък, който може да се разтегне до определена дължина, благодарение на възможността да се формира кухня с формата на шестостен.

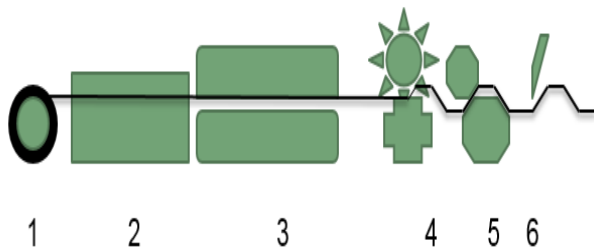
Производството на хартиен клетъчен пълнеж в момента се осъществява на специализирани машини и технологични съоръжения, изработени от метални

конструкции, използващи механично ръчно и електрозадвижване, подредени по подходящ начин, за да осъществят изпълнението на последователността от основни технологични операции.

Технологичните операции са подредени последователно и поредността, вида и броят им се обуславят от характеристиките на основната суровина – хартията. Техническите средства, съоръженията и машините формират изпълнението на един дискретен производствен процес, чиято цел е получаването на пакети от хартиен пълнеж с формата на шестостенни кухни, които притежават конкретни размери [5,7].

Преминването към автоматизирана технология за производство на трислойни панели върху модулно конвейерно оборудване дава възможност да се комбинират в автоматизирана система технологиите за производство на непрекъсната плоча с пчелна пита и сглобяване на трислоен панел. Това отстранява недостатъците, присъщи на класическия метод, като се постига значително повишаване на ефективността, икономичността и технологичността на производството.

Съставени са варианти на линия изградени от поредица модули за различни технологични цели, поставени на стандартни основи и съединени в различни комбинации, което осигурява възможност за гъвкави технологични промени и бърза смяна на модулите, микропроцесорно управление на технологичния процес, непрекъснат контрол на качеството на получения панел, автономна система за опазване на околната среда [4,5]. Постига се лесно регулиране дебелината на панела и липса на технологични отпадъци. На фиг.6 и фиг.7 е представена принципа схема и примери на работни позиции от автоматизираната производствена система.

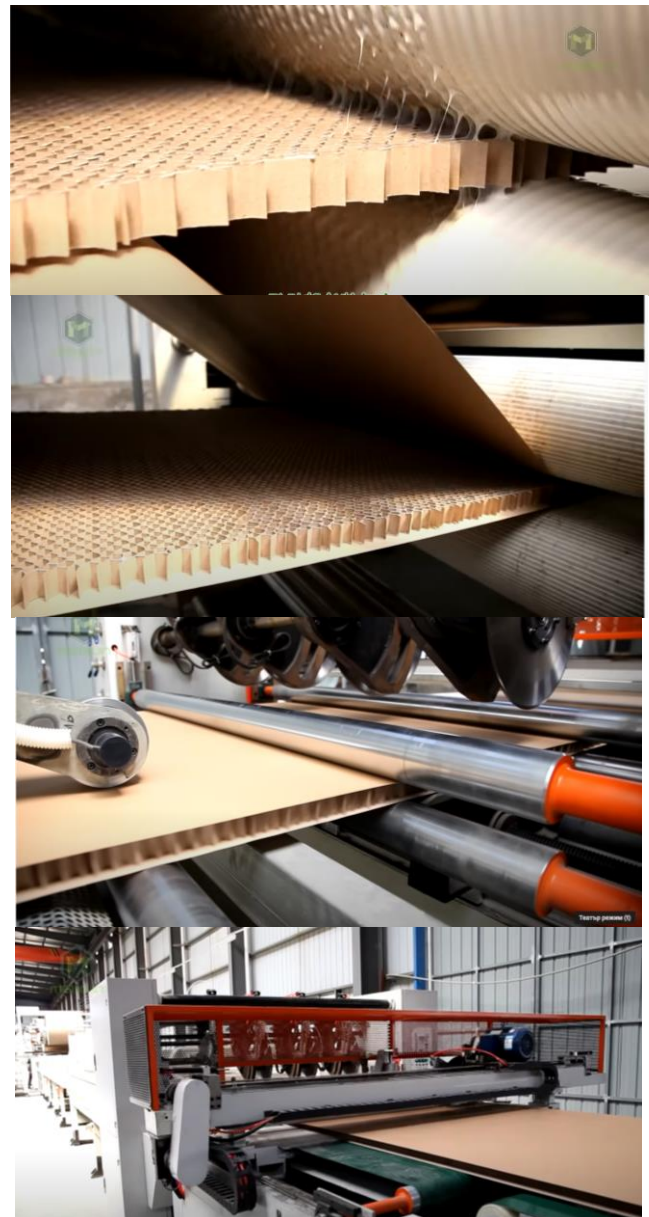


Фиг. 6. Производство на хартиен клетъчен пълнеж. 1 – роло хартия; 2 – импрегниране; 3 – сушене; 4 – валцуване; 5 – олепяване и двустранно залепване на лента; 6 – разкрояване.

Методиката за избор на оптимален вариант включва следните показатели: такт на АС определящ производителността; цена на варианта; икономически показатели, като себестойност на продукцията, общи капиталовложения и др.; единична и обща инсталирана мощност; заета площ; брой компоновъчни единици; степен на достъпност за ремонт и обслужване; гъвкавост.

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) [4]:

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



Фиг. 7. Работни позиции

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:

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

където:  $\beta$  е ръст на производителността;  $K_G$  – коефициент на гъвкавост, определящ степента на гъвкавост  $G = (1 - K_G) \cdot 100\% > 80\%$ ;  $K_G$  – коефициент на готовност;  $K_A$  – коефициент на автоматизация;

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

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

В таблица 1 са представени количествени стойности на безразмерните коефициенти и обобщения коефициент за отделните варианти, като на тяхна база е избран оптималния вариант.

ТАБЛИЦА 1 Количествени стойности на безразмерните коефициенти

$V_i$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_{oi}$
$V_1$	2	0,92	0,93	0,08	5,49	9,42
$V_2$	2	0,92	0,963	0,08	2,88	6,85
$V_3$	3	0,92	0,943	0,08	6,99	11,93

От получения резултат от оценката на отделните варианти се вижда, че оптимален е третия вариант на АК за производство на хартиен пълнеж тип пчелна пита т.е. има максимален обобщен коефициент  $K_{oi} = 11,92$

$$\max \{ K_{oi} \} = \max \{ 9,42, 6,85, 11,92 \} = 11,93$$

Технико-икономически параметри на избрания вариант са:

$$K_G = \frac{T_p}{T_p + T_B} = 0,92$$

$$K_A = \frac{t_a}{t_a + t_p} = \frac{250}{250 + 15} = 0,943$$

$$\Delta K = 80000 \text{ лв.}$$

$$\Delta C = 1,3 \text{ лв.}$$

$$Q_G = 430200 \text{ бр./Г}$$

$$I_G = 230200 \cdot 1,3 = 559260 \text{ лв.}$$

$$N = 10 \text{ год.}$$

$$AM = \frac{80000}{10} = 8000 \text{ Г.} = 0,462 \text{ h}$$

$$n = \frac{80000}{559260 + 0,462} = 0,143$$

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{0,143} = 6,99$$

Където:  $K_A$  е критерий степен на автоматизация;  $K_G$  – коефициент на гъвкавост;  $T_P$  – средно време за безотказна работа;  $T_B$  – средно време за възстановяване на даден отказ;  $t_P$  – време за пренастройване;  $t_a$  – време за автоматична работа;  $\Delta K$  – размер на инвестициите;  $\Delta C$  – собствена себестойност за 1 година;  $Q_G$  – производствена програма;  $I_G$  – годишен икономически ефект;  $N$  – дълговечност;  $AM$  – годишни амортизационни отчисления;  $n$  – срок на откупуване на допълнителни капитални вложения.

#### IV. Изводи

- Направен е анализ на особеностите и методите за производство на хартиен пълнеж за мебелни плочи.
- Разработени са варианти на АС за производство на пчелни пити.
- Използването на голям брой агрегатни единици определя увеличаването на производителността и намаляване на заетата площ.
- По методика на безразмерните коефициенти е извършен анализ и оценка на вариантите за компоноване на автоматизирани системи и е определен оптималният от тях.
- Приложението на агрегатно-модулния принцип съкращава значително времето за проектиране, изграждане и внедряване на АС.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Andre Wagenfuhr, Frieder Scholz (Hrsg.) Taschenbuch der Holztechnik. 2 Auflage. Leipzig: Fachbuchverlag. HANSER, ISBN 978-3-446-42605-4 (Андре Вагенфур, Фридер Шолц (Hrsg.) Наръчник по технологията на дървесината. 2-ро издание. Лайпциг: специализирано издателство на книги. Хансер)
- [2] Халиулин В.И., Шапаев И.И. Технология производства композитных изделий: Учеб. пособие. – Казань: Казанский государственный технический университет, 2003. – 332 с.
- [3] Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. Кн. 2. Под редакцией Дж. Любина. М: Машиностроение, 1988. – 584 с.
- [4] Чакърски, Д, Т. Вакарелска. Инженерни изследвания, ИК на ТУ - София, 2008.
- [5] Чакърски, Д, Т. Вакарелска. Автоматизиращи устройства, ИК на ТУ - София, 2008
- [6] Шехтов, Хр., Теоретични основи и принципи на структурно изграждане на автоматизирани линии за механично обработване на плочести мебелни детайли, МНТК „АДП – 2015”.
- [7] 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.
- [8] Bitzer T. Honeycomb technology: materials, design, manufacturing, applications and testing. Kluwer Academic Pub 2015.
- [9] [www.bibliofond.ru/view.aspx?id=655484](http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=655484)
- [10] [www.honicel.ru/articles/2013/02/21/news1\\_39.html](http://www.honicel.ru/articles/2013/02/21/news1_39.html)
- [11] [www.mdpi.com/2076-3417/10/20/7262/htm](http://www.mdpi.com/2076-3417/10/20/7262/htm)
- [12] [www.pelletheat.org/2/index/index.html](http://www.pelletheat.org/2/index/index.html)
- [13] <https://02stroy.ru/bg/canopies-and-awnings/dveri-s-sotovym-zapolneniem-osobennosti-konstrukcii.html>



## ABOUT AUTOMATION OF THE PRODUCTION OF PAPER FILLING FOR FURNITURE PANELS

Tatyana Vakarelska  
CEE of TU - Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: vakarelska@tu-sifia.bg

Izabela Radkova  
University of Forestry  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: izabelarad@abv.bg

**Abstract:** In order to carry out effective automated production of paper cell filling for furniture panels and doors, the methods of production and their production characteristics are considered and analyzed. Several effective process automation solutions have been proposed. Technological and economic analysis was performed. An evaluation of the automation solutions was carried out and the optimal one for the automated production of paper filling for furniture panels and interior doors was selected.

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

Владимир Бояджиев  
ВТУ „Тодор Каблешков”  
София, България  
e-mail: v.boyardjiev@abv.bg

**Резюме:** Настоящото изследване е посветено на анализ на резултатите от модернизацията на две различни обособени части от сложен технически обект. По-конкретно са сравнени основни показатели, характеризиращи експлоатационната надеждност и работната ефективност на електронната и хидропневматичната части на типичен сложен технически обект – стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление.

**Ключови думи:** експлоатационна надеждност, сравнителен анализ, модернизация, сложен технически обект

## I. ВЪВЕДЕНИЕ

В реални условия се експлоатира технологично оборудване с различна степен на амортизация. Сравнително достъпен във финансово отношение вариант за справяне с проблема със силно амортизираните съоръжения е провеждането на модернизация. Обект на интерес в това изследване са резултатите от проведената модернизация по отношение на експлоатационната надеждност, респективно – на работната ефективност, на модернизирания обект. Поспециално се прави сравнителен анализ на състоянието на експлоатационната надеждност на сложни технически обекти след модернизацията на обособени части от тях. Сравнени са резултатите от модернизацията на електронната и хидропневматичните части на стругова металорежеща машина с цифрово - програмно управление.

Тази машина е избрана, тъй като е типичен сложен технически обект. Поради това разработените методични елементи ще бъдат приложими в голяма степен и при други сложни технически обекти. Потенциалните ползи от разработената методика се допълват и от обстоятелството, че е изследвана модернизацията на обособени части от целите технически обекти – един сравнително често избран формат за провеждане на модернизация.

При провеждането на това изследване целта е да бъде оценена ефективността в надеждно отношение на двата варианта на проведена модернизация въз основа на сравнителен анализ между тях с оглед изработването на препоръки за провеждането на бъдещи модернизации. Сравнителният анализ е рядко използван инструмент

при изследване на надеждността както на техническите обекти [1], така и на елементи от поведението им, например траекторията им [2]. Развитие на този изследователски метод продължава, включително и с включването на изкуствен интелект [3]. Приложението му обхваща целия спектър от промлематиката, свързана с надеждността на техническите обекти, включително и централната тема за методите за изследване [4].

## II. МЕТОДИКА – ХАРАКТЕРНИ ОСОБЕНОСТИ

Обект на изследването е типичен сложен технически обект - стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление, представен от две машини родно производство, един модел, малък типоразмер. Върху едната машина е извършена модернизация на електронната част, а върху другата – на хидропневматичната част.

В процеса на изследването е събрана статистическа информация за възникващите откази в реални експлоатационни условия. За целта са разработени специални работни форми, в които се попълват данните за всеки отказ. Работните форми се попълват от упълномощен и инструктиран персонал. Регистрирани са отказите както преди проведената модернизация, така и след нея. За всяка от двете машини всеки от тези два периода обхваща около 1200 – 1500 часа работа по управляваща програма.

За да бъде адекватно извършен сравнителния анализ, е съставен набор от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност. В този набор са включени:

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

$$КИ.ПР = СВР/ФРВ$$

където:

СВР е сумарното време за работа, часа;

ФРВ – плановият фонд работно време, часа;



коэффициент на организационно-техническа готовност

$$K_{OTG} = \bar{T} / (\bar{T} + \bar{T}_{ПР.О})$$

където:

$\bar{T}_{ПР.О}$ , часа - средно време за престои поради откази.

За отчитане на степента на ефективност от проведената модернизация се определя и подобрието на всеки от показателите по формулата

$$\frac{|X_{ПРЕДИ} - X_{СЛЕД}|}{X_{ПРЕДИ}} \cdot 100\%$$

където:

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

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

Така формулираното подобриение се приема със знак „+“, когато съответният показател е с подобрена (в надеждностен аспект) стойност след модернизацията. А когато показателят е с влошена стойност, той се приема със знак „-“.

След регистрирането на експлоатационните откази в работните карти, тази информация се подлага на предварителна обработка. При нея се доуточняват характеристиките на всеки отказ и статистическият материал се представя във форма, удобна за последваща обработка.

При регистрацията на статистическата информация за отказите се прилагат методическите стъпки, характерни за метода на наблюдаваната експлоатация.

Така структурираната информация е основа за определяне на числените стойности на гореописания набор показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност. Тези числени стойности са определени за всяка машина преди и след провеждането на модернизацията.

### III. РЕЗУЛТАТИ И СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ

Нека за удобство струговата металорежеща машина с модернизирана електронна част е означена като „машина 1“, а машината с модернизирана хидропневматична част – „машина 2“.

Получените числени стойности на гореописания набор от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност (преди и след модернизацията) за машина 1 са посочени в таблица 1.

Числените стойности на набора от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност (преди и след модернизацията) за машина 2 са посочени в таблица 2.

Тъй като за всяка от модернизациите на двете машини са вложени различни средства, не е оправдано директното сравнение на резултатите, посочени в горните две таблици. Едва след като бъдат взети пред вид тези различни разходи, е целесъобразно да се пристъпи към непосредствения сравнителен анализ.

ТАБЛИЦА 1. ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ЕКСПЛОАТАЦИОННА НАДЕЖДНОСТ И РАБОТНА ЕФЕКТИВНОСТ ЗА МАШИНА 1 ПРЕДИ И СЛЕД МОДЕРНИЗАЦИЯТА

	$\bar{T}$ , часа	$\bar{T}_В$ , часа	$\bar{T}_{ПР.О}$ , часа	$K_{И.ПР}$	$K_{ОТГ}$
Преди модернизацията	66,2	2,9	14,7	0,81	0,82
След модернизацията	108,1	2,3	9,6	0,89	0,92
Подобриение, %	63	21	35	10	12

ТАБЛИЦА 2. ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ НА НАБОРА НАДЕЖДНОСТНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА МАШИНА 2 ПРЕДИ И СЛЕД МОДЕРНИЗАЦИЯТА

	$\bar{T}$ , часа	$\bar{T}_В$ , часа	$\bar{T}_{ПР.О}$ , часа	$K_{И.ПР}$	$K_{ОТГ}$
Преди модернизацията	94,8	3,1	10,1	0,80	0,90
След модернизацията	127,7	2,3	8,7	0,86	0,94
Подобриение, %	35	26	14	8	4

За целта се предлага въвеждането на мащабен коефициент, който да вземе пред вид именно тази разлика във вложените средства. Формулираме мащабния коефициент като съотношението между вложените за модернизациите парични средства за машина 1 спрямо тези за машина 2. В разглеждания конкретен случай той е приблизително 1,6. Разбира се, този коефициент в общия случай е различен за всяка двойка сравнявани модернизации, дори и за различни варианти на обхват на модернизация на електронната и хидропневматичната части.

Така формулирания мащабен коефициент ще използваме, като с него умножим процента подобриение на машина 2.

Едва след това ще сравняваме числените стойности на показателите за машина 1 с така коригираните числени стойности за машина 2.

ТАБЛИЦА 3. ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ НА ПОДОБРИЕТО НА МАШИНИ 1 И 2 ПРЕДИ КОРЕКЦИЯТА И НА МАШИНА 2 СЛЕД КОРЕКЦИЯТА

	$\bar{T}$ , часа	$\bar{T}_В$ , часа	$\bar{T}_{ПР.О}$ , часа	$K_{И.ПР}$	$K_{ОТГ}$
Подобриение на машина 1, %	63	21	35	10	12
Подобриение на машина 2, %	35	26	14	8	4
Коригирано подобриение на машина 2, %	56	42	22	13	6

Коригираните чрез мащабния коефициент стойности на подобрението за машина 2 са посочени в таблица 3 заедно с подобрението за машина 1 и подобрението за машина 2 преди корекцията.

По този начин на директен сравнителен анализ подлежат първият ред (за машина 1) и третият ред (за машина 2) числени стойности от таблица 3.

Анализът на така получените числени стойности дава основание за отчитането на следните резултати:

1. И при двете машини подобрението на показателя „средна отработка между отказите“ е с близки числени стойности. Т.е. този показател не може да бъде фактор за предпочитание на единия вариант на модернизация спрямо другия.

2. При показателите, отнасящи се до организацията на възстановителните мероприятия - „средно време за възстановяване“ и „средно време за престои поради откази“ ситуацията е „по-пъстра“. При показателя „средно време за възстановяване“ подобрението при машина 2 е значително по-голямо – 42% срещу 21% при машина 1. Но при показателя „средно време за престои поради откази“ ситуацията е обратна – 22% срещу 35% при машина 1. На пръв поглед това са противоречиви стойности, които не дават възможност за обединяващ извод. Всъщност не е така. Показателят „средно време за възстановяване“ характеризира основно непосредствените дейности по отстраняване на последиците от отказите. При тези дейности възможностите за усъвършенстването им, респективно – възможностите за намаляването на времената им, са сравнително ограничени. При показателя „средно време за престои поради откази“ ситуацията е различна. Този показател характеризира основно организацията на ремонтните дейности. При него със сигурност има резерви за намаляването му. Т.е. по-малкото подобрение на машина 2 – 22% спрямо подобрението от 35% при машина 1 не е в такава степен окончателно фиксирано. Тази ситуация има възможности за корекция. И тези възможности се съдържат в елементите на организация на възстановителните мероприятия.

Какво заключение можем да направим. При конкретно съществуващата организация на възстановителните мероприятия по-изгоден е вариантът за модернизация на машина 1 – при нея подобрението е по-голямо. Но ако се реализират резервите при организацията на възстановителните мероприятия при машина 2, нейният вариант за модернизация има потенциал да стане по-изгодният.

3. При двата комплексни показателя „коефициент на използване по предназначение“ и „коефициент на организационно-техническа готовност“ на пръв поглед противоречивата ситуация е аналогична. При показателя „коефициент на използване по предназначение“ при машина 2 подобрението е по-голямо, докато при показателя „коефициент на организационно-техническа готовност“ подобрението е по-голямо при машина 1. Както и при предишните два показателя е налична разлика в природата им, така е и тук. Показателят „коефициент на използване по предназначение“ е по-

всеобхватният от двата показателя. При него резервите за подобрение са по-големи. Т.е. при създаването на съответната организация подобрението на този показател при машина 1 може да бъде подобрено до степен да стане по-голямо при нея.

4. В резултат въз основа на анализа на стойностите на показателите „средно време за възстановяване“ и „средно време за престои поради откази“ и комплексните показатели „коефициент на използване по предназначение“ и „коефициент на организационно-техническа готовност“ можем да направим следното заключение. При съществуващата организация на провеждане на възстановителните мероприятия по-препоръчителен е вариантът за модернизация на машина 1 (на електронната ѝ част). Но е налице ресурс за подобрение на тази организация, при реализирането на който вариантът за модернизация на машина 2 (на хидропневматичната ѝ част) ще стане по-препоръчителен.

5. Сравнителният анализ може да бъде извършен и при сравнението на първите два реда с числени стойности на таблица 3. Този анализ би бил оправдан, ако се търси абсолютното подобрение, а не относително спрямо вложените ресурси. Тогава резултатите са следните:

- подобрението на показателя „средна отработка между отказите“ е значително по-голямо при машина 1. Т.е. в абсолютно отношение въз основа на този показател модернизацията на машина 1 е препоръчителната;
- при показателя „средно време за възстановяване“ няма качествена разлика в подобрението на двете машини, т.е. въз основа на този показател не може да се направи категорична препоръка. Все пак подобрението при машина 2 е по-голямо;
- при показателя „средно време за престои поради откази“ е налице значително по-голямо подобрение при машина 1, т.е. като непосредствени резултати по отношение на експлоатационната надеждност нейният вариант за модернизация е по-препоръчителен;
- при сравняването на числените стойности на двата комплексни показателя „коефициент на използване по предназначение“ и „коефициент на организационно-техническа готовност“ превес има подобрението при машина 1. Това потвърждава вече направеното заключение, че при съществуващата организация на възстановителните дейности вариантът за модернизация на машина 1 е препоръчителен.

#### IV. Изводи

- Въз основа на натрупаната статистическа информация за възникващите експлоатационни откази са определени числените стойности на предварително определен набор от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност на двете машини преди и след модернизацията.

- На базата на тези числени стойности е определено подобрението им в проценти.
- За машина 2 е получено коригираното подобрение, отчитайки стойността на всяка от двете модернизации.
- Приложена е методична процедура за сравнителен анализ на двете проведени модернизации – на електронната и хидропневматичната части на типичен сложен технически обект – стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление.
- Резултатите от изследването са основа за извършване на технико-икономическа оценка за избор на конкретен вариант за бъдещи модернизации.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hamzeh Soltanali, Abbas Rohani, Mohammad Hossein Abbaspour-Fard, José Torres Farinha, A comparative study of statistical and soft computing techniques for reliability prediction of automotive manufacturing, *Applied Soft Computing*, Volume 98, January 2021, 106738, ISSN: 1568-4946, Elsevier B.V.;
- [2] 2. Onur Çelik, Joan Pau Sánchez, Özgür Karatekin, Birgit Ritter, A comparative reliability analysis of ballistic deployments on binary asteroids, *Acta Astronautica*, Volume 156, March 2019, Pages 308-316, ISSN: 0094-5765, International Academy of Astronautics.;
- [3] 3. Sajad Saraygord Afshari, Fatemeh Enayatollahi, Xiangyang Xu, Xihui Liang, Machine learning-based methods in structural reliability analysis: A review, *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 219, March 2022, 108223, ISSN: 0951-8320, Elsevier Ltd.;
- [4] 4. Zdravko N. Milovanović, Ljubiša R. Papić, Snježana Z. Milovanović, Valentina Z. Jančić, Milovanović, Svetlana R. Dumonjić-Milovanović, Dejan Lj. Branković, Chapter 8 - Qualitative analysis in the reliability assessment of the steam turbine plant, *The Handbook of Reliability, Maintenance, and System Safety through Mathematical Modeling*, 2021, Pages 179-313, ISBN 978-0-12-819582-6, Elsevier Inc...

## COMPARATIVE RELIABILITY ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE MODERNIZATION OF ELECTRONIC AND HYDROPNEUMATIC PARTS OF A COMPLEX TECHNICAL SITE

Vladimir Boyadzhiev  
Todor Kableskov University of  
Transport  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: v.boyadjiev@abv.bg

**Abstract:** The present study is devoted to the analysis of the results of the modernization of two different separate parts of a complex technical object. In particular, the main indicators characterizing the operational reliability and operational efficiency of the electronic and hydropneumatic parts of a typical complex technical object - a lathe cutting machine with digital program control are compared.

# МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖДНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ПОДАВАТЕЛЕН ПРЕВОД ПО ОС Z НА МЕТАЛОРЕЖЕЩА МАШИНА С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Владимир Бояджиев  
ВТУ „Тодор Каблешков”  
София, България  
e-mail: v.boyadjiev@abv.bg

**Резюме:** Синтезирането на цялостен надеждностен модел на сложен технически обект е обективно трудна задача. Но решаването ѝ носи значителни ползи. Настоящият доклад е етап от създаването на такъв модел. Чрез инструментариума на теорията на графите е разработен модел на надеждностното поведение на подавателния превод по ос z на сложен технически обект – металорежеща машина с цифрово-програмно управление.

**Ключови думи:** моделиране, надеждност, граф, подавателен превод, металорежеща машина

## I. УВОД

Както у нас, така и по света в експлоатация се намират значителен брой сложни технически системи, които в процеса на използването им се амортизират. Респективно стойностите на показателите за експлоатационна надеждност и работна ефективност с течение на времето се влошават. В процеса на възстановяване на работоспособността е важно да бъдат изяснени взаимовръзките между съществените фактори и процеси, изменящи нивото на надеждност. При това сложните технически системи се характеризират със значително разнообразие на тези фактори и процеси. Тези фактори и процеси често имат коренно различни характеристики, например характер, проявление, механизъм на възникване, механизъм на проявление и др. Обхващането на цялото разнообразие на тази разнородна палитра е обективно трудна задача. Поради това към изграждането на обобщен модел на надеждностното поведение на сложни технически обекти се прибегва рядко – в изключителни случаи.

По-често се прибегва до компромис. При моделирането на експлоатационната надеждност и работната ефективност се обръща внимание на определена обособена част от цялостния модел, т.е. изгражда се частичен модел. Компромисът може да бъде направен по различни направления:

- разглежда се само определено свойство или набор от свойства. Често срещан случай е да се изучава само безопасността при ядрените централи [1, 2, 3];
- проучва се само определен показател или набор от показатели. Например в [4] се изследват само безотказността и средното време до отказ, и то

само за обособена част от системата. А в [5] се разглежда само един параметър само за един конкретен обект (електроцентраля);

- изучава се само определен вид отказ или набор от видове отказ [4];
- анализира се само определен фактор или процес, изменящ надеждността, или набор от фактори и процеси [6];
- изследва се обособена част от сложния технически обект. Така в [6] се разглежда само определен възел, при това – само един надеждностен параметър.

Създаването на частичен надеждностен модел е значително по-достъпно, отколкото на цялостен. Това обаче има значителен недостатък – губи се взаимното влияние на съществуващите фактори и процеси, влияещи на надеждността. Т.е. губи се системният подход.

Поради по-голямата достъпност на частичното надеждностно моделиране, то се прилага значително често от цялостното.

Целта на настоящата разработка е да се направи крачка към изграждането на цялостен надеждностен модел на сложен технически обект. За реализирането на този модел ще използваме възможностите на теорията на графите.

Това моделиране излиза далече извън мащабите на един доклад. Поради това в този доклад ще бъде разгледан въпросът за надеждностно моделиране само на определена комплектуваща система – подавателният превод по ос z. Така изграденият частичен модел ще бъде фрагмент от обобщения модел, получен в края на процеса на първоначално моделиране. Но в него ще бъде отразено цялото разнообразие на факторите и процесите, променящи нивото на експлоатационната надеждност и работната ефективност на тази комплектуваща система. При това този частичен модел ще бъде създаден във формат, който е удобен за вграждане в последващо създавания цялостен модел.

## II. МЕТОДИКА – СПЕЦИФИКА

Обект на изследването са подавателните преводи по ос  $z$  на три стругови металорежещи машини с цифрово-програмно управление от един модел, родно производство, малък типоразмер. Експлоатационният период, през който е набирана статистическа информация за отказите, обхваща 1300 - 1400 часа работа по управляваща програма.

Разглежданата комплектуваща система ще представим като граф. Този граф  $G_{ППz}$  ( $V_{ППz}$ ,  $E_{ППz}$ ) ще има следните елементи:

- върхове на графа  $V_{ППz}$ ;
- ребра на графа  $E_{ППz}$ .

В рамките на цялата сложна техническа система ще дефинираме върховете на графа  $V$  като множеството на комплектуващите системи, които я изграждат, а ребрата на графа  $E$  определяме като факторите и процесите, които оказват влияние на експлоатационната надеждност на тези обекти.

Респективно, множеството върхове на графа  $V_{ППz}$  ще дефинираме като съставено от комплектуващите системи, влияещи или повлиявани от нивото на надеждност на разглежданата комплектуваща система. А множеството ребра на графа  $E_{ППz}$  ще дефинираме като факторите и процесите, влияещи върху или от тази комплектуваща система.

Т.е. множеството  $V_{ППz}$  е подмножество на  $V$ , а множеството  $E_{ППz}$  е подмножество на  $E$ .

Синтезирането на графа  $G_{ППz}(V_{ППz}, E_{ППz})$  ще бъде извършено в рамките на итеративен процес. В началото му да определим множествата  $V$  и  $E$ .

За разглеждания модел металорежеща машина множеството  $V$  има следния вид:

### $V \ni$ :

- цифрово-програмно управление (ЦПУ),
- припасваща част (ПЧ),
- главно задвижване (ГЗ),
- подавателно задвижване по ос  $X$  (ПЗ  $X$ ),
- подавателно задвижване по ос  $Z$  (ПЗ  $Z$ ),
- главен превод (ГП),
- подавателен превод по ос  $X$  (ПП  $X$ ),
- подавателен превод по ос  $Z$  (ПП  $Z$ ),
- хидропневматична система (ХПС),
- система за импулсно дозаторно мазане (ИДМ),
- система за автоматична смяна на инструмента (АСИ),
- електрически вериги (ЕВ),
- система за смазочно-охладителна течност (СОТ),

- система за затягане на детайла (ЗД)

А множеството  $E$  има следните елементи:

### $E \ni$ :

- $U$ -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.

В резултат на натрупаната статистическа информация за експлоатационните откази и първоначалната ѝ обработка отнасяме всеки отказ към един от така формулираните елементи на множеството  $E$ .

За да бъде отразена в модела спецификата на влияние на всеки отказ, целесъобразно е факторите и процесите, влияещи върху надеждността на изследвания обект, да бъдат групирани в три групи:

- фактори и процеси, влияещи върху надеждността на разглежданата комплектуваща система, външни за металорежещата машина (вклч. човека);
- фактори и процеси, влияещи върху надеждността на разглежданата комплектуваща система, които са обусловени от взаимното влияние на комплектуващите системи в рамките на целия сложен технически обект;
- фактори и процеси, оказващи влияние на надеждността на разглежданата комплектуваща система, които са вътрешни за тази комплектуваща система.

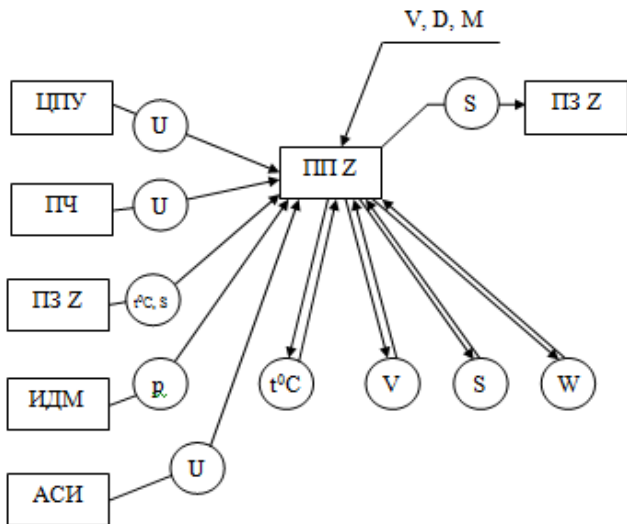
## III. ПОСТРОЯВАНЕ НА ГРАФА $G_{ППz}(V_{ППz}, E_{ППz})$

В натрупаната статистическа информация за възникващите откази се съдържат предварително уточнени характеристики на всеки от тях.

Прави се първоначална обработка на тези данни и всеки отказ се отнася към съответния фактор или процес, влияещ на надеждността на подсистемата. Въз основа на така систематизираната информация за отказите се прави първоначално синтезиране на графа  $G_{ППz}(V_{ППz},$

ЕППz) - фиг.1. Тази информация съдържа само качествени параметри, без да има количествени такива.

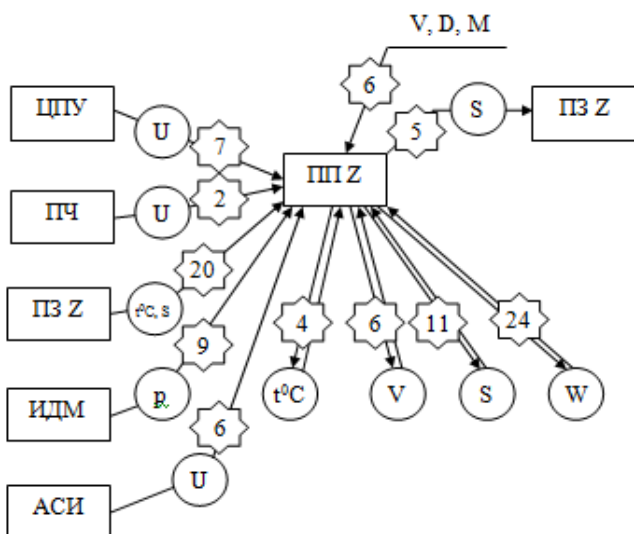
За да се опише количествено влиянието на всеки отделен фактор и процес, се определя тегловният коефициент за всеки от тях. Този тегловен коефициент може да бъде определен в различна дименсия. Изборът на дименсия се прави в зависимост от целите и задачите, поставени при изграждането на модела. Например дименсията може да бъде парична стойност, времева, броя или друга.



Фиг. 1. Първоначално синтезираният граф GPPz(VPPz, EPPz) с отразени качествени характеристики – комплектуващи системи и фактори и процеси, влияещи на експлоатационната надеждност на разглежданите обекти

За целите на настоящето изследване е избрана дименсия „проценти”, по-конкретно относителния дял на броя откази, дължащи се на определен фактор или процес, спрямо общия брой откази.

Тази информация е отразена на фиг.2.



Фиг. 2. Фигура 2. Графът GPPz(VPPz, EPPz) с отразени количествени характеристики – тегловните коефициенти по ребра в дименсия „проценти”.

В зависимост от поставените пред моделирането цели е възможно този модел да бъде прецизиран в различни направления. Например възможно е определянето на тегловните коефициенти по отделно за всеки фактор и процес, дължащ се на околната среда. Или графът да бъде синтезиран конкретно само за комплектуващите системи, които влияят на разглежданата комплектуваща система. В настоящето изследване е избран горепосочения формат за изграждане на GPPz (VPPz, EPPz), за да бъде демонстрирана общата идея при изграждането на модела.

#### IV. Изводи

- При моделирането на надеждностното поведение на разглежданата комплектуваща система „подавателен превод по ос z” е използван инструментариумът на теорията на графите.
- Като качествени характеристики моделът съдържа факторите и процесите, влияещи на експлоатационната надеждност и работната ефективност на тази комплектуваща система.
- Като количествени характеристики моделът съдържа тегловните коефициенти на всеки от тези фактори и процеси.
- Изграденият модел на конкретната комплектуваща система е предварителен етап от изграждането на надеждностен модел на целия сложен технически обект.
- Предложеният модел може да бъде конкретизиран или компресиран в различни направления за решаването на специфични конкретни задачи.
- Този подход за моделиране на надеждностното поведение е приложим и за други технически обекти.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Marwa A. Shouman, Amany S. Saber, Mohamed K. Shaat, Ayman El-Sayed, Hanaa Torkey, A Hybrid Machine Learning Model for Reliability Evaluation of the Reactor Protection System, Alexandria Engineering Journal, Volume 61, Issue 9, September 2022, Pages 6797-6809, ISSN: 1110-0168, Copyright © 2022 Faculty of Engineering, Alexandria University. Production and hosting by Elsevier B.V.;
- [2] A. Manish Tripathi, B. Lalit Kumar Singh, C. Suneet Singh, Dynamic reliability analysis framework for passive safety systems of Nuclear Power Plant, Annals of Nuclear Energy, Volume 140, 1 June 2020, 107139, ISSN: 0306-4549, Elsevier Ltd.;
- [3] Young Ho Chae, Seung Geun Kim, Poong Hyun Seong, Reliability of the system with loops: Factor graph based approach, Reliability Engineering & System Safety, Volume 208, April 2021, 107407, ISSN: 0951-8320, Elsevier Ltd.;
- [4] He Li, Zhi-Ming Deng, Noorbakhsh Amiri Golilarz, C.Guedes Soares, Reliability analysis of the main drive system of a CNC machine tool including early failures, Reliability Engineering & System Safety, Volume 215, November 2021, 107846, ISSN: 0951-8320, Copyright © 2022, Elsevier Ltd.;
- [5] Nikhil Dev, Samsher, S. S. Kachhwaha, Rajesh Attri, Development of reliability index for combined cycle power plant using graph theoretic approach, Ain Shams Engineering Journal, Volume 5, Issue 1, March 2014, Pages 193-203, ISSN: 2090-4479, 2022 Ain Shams University. Production and hosting by Elsevier B.V.;



- 
- [6] Zheqi Peng, Xin Wang, Jingyang Zhou, Zhishen Wu, Reliability assessment of fiber-reinforced polymer cable-anchorage system, Composite Structures, Volume 273, 1 October 2021, 114308, ISSN: 0263-8223, Copyright © 2022 Elsevier Ltd.

## **MODELING BY GRAPH OF RELIABLE BEHAVIOR OF THE FEED MOVEMENT ALONG THE Z-AXIS OF A METAL CUTTING MACHINE WITH DIGITAL-SOFTWARE CONTROL**

Vladimir Boyadzhiev  
Todor Kableschkov University of  
Transport  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: v.boyadjiev@abv.bg

**Abstract:** Synthesizing a complete reliability model of a complex technical object is an objectively difficult task. But solving it brings significant benefits. This report is a stage in the development of such a model. Through the tools of graph theory, a model of the reliable behavior of the feeder translation along the z-axis of a complex technical object - a metal-cutting machine with digital-program control.

# ПРОЕКТИРАНЕ НА ИНСТРУМЕНТ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА МАЛКОМОДУЛНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА С АСИМЕТРИЧЕН ПРОФИЛ НА ЗЪБИТЕ

Генади Цветанов  
ТУ-Габрово  
катедра „Машиностроене и  
уредостроене“  
Габрово, България  
e-mail: gencvet@tugab.bg

Мирослава Ненчева  
ТУ-Габрово  
катедра „Машиностроене и  
уредостроене“  
Габрово, България  
e-mail: nencheva@tugab.bg

Северин Хаджиев  
ТУ-Габрово  
катедра „Машиностроене и  
уредостроене“  
Габрово, България  
e-mail: severin\_h@abv.bg

**Резюме:** Асиметричният зъбен профил създава затруднения в проектирането на инструмент за изработването му по метода на центроидното обвиване. Това се решава чрез използване на стандартни височини на изходния контур и използване на радиална и тангенциална корекция на зъбния профил. Предложени са зависимости за тяхното определяне и са изследвани безусловните области на съществуване при конкретна асиметрия.

**Ключови думи:** малкомодулни, зъбни козела, асиметричен профил

## I. УВОД

Малкомодулните зъбни предавки са един от основните възли в уредите. Качественото и надеждно изпълнение на тези възли определя точната и надеждна работа на уреда като цяло.

Особените изисквания и условия на работа са обособили малкомодулните зъбни предавки в отделна група, за която са неприложими теоретичните и експериментални данни, получени за зъбни козела с голям и среден модул.

Внедряването на зъбни предавки с асиметричен профил на зъбите се затруднява от отсъствието на достатъчно данни за възможностите и точността им при изготвяне.

В тази връзка изследването на малкомодулните еволвентни цилиндрични зъбни предавки с асиметричен профил на зъбите се явява актуална задача за нашата промишленост.

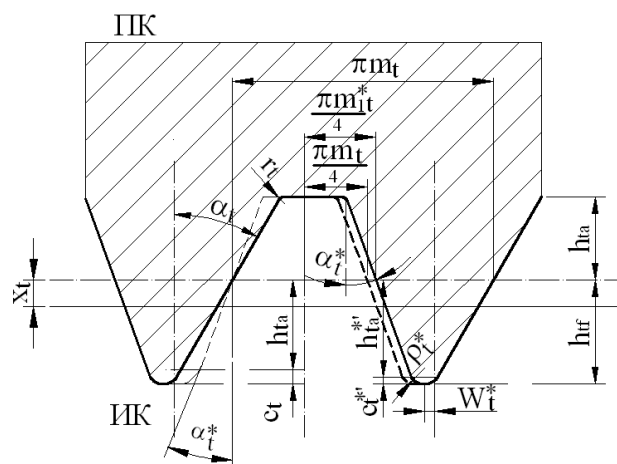
## II. ИЗЛОЖЕНИЕ

Проектирането на червячни фрези в уредостроенето се характеризира със следните различия:

- фрезата е монолитна;
- не се предвижда допълнително затиловане;
- фрезите са пълнопрофилни.

Технологията на изработване на червячна модулна фреза в България не позволява да се изработят инструменти с модули по-малки от 0,3 mm за симетричен еволвентен профил на зъбите.

За установяване на изолиниите на интерференция в инструменталното и еволвентното зацепване е необходимо да се определят праволинейните части на изходния контур ( $h_l$  и  $h^*_l$ ), за двете части на съставния профил. Този случай съответства на избор на постоянен коефициент на радиуса на закръгление за главата на контура  $\rho^*$ , което осигурява различна инструментална интерференция. Изборът на равни праволинейни части, съответства на различни коефициенти на радиуса на закръгление  $\rho^*$  и  $\rho^{**}$  (фиг.1).



Фиг. 1. Изходен и производящ контур на асиметричен зъбен профил в челно сечение

На фиг. 2.1 е представен изходен контур на асиметричен профил в челното сечение, който се различава от стандартните такива, по:

- наличието на два различни профилни ъгъла  $\alpha_t$ ,  $\alpha_t^*$  и равна стъпка, както между едноименните, така и между разноименните профили. Получените по тази възможност зъбни предавки условно се означават с I;
- наличието на равна стъпка, но само между едноименните зъбни профили. Получените по тази възможност зъбни предавки условно се означават с II. При тази възможност на образуване е задължително спазването на следното необходимо условие:



$$m_{t_1}^* + m_{t_2}^* = 2 \cdot m_t, \quad (1)$$

където  $m_{t_1}^*$ ,  $m_{t_2}^*$  са челните модули на изходния контур с неравномерна дебелина, съответстващ на профилен ъгъл  $\alpha^*$ , за колело 1 и 2 от предавката.

$m_t$  е челният модул на изходния контур с неравномерна дебелина, съответстващ на профилен ъгъл  $\alpha_t$ , за колело 1 и 2 от предавката.

Коефициентът на праволинейната част на изходния контур се разлага асиметрично, при задължително спазване на следното равенство:

$$h_{tf}^* = h_{ta}^* ; h_{ta}^* + c_t^* = h_{ta}^* + c_t^*. \quad (2)$$

Всички коефициенти на изходния контур с (\*) се отнасят за условно "работната" част на профила, а с (\*) – за условно "неработната" част.

В литературата [1,2,3,4] основните сведения са за изходен симетричен контур, като липсват стандарти или ясни указания за асиметричен контур. С тази цел са установени потенциалните коефициенти на припокриване за профилни ъгли на изходния контур по – големи от  $20^\circ$ , в нормалното сечение, при постоянен и стандартен коефициент на радиуса на закръгление за главата на зъба  $\rho^*=0,38$  (табл. 1).

От това изследване се установява, че с увеличаване на профилния ъгъл на инструмента, потенциалният коефициент на припокриване за инструменталното зацепване намалява и следователно е необходимо увеличаване на праволинейната му част. Този ефект се постига чрез зависимост (2).

ТАБЛИЦА 1 Изчислителни параметри на изходния асиметричен контур

$\alpha, [\text{deg}]$	$\rho^*$	$h_f^*$	$h_a^*$	$c^*$	$h_1^*$	$\epsilon_{\text{пот.}}$
20	0,38	1,25	1,0000	0,2500	2,0000	1,9808
22	0,38	1,25	1,0124	0,2376	2,0124	1,8443
24	0,38	1,25	1,0246	0,2254	2,0246	1,7344
26	0,38	1,25	1,0366	0,2134	2,0366	1,6453
28	0,38	1,25	1,0484	0,2016	2,0484	1,5730
30	0,38	1,25	1,0600	0,1900	2,0600	1,5143
32	0,38	1,25	1,0714	0,1786	2,0714	1,4672
34	0,38	1,25	1,0825	0,1675	2,0825	1,4299
36	0,38	1,25	1,0934	0,1566	2,0934	1,4013
38	0,38	1,25	1,1040	0,1460	2,1040	1,3805
40	0,38	1,25	1,1143	0,1357	2,1143	1,3668

Големи възможности за влияние върху качествените показатели на зъбното зацепване с асиметричен профил на зъбите дава комбинираното изместване на изходния контур, което е комбинация от радиална и тангенциална

корекция на зъбния профил. Зъбните предавки, съставени от такива колела, се различават от обичайните основни качествени показатели на зацепването, като е възможно получаването на непознати до настоящият момент зацепвания.

Връзката между радиалното и тангенциалното изместване на изходния контур при асиметричен профил на зъбите се представя със следната зависимост:

$$2m_t = \frac{z_{\Sigma} \cdot (\text{inv} \alpha_{tw} + \text{inv} \alpha_{tw}^* - \text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_t^*)}{2X_{r\Sigma}}, \quad (3)$$

където  $\alpha_t$  и  $\alpha_t^*$  са профилните ъгли на инструмента, с който се произвеждат колелата по метода на центроидното обвиване в челното сечение;

$\alpha_{tw}$  и  $\alpha_{tw}^*$  – ъглите на зацепване по началните полюиди;

$m_t$  – тангенциалният коефициент на изместване, при спазване на зависимост (1);

$X_{r\Sigma}$  – сумарният радиален коефициент на изместване на инструмента;

$Z_{\Sigma}$  – сумарният брой зъби на колелата от предавката.

Основен геометричен параметър определящ безусловната област на съществуване се явяват началните окръжности на колелата от зъбната предавка. В зависимост от тяхното определяне се дават и две възможности на образуване на асиметричния зъбен профил, които се различават по приетата пропорционалност [5,6]:

пропорционалност между параметрите на изходния контур – възможност I на образуване.

При нея се приема пропорционалност на инструмента равна на отношението между кофункциите на двата профилни ъгъла на изходния контур. По този начин се постига свободно вариране на двата ъгъла на зацепване ( $\alpha_{tw}$  и  $\alpha_{tw}^*$ ). Трансцендентната зависимост удовлетворяваща това геометрично условие, е:

$$\left| \begin{aligned} \text{inv} \alpha_{tw} + \text{inv} \alpha_{tw}^* &= \frac{2 \cdot (x_2 \pm x_1) \cdot (\text{tg} \alpha + \text{tg} \alpha^*)}{z_2 \pm z_1} + \\ + \text{inv} \alpha_t + \text{inv} \alpha_t^* & \end{aligned} \right. , \quad (4)$$

$$\left| \begin{aligned} \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw}} &= \frac{\cos \alpha_t^*}{\cos \alpha_{tw}^*} \end{aligned} \right.$$

където:

$z_1$  и  $z_2$  са броят зъби на колелата от предавката, реализирана с асиметричен профил на зъбите;

$x_1$  и  $x_2$  – коефициентите на изместване на инструмента за двете колела; за колело с вътрешни зъби се приема коефициентът на изместване на еквивалентното колело с външни зъби;

$\alpha$  и  $\alpha^*$  – профилните ъгли на инструмента, с който се произвеждат колелата по метода на центроидното обвиване.

пропорционалност между геометричните параметри на колелото - възможност II на образуване.

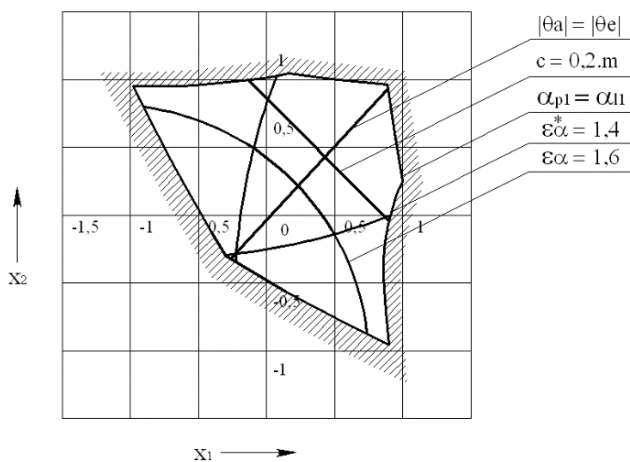
При нея се приема пропорционалност между основните окръжности на двете зъбни колела, като се реализира вариране на профилния ъгъл на инструмента. Трансцедентната зависимост даваща това условие, е:

$$\left\{ \begin{aligned} inv\alpha_{tw} &= \frac{2(x_2 \pm x_1) \cdot tg\alpha}{z_2 \pm z_1} + inv\alpha_t \\ \frac{d_{tb1,2}}{\cos\alpha_{tw}} &= \frac{d_{tb1,2}^*}{\cos\alpha_{tw}^*} \\ inv\alpha_{tw} + inv\alpha_{tw}^* &= \frac{2(x_2 \pm x_1) \cdot (tg\alpha + tg\alpha^*)}{z_2 \pm z_1} + \\ &+ inv\alpha_t + inv\alpha_t^* \end{aligned} \right. \quad (5)$$

където:

$d_{tb1,2}$  и  $d_{tb1,2}^*$  са основните окръжности на колела 1 и 2 на зъбната предавка, съответстващи на профилен ъгъл  $\alpha_t$  и  $\alpha_t^*$  на инструмента от гребенен тип.

Трансцедентните зависимости (4) и (5) дават различен резултат за една и съща пропорционалност, което съответства на различни качествени и якостни показатели. С оглед на установяването на тези различни показатели е разгледана еволвентна цилиндрична зъбна предавка с асиметричен профил на зъбите и параметри: модул  $m=1\text{mm}$ ; брой зъби на колело 1 –  $z_1=34$ ; предавателно число  $u=0,92$ ; височини на изходния контур –  $ha=1\text{mm}$ ,  $hf=1,25\text{mm}$ ; радиус на закръгление на главата на зъба на изходния контур  $\rho=0,38\text{mm}$ ; коефициент на пропорционалност  $0,9645$ ; ъгъл на наклон на зъбите  $\beta=0$ ; метод на фрезозане с пълен профил.

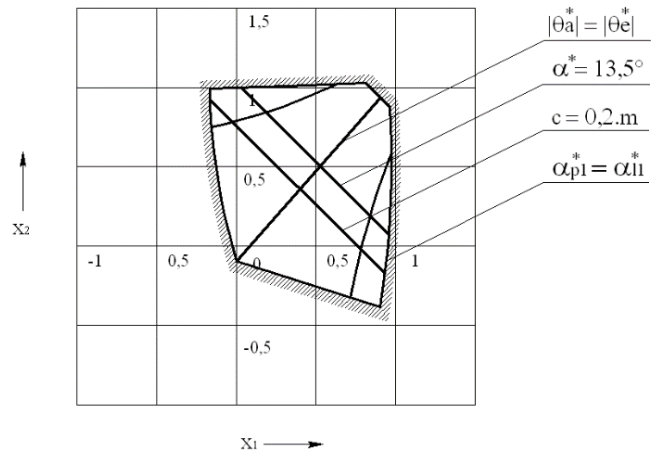


Фиг. 2. Област на съществуване на реверсивната предавка с асиметричен профил на зъбите и възможност I на образуване

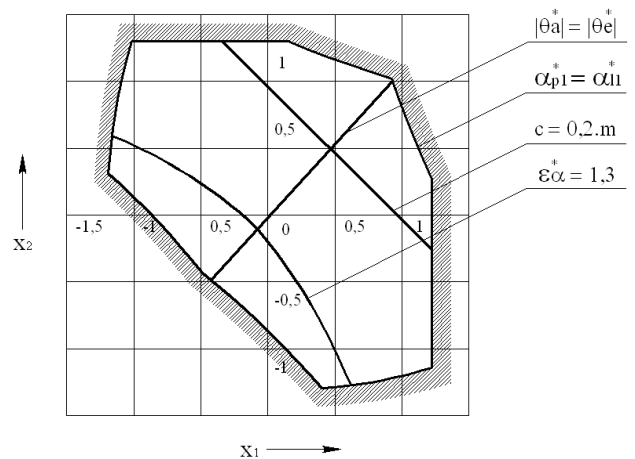
На фиг. 2 е дадена безусловната област на съществуване на реверсивната предавка с асиметричен профил на зъбите и възможност I на образуване. На фиг. 3 и 4 са представени безусловните области на съществуване при асиметричен профил на зъбите и възможност II на образуване.

От представените на фиг. 2, 3 и 4 области на съществуване по предварително зададени качествени показатели се установява, че възможност II на образуване дава значително по-големи възможности за избор на радиални коефициенти на изместване на изходния контур.

В последващ анализ се извършва избор на тангенциално изместване на инструмента при различните възможности на образуване, което позволява да се измести полюса на зацепване по височина на профила и да се получат извънполюсни предавки. Това предполага якостен и геометричен анализ на зъбното зацепване с непознати до този момент качествени и якостни показатели. Като основен критерий за изместване на полюса на зацепване авторите предлагат специфичното плъзгане между спрегнатите профили, което осигурява еднакво износване на зъбите и увеличена работоспособност.



Фиг. 3. Област на съществуване на реверсивната предавка с асиметричен профил на зъбите и възможност II на образуване за  $\alpha^* = \text{var}$



Фиг. 4. Област на съществуване на реверсивната предавка с асиметричен профил на зъбите и възможност II на образуване за  $\alpha^* = \text{var}$

### III. ИЗВОДИ

Дадени са зависимостите за геометричното изчисляване на еволвентни цилиндрични зъбни предавки с асиметричен профил на зъбите и различни възможности за образуване.

Дадена е възможност за определяне на радиалното и тангенциалното изместване на инструмента без

протуберанс чрез използване на различни модули в челно сечение на зъбния профил.

Направено е сравнение между безусловните области на съществуване на конкретна предавка с асиметричен профил в полето на независимите коефициенти на изместване на инструмента при различни възможности на образуване.

Направени са конкретни препоръки за избор на тангенциалното изместване на изходния контур чрез получаването на извънполусни предавки, което е невъзможно при стандартен ъгъл и външно зацепване.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Болотовский И. А. и Шендерей Б. И. Некоторые вопросы анализа и синтеза эвольвентного зубчатого – реечного зацепления. – В кн.: Теория передач в машинах., Москва, “Машиностроение”, 1970.
- [2] Болотовский И. А. и др. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления – Расчет геометрии, Москва, “Машиностроение”, 1975.
- [3] Авиационные зубчатые передачи и редукторы – Справочник /под ред. д-р проф. Э. Б. Вулгаков/, Москва, “Машиностроение”, 1981.
- [4] Вулгаков Э. Б. Теория эвольвентных зубчатых передач, Москва, “Машиностроение”, 1995.
- [5] Цветанов Г. Изследване на малкомодулни зъбни предавки с асиметричен профил, Дисертация за получаване на образователна и научна степен: Доктор, Габрово 2004.
- [6] Симеонов С. К., Г. Ц. Цветанов. Необходимо и достатъчно условие за реверсиране посоката на движение при еволвентни цилиндрични зъбни предавки с асиметричен профил на зъбите- Варна 10□12.09.2005, XXXII Национален семинар по Динамика на механични системи.

## DESIGN OF A TOOL FOR MANUFACTURE OF SMALL-MODULAR GEARS WITH ASYMMETRIC PROFILE

Genady Cvetanov  
Department of Mechanical and  
Precision Engineering  
Technical University of Gabrovo  
Gabrovo, Bulgaria  
e-mail: gencvet@tugab.bg

Miroslava Nencheva  
Department of Mechanical and  
Precision Engineering  
Technical University of Gabrovo  
Gabrovo, Bulgaria  
e-mail: nencheva@tugab.bg

Severin Hadjiev  
Department of Mechanical and  
Precision Engineering  
Technical University of Gabrovo  
Gabrovo, Bulgaria  
e-mail: severin\_h@abv.bg

**Abstract:** The asymmetric tooth profile creates difficulties in the design of a tool for its manufacture by the method of centroid wrapping. This is solved by using standard heights of the output contour and using radial and tangential correction of the tooth profile. Therefore, definition-dependent and specific unconditional areas of existence in asymmetry are being proposed.

## ОБЗОР И АНАЛИЗ НА ВИДОВЕ ТЕРМОСВИВАЕМИ МАШИНИ

Петър Панев  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии,  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: m.paneva7@gmail.com

Миглена Панева  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии,  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: panevv@gmail.com

**Резюме:** В настоящата статия са разгледани различни типове машини за термосвиваемо фолио и варианти за опаковане. Разгледано е опаковането на детайли, храни и препарати при различни отрасли. Представени са ръчни, полуавтоматизирани и напълно автоматизирани устройства, чрез които се опакова готова продукция. Описан е методът на работа и производителността на всеки вариант. Представена е цялостна композиция от производство на продукт до неговият краен вид.

**Ключови думи:** термосвиваемо фолио, машини, опаковка

### I. ВЪВЕДЕНИЕ

Опакованите продукти трябва да достигнат до потребителя без каквито и да е счупвания, повреди, заливания и т.н. Те могат да бъдат транспортирани по земя, въздух и море [1-4].

Термо-свиваемите полиолефинови фолио са материали на базата на полиетилен или полипропилен [5]. Полиолефините са полимери, съдържащи само въглерод и водород, в които има дълги -ССС- въглеродни вериги, съставляващи основния скелет на самите вериги на полимерите. Полиолефините са много важна индустриална група от полимери. Тези полимери имат много добри полезни свойства, мономерите за тяхното производство се получават директно от суров нефт. Комбинираното му използване с машини за слепване и термосвиване дава крайният опакован продукт, защитен от неблагоприятни външни условия.

Целта на настоящата работа е да се направи обзор и анализ на различни типове машини за опаковане на продукт с термосвиваемо фолио, за да се избере най-оптималният вариант за опаковане на крака за маси.

### II. ВАРИАНТИ ЗА ОПАКОВАНЕ С ТЕРМОСВИВАЕМО ФОЛИО

#### A. Вариант 1- Импулсно слепващо устройство [6]

Импулсно слепващите устройства се използват при ръчен режим на работа. Продуктите са предварително опаковани с избраният вид фолио и се поставят на машината за слепване (запечатване). Устройствата са подходящи за запечатване на PE, PP, PA и PVC фолио с ширини от 300 mm до 1800 mm. Има възможност за регулиране на времето на слепване в зависимост от вида и дебелината на използваното фолио, като времето за слепване варира от 0 - 1.5 sec. Дебелината на фолиото

варира в зависимост от типа: PE-200  $\mu$ m; PP-200  $\mu$ m; BOPP-100  $\mu$ m; PVC-60  $\mu$ m.

- 1) Без нож за безопасно рязане (фиг. 1)- При това устройство, дължината на фолиото се реже след залепването, посредством друг ръчен режещ инструмент.
- 2) С нож- Устройството е с вграден нож за безопасно рязане на фолиото на желаният размер

Слепващия механизъм при импулсните устройства с и без нож се затварят ръчно, като слепващият шев е с ширина 2.0 mm.



Фиг. 1. Настолно импулсно слепващо устройство с дължина на слепващия елемент 300 mm

- 3) Настолно импулсно слепващо устройство на самостоятелна стойка (Фиг.2)- Поради по-големият размер на челюстите, слепващия механизъм се затваря с педал. Слепващият шев е с ширина 2.50 mm.

За да е завършена операцията по термосвиване на фолиото е необходимо опакованите продукти да преминат през още една машина- Тунел за термосвиване, фиг.3. Той се избира според габаритните размери на продукта, който трябва да се опакова. Най-често срещаните са конвейрните термотунели. Правят се настройки на скоростта на топлият въздух, скоростта на конвейра и температурата в зависимост от дебелината на фолиото и геометрията на продукта.

**В. Вариант 2- Камерни термофолиращи машини [8]**


Фиг. 2. Настолно импулсно слепващо устройство на самостоятелна стойка с дължина на слепващия елемент 750 mm

Това са полу-автоматични ъглови опаковъчни машини, които работят в съчетание с ръчен труд и машина. Машините са снабдени с електронен панел, електронен продуктов брояч и вградена въздушно-охлаждаща система. Посредством монтираната ролка с фолио ръчно се опакова продукта и се поставя в камерата за термосвиване на фолиото. След зададеното време вече фолираният продукт се отстранява и се пристъпва към опаковане на следващият (фиг. 4).

Повечето модели могат да бъдат използвани за опаковане с широка гама от материали, храни и препарати за почистване както при човека, така и при животновъдството. Крайните резултати са винаги с добро качество. Традиционната система за термосвиване е с центрирано пълнене на фолиото, което позволява опаковането на широка гама от продукти. Може да се регулира скоростта на обдухващия вентилатор, което гарантира безпроблемна работа при много леки изделия. При нужда може значително да се заздравя слепващия ръб.

Машините се класифицират по следните параметри: захранване, максимална мощност, производителност бр./ч, максимален размер на продукта и размер на слепващото устройство, тип на фолиото, максимални размери на продукта, височина на работната повърхност. Предлагат се камерни термофолиращи машини за единични и групови /стекови/ опаковки в термо свиваемо фолио с L слепване. Те се използват за промишлени приложения – големи и малки предприятия, когато е необходима евтина и надеждна опаковка. Могат да се пакетират както хранителни, така и нехранителни продукти. Изключително популярни са сред производителите на хляб и сладкарски изделия, собственици на магазини и т.н. Те се характеризират с висока надеждност и лекота на употреба, всички модели са оборудвани с полупроводникови релета, опростено управление и намален фонов шум. Някои модели са с вграден събирач на отпадъка от фолио.

С машините от новите серии се спестява до 50% от времето за свиване и 60% от времето за слепване.

Максималната производителност е свързана с вида продукт, фолиото и способността на оператора. Обикновено този тип камерни термофолиращи машини са с максималната производителност от 300 – 2400 бр./ч.



Фиг. 3. Тунел за термосвиване на фолио [7]



Фиг. 4. Камерна термофолираща машина

### С. Вариант 3- Напълно автоматизирани машини за опаковане

Напълно автоматичните машини за опаковане са съставени от конвейер, тунел за термосвиване на фолиото и челюсти за залепване на фолиото с нож, фиг. 5. Те са универсални и могат да опаковат различни продукти, като стъклени и PET бутилки, кутии, контейнери, буркани, различни по размер кашони и разни видове опаковки. Могат да се използват в няколко индустриални сегмента, като напитки, храни, химикали, вино и спиртни напитки, козметика, перилни препарати, дърво, текстил, картини и др. [9].

Най-основно автоматизираните опаковъчни машини са оборудвани по следният начин:

- Две отделни ролки с термосвиваемо фолио, разположени на горен и долен диспенсър. Двете ролки се задвижват чрез двигател със съответните приспособления за балансиране.
- Захранващ конвейер завъртян на 90°, позволяващ автоматично групиране на продуктите. Автоматичното подаване става директно чрез задвижване на конвейера.
- Автоматично изключване на конвейера, докато тунелът загрева.
- Възможност за инсталиране на пневматичен тласкач за автоматично подреждане на продуктите в стекове 2x3 или 3x2, при предварително подредени консерви в колонки ръчно.
- Постъпващите пакети се контролират с фотоклетка.
- Челюстите за залепване на фолиото е позиционирано централно със самопочистващи се нагреватели. Гумените и тефлоновите комплекти на челюстите се подменят лесно.
- Възможност за настройка на височината на слепващите елементи.
- Температурата се контролира дигитално чрез термодвойка.
- Съоръжени с PLC контролер с възможност за въвеждане на индивидуални програми.
- Инсталиран сензор за спиране на машината при заседнал пакет.
- С цел запазване на стабилността на пакета по време на опаковане се монтира пневматичен притискател с вертикален цилиндър
- Добра изолация на тунела, намаляваща разхода на енергия.
- Регулиране на скоростта на конвейера и температурата в тунела.
- Вградени вторичен и аварийен термодатчици за безопасност.

- Клапан за регулиране на въздушния поток в тунела.



Фиг. 5. Напълно автоматизирани машини за опаковане

Автоматичните термофолиращи (термосвиващи) машини имат възможност за вграждане в автоматични линии [10, 11]. Максималната скорост на конвейерите е около 45 m/min. Средната производителност на машините е от 900 - 4200 опаковки/час

### III. СТРУКТУРНА КОМПОЗИЦИЯ НА ИНОВАТИВНА АВТОМАТИЧНА ОПАКОВЪЧНА ЛИНИЯ

Изградена е структурна композиция на иновативна автоматична опаковъчна линия за крак за маси и плотове с използването на машина за термосвиваемо фолио. Служебното ѝ предназначение е да се извършат последователно процесите по автоматично окомплектоване на крака с всички включени компоненти, опаковане на крака с термосвиваемо фолио и подреждането им в кашони., показана на фиг. 6.

В позиция 1 се извършва първичната опаковка на продукта чрез проектираната, изработена и внедрена в експлоатация иновативна полуавтоматична опаковъчна линия, изградена в три участъка. Първичната опаковка на полуфабриката е съвкупност от тръба, окомплектована с кутийка, съдържаща компоненти за монтаж. Тя комплексно се манипулира върху линеен транспортър с плоска лента (позиция 2) с дължина  $L=3\text{ m}$  и ширина 500 mm. На позиция 3 е представена автоматичната опаковъчна машина на фирма PACTUR, модел AUTO 30L. Тук се осъществява автоматично и втората опаковка с термо свиваемо фолио тип „ФЛЕКСОСИЙЛ“- PE-HD, чрез която се облича тръбата. Използваното фолио е с висока плътност с дебелина  $\delta=19\ \mu\text{m}$ , ширина  $b=250\text{ mm}$  и намотано на ролка с дължина  $L=1000\text{ m}$ . Автоматичната машина е с производителност  $Q=24\text{ бр./min}$ . Фолираната вторична (облечена) опаковка навлиза в термо тунела /пещ (позиция 4), осигуряващ температура между  $T=160\div 180\text{ }^\circ\text{C}$ . При излизането на изделия от термо тунела се оформя плътен пакет, съвместяващ тръбата с кутийката, съдържаща компонентите за монтаж. Готовият продукт се поема от линеен транспортър с плоска лента (позиция 5), където се изстудява до стайна температура. Следва автоматично залепване на продукта с баркод след което пристъпват към опаковане в кашони.



Фиг. 6. Структурна компоновка на ИАОЛ

Производителността при опаковането на целият процес е 900 бр/час или 9900 бр/смяна.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа са анализирани различни типове машини за опаковане на продукт с термосвиваемо фолио. Наблюдавани са три категории: ръчно, полу-автоматично и напълно автоматично опаковане и термосвиване на продукта. Основните параметри, по които се класифицират са размер на опакованият продукт; вид, размер и дебелина на фолиото и производителност. Ръчното опаковане се извършва на два етапа: чрез ръчно импулсно устройства се залепва плика или фолиото след опаковане на изделие (те биват без и с нож за изрязване и настолни със самостоятелна стойка за по-големият размер на челюстите) и тунел за термосвиване. Производителността им е до 300 бр./час. Полуавтоматичните машини спестяват до 60% от времето за слепване и 50% от времето за свиване. Те са камерни термофолиращи машини като посредством монтираната ролка с фолио ръчно се опакова продукта и се поставя в камерата за термосвиване. Максималната производителност е от 300 – 2400 бр./ч. При последният тип машини- напълно автоматичните термосвиващи са оборудвани с конвейер, опаковача машина и тунел за термосвиване на фолиото. Всички процеси се извършват автоматично и максималната производителност се вдига до 4200 опаковки/час.

На база направеният анализ е изградена структурна компоновка на автоматична опаковача линия на крак за маси и плотове. Поради голямата производителност, която се цели е избран вариант 3 за напълно автоматична машина за термосвиване на фолиото, която е вградена в автоматична линия за първична опаковка на крак с компонентите му за монтаж. Постигнатата производителност при опаковането на целият процес е 900 бр/час или 9900 бр/смяна.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепата на Националната научна програма Интелигентно животновъдство (ИНТЕ-ЖИВО), предоставено споразумение N Д01-62/18.03.2021, финансирано от Министерството на образованието и науката.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] „Автоматизация на дискретното производство“ под общата редакция на проф. Вл. Гановски, ДИ „Техника“ 1990, Москва, 1987.
- [2] GROOVE Mikell P., “Automation Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing”, Third education, Pearson Prentice Hall International ISBNO – 13 – 207073 – L, 2008.
- [3] Dimitrov L., “Principles of mechanical engineering design” Heron press, S., 2009.
- [4] Boothrouth G., Geoffrey. Assembly Automation and Production Design, Taylor & Francis Group, Published Bocaraton London, New-York, Singapore in 2005.
- [5] Полиетилен <https://elplast-bg.com/%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BD/> (последно посетен април 2022)
- [6] Импулсно слепващо устройство, <https://www.kammarton.com/> (последно посетен април 2022)
- [7] Термо тунел, <https://mavaindustrial.com/tuneli-za-termosvivane-50-digit-70-digit> (последно посетен април 2022)
- [8] Камерни термофолиращи машини <http://www.mavaindustrial.com/index.php> (последно посетен април 2022)
- [9] фирма Packin, <https://packin.net/> (последно посетен април 2022)
- [10] Малаков И. Нискостойността автоматизация на дискретното производство. Издателство на ТУ-София, 2010.
- [11] Чакърски Д., П. Томов, И. Малаков. Постигания и перспективи за развитието на автоматизацията на дискретните производствени процеси. Известия на НТС по машиностроене, Год. XXII, 40, юни 2013

## OVERVIEW AND ANALYSIS OF TYPES OF HEAT SHRINKABLE MACHINES

Petar Panev

Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: panevv@gmail.com

Miglena Paneva

Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: m.paneva7@gmail.com

**Abstract:** This article discusses different types of shrink film machines and packaging options. Manual, semi-automated and fully automated devices are presented, through which finished products are packaged. The method of operation and productivity of each variant is described. A complete composition from product production to its final appearance is presented.

## ОТНОСНО РЕГУЛИРАНЕТО НА РАЗСТЪРГВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ

Петър Хаджийски

 ТУ-София  
София, България

Илиян Илиев

ПГКМКС

Варна, България

e-mail: Phdiliev171@gmail.com

Стефан Василев

ЗКУ- Стара Загора

Стара Загора, България

e-mail: swk1@abv.bg

**Резюме:** Устройството се отнася за регулиране на разстъргващи инструменти и по специално за автоматично регулиране на размера на разстъргващия инструмент, използван при металорежещи машини с цифрово програмно управление и автоматична смяна на инструментите, имащи едновременно управление по две линейни оси и ориентирано спиране на вретеното.

**Ключови думи:** разстъргване, ЦПУ, автоматично регулиране, матрици.

### I. Увод

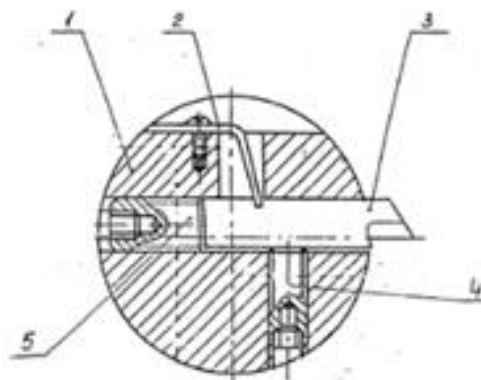
В съвременното машиностроене все повече се увеличава дялът на машините с цифрово програмно управление. Важна част от тяхната специфика е качеството на обработените повърхнини [6]. При машините с ЦПУ се използват различни видове инструменти за които се налага да се използва поднастройване за осигуряване точността на размерите. Повишаването на качеството на повърхнините на детайлите, обект на машиностроителното производство, е от съществено значение за тяхната експлоатационна трайност и надеждност [1,2,3,4,7]. Най-често за осигуряване на точността на размера се използват разстъргващи инструменти. Известни са инструменти с устройства за ръчно регулиране. Недостатък е, че при тези устройства се налага прекъсване на автоматичния цикъл – обработване – контрол – регулиране поднастройване. Използват се и специални автоматично регулирани разстъргващи глави глави с цифрово управлявана координата [1,2]. Недостатък на тези устройства е, че се налага използването на специална разстъргваща глава, която не може да се сменя автоматично но и освен това системата за ЦПУ трябва да има допълнителна координата за управление на радиалния супорт.

### II. ИЗЛОЖЕНИЕ

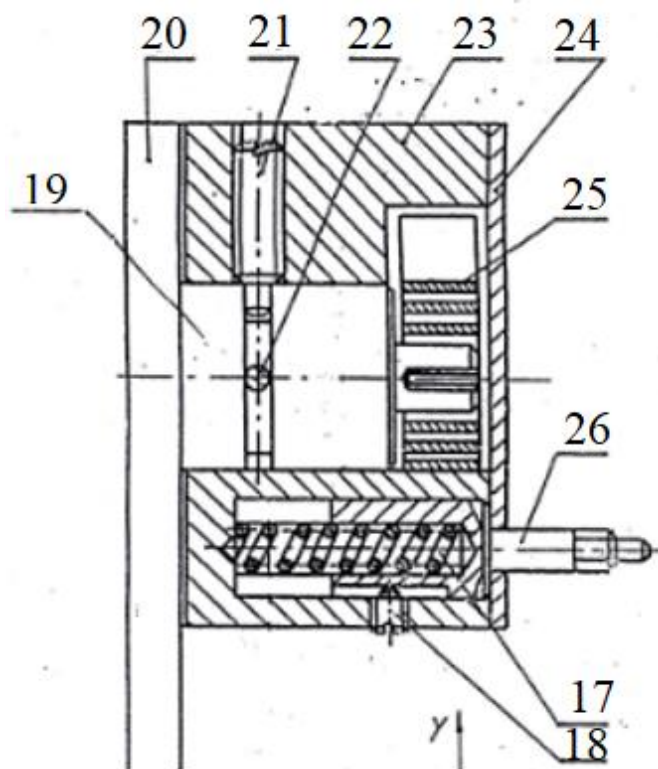
В фирма ЗКУ-АД се произвеждат каучукови изделия. За производството на тези изделия се използва инструментална екипировка (матрица). За намаляване разходите за производство както и времето за изработване на инструменталната екипировка във фирмата се произвеждат стандартни плочи с различен брой цилиндрични гнезда в, които се монтират матриците. От съществено значение е точността на диаметъра на отворите.

Предлаганото устройство се състои от механизъм за регулиране на радиалното изместване на ножчето 3 на борщангата 1 (фиг.1) и механизъм за обирание на

хлабината му (фиг.2). Устройството е предназначено за работа на пробивно-фрезови център МС-032.



Фиг. 1.

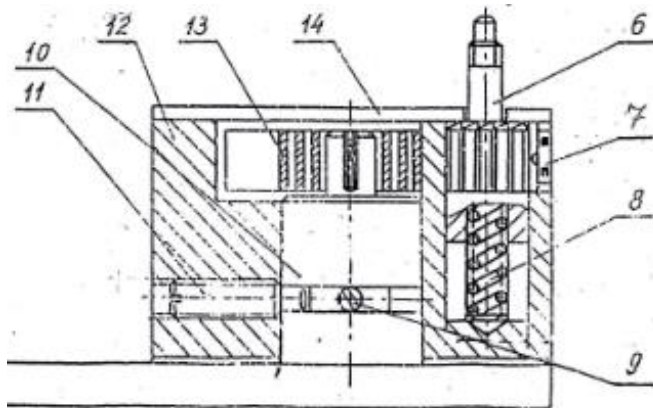


Фиг. 2.

Механизмът за регулиране на радиалното изместване се състои от ножче 3 с твърдосплавна пластина, борщанга 1 пластина еластична 2, стопорен винт 4 и регулиращ винт 5.

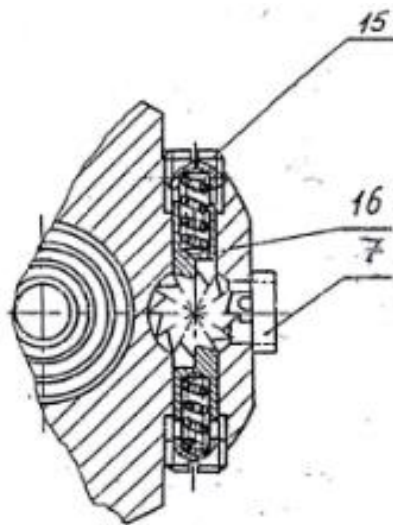


Механизмът за регулиране се състои от диск за регулиране 23, лагеруван на ос 19 към конзола 20 и е снабден с осово подвижен елемент (накрайник) 26, притискан от пружина 17 и осигурен срещу завъртане спрямо собствената му ос от винт 18. Краят на този накрайник 26 има цилиндричен участък и последващ профилен участък с шестограма форма, предвиден за свободно поместване в съответния профилен отвор на винта за регулиране 5 на ножчето 3 навит в борщангата 1 (фиг.1). Една плоска пружина 2, застопорена към борщангата 1, поддържа в непрекъснат контакт ножчето 3 с винта за регулиране 5. Също така една спирална пружина 25, поместена в тялото на диска за регулиране 23, осигурява постоянна начална ъглова позиция на диска за регулиране 23. Когато краят на винт 21, навит в диска за регулиране 23 е в контакт с щифт 22, разположен в канал на оста 19, който канал ограничава диска за регулиране 23 от осово преместване механизма за регулиране, освобождаване и обирание на хлабината на ножчето 3 притежава диск лагеруван на ос 19 към конзолата 20. Дискът 12 е снабден също с осово подвижен елемент (накрайник) 6, притискан от пружина 8 (фиг.3).



Фиг. 3.

Тази възможност за завъртане около оста си само в една посока се осигурява от храпов механизъм 16 посредством храповото колело 7 и пружините 15 (фиг.4).



Фиг. 4.

И тук профилният край на накрайника 6 при освобождаване и обирание на хлабината на ножчето 3 съвпада с профилния край на винта за обирание на хлабината 4 на ножчето 3, който по същество представлява фиксиращ винт и осигурява ножчето 3 срещу самопроизволно преместване при рязане. Към диск 12 също е предвидена спирална пружина 13 за да осигури начална ъглова позиция на диска за освобождаване и обирание на хлабината, когато свободния край на винт 11 е в контакт с щифт 9, аналогично на описаното по горе за регулиращия диск 23.

Този подход е приложим за всички ръчно регулируеми режещи инструменти, използвани при металорежещи машини с цифрово програмно управление. За регулиране на режещото ножче 3 регулиращият винт 5 се завърта на ъгъл  $\alpha$ , който се определя по зависимостта:

$$\alpha = \frac{360 \times a}{p} \quad (1)$$

където:

$p$  - стъпката на резбата на винта, милиметри;

$a$  - стойността на поднастройване, милиметри;

Ъгъл  $\alpha$ , на който се завърта приспособлението при поднастройване, може да приема много малки стойности, тъй като те се реализират с достатъчно големи премествания по  $X$  и  $Z$ . При поднастройване със стойност  $\Delta D$  [mm] той е:

$$\alpha = 360 \times \Delta D / p \quad (2)$$

За движенията по ос  $X$  и  $Z$  се получава:

$$X = R \sin \frac{360 \times \Delta D}{p} \text{ mm} \quad (3)$$

$$Z = R \cos \frac{360 \times \Delta D}{p} \text{ mm.} \quad (4)$$

където:

$R$ - конструктивен параметър на приспособлението за автоматично поднастройване, милиметри;

Ако винтът е с по-ситна стъпка, например  $2p$ , при еднакви други условия (например стойността на поднастройване), ъгълът на завъртане става

$$\alpha = 360 \times \Delta D / 2p \quad (5)$$

По макропрограма за регулиране винтът за обирание на хлабината (фиксиращия винт) 4 на разтъргващия инструмент 1 се позиционира на оста на накрайника 6, когато дискът за освобождаване и обирание на хлабината 12 е в начална позиция, определена от винта 9 и щифта 11, приведени в контакт от пружината 13. С последващо движение по ос  $Y$  накрайникът 6 потъва, като само цилиндричната му част влиза в отвора на фиксиращия винт 4, като се деформира пружината 8 (фиг. 3). Следва движение в режим на кръгова интерполация в равнината  $XZ$  с радиус  $R$ . Когато шестограма на накрайника 6 съвпадне с този на винта 4, накрайникът 6 се премества осово по  $Y$  и при по нататъшно движение винтът се развива на необходимия ъгъл. Двете ъглови позиции на винта 4 – затегнато и освободено се помнят с CNC като

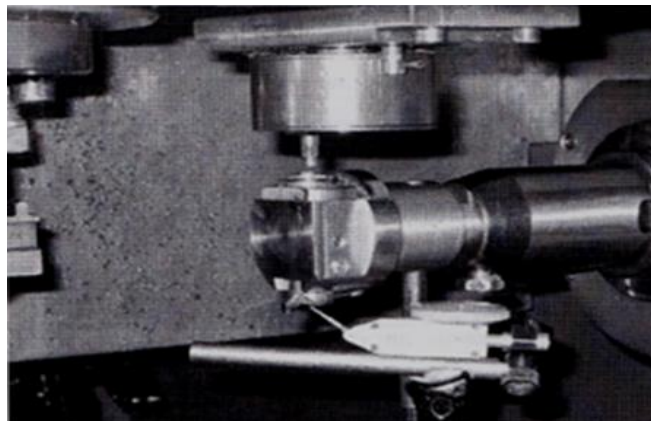
атрибути на съответния разтъргващ инструмент. С обратно движение по ос Y накрайникът 6 се изважда от отвора на винта 4 и под действие на пружината 13 се връща в изходна позиция. Позиционира се в равнината YZ, така че осите на накрайника 26 и регулировъчният винт да съвпадат. Извършва се преместване по ос X, така че цилиндричната част на накрайника 26 да влезе в отвора на винта 5 и пружината 17 да се деформира. Извършва се кръгово движение в равнината YZ, на ъгъл равен на предшестващото регулиране "минус" K.60,

където:

K е цяло число.

Шестграмната част на накрайника 26 съвпада с шестограма на винта за регулиране 5 и понеже завъртането на накрайника 26 около оста му е възпрепятствано от стопорния винт 18 при понататъшното кръгово движение на винта 5 се премества режещото ножче 3 на желанния размер. Пружината 2 не позволява хлабина в системата. След завъртане на необходимия ъгъл чрез движение по X накрайникът 26 излиза от отвора на регулиращия винт 5 и регулирането е извършено.

За обирание на хлабината и фиксиране на положението на ножчето 3 се извършва позициониране в равнината XZ, така, че осите на накрайника 6 и винта 4 да съвпадат (дискът 12 е в начална позиция). Извършва се движение по ос Y, така че накрайникът 6 да деформира пружината 8 на стойност достатъчна при съвпадане на осите на винта 4 и на накрайника 6, последният да влезе в шестограма на винта 4. Следва завъртане в обратна посока на диска 12 при което в рамките на 60 градуса шестограмите съвпадат и започва затягането на винта 4. Обратното движение е в режим на интерполация на дъгата с отсечки по права, изпълнявани в режим на „прескачане“SKIP“. Когато се получи затягане елементите на храповия механизъм 16 напрягат пружините 15 и накрайникът 6 започва да се превърта спрямо диска 12, натиска микроизключвателя, който е монтиран на бордщангата и подава SKIP сигнал на CNC, кръговото движение се преустановява. Извършва се преместване по ос Y и накрайникът 6 се освобождава с което регулирането е извършено. Предлаганото устройство е изработено в РУ-Ангел Кънчев и на фиг. 5 е показана схема на изследването му.



Фиг. 5.

### III. ИЗВОДИ

Конструкцията на устройството за регулиране не намалява стабилността на технологичната система и запазва точността на поднастройване. С предлаганото устройство за автоматично регулиране на диаметъра на бордщангата се съкращава значително спомагателното време за поднастройване, което ще доведе до намаляване на производствените и технологични разходи на фирмата.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Проспектни материали на "joistan and Kettenbaum"(Германия).
- [2] Steffen Westman, Chemnitz und Klaus Kьnanz, Drezden, Hohere Bohrungqualität und Weiger Werkzeuge auf Bearbeitigzentren, Werkstatt und Betrieb 125 (1992) 8.
- [3] Фадгошин И. Л. и др., Инструмент для станков с ЦПУ, Многоцелевх станков и ГПС, М, Машин остроение, 1990 г.
- [4] Калдышев Цв., Хаджийски П., Програмиране на CNC машини с САМ системи, София 2016, Технически университет-София, ISBN 978-619-167-231-8.
- [5] Хаджийски П., И. Астинов И. Метод и устройство за поднастройване на разтъргващи инструменти върху обработващи центри, сп, Машиностроене, 1998, кн. 1-2, стр. 14-17, 0025-455 х.
- [6] K. Kirov, Preliminary production cost assessment on the basis of loss function application, MEET/MARID 2002, 7-11 October 2002, Proceedings Volume V, p 361-364, Varna, Bulgaria, ISBN 954-20-0215-7.
- [7] K. Kirov, Options for interchangeability theory application in metal cutting process design, MEET/MARID 2002, 7-11 October 2002, Proceedings Volume V, p 291-301, Varna, Bulgaria, ISBN 954-20-0215-7.

## ON THE ADJUSTMENT OF GRINDING INSTRUMENTS

Petar Hadjiyski  
TU-Sofia  
Sofia, Bulgaria

Iliyan Iliev  
PGKMKS  
Varna, Bulgaria  
e-mail: Phdiliev171@gmail.com

Stefan Vasilev  
ZKU- Stara Zagora  
Stara Zagora, Bulgaria  
e-mail: swk1@abv.bg

**Abstract:** Under the conditions of modern machine building, it is often necessary to expand the capabilities of existing machines. This is necessary due to the fact that the aggregate machines, made for automated assembly and production, can be created only with design details and when changing some of the parameters when creating non-compliant requirements.

# ДЕФИНИРАНЕ НА ПАРАМЕТРИ, ФУНКЦИИ, ФУНКЦИОНАЛНИ ЗОНИ И ЕЛЕМЕНТИ НА УСТРОЙСТВО ЗА ОРИЕНТИРАНЕ НА КАПАЧКИ ТИП ПУЛВЕРИЗИРАЩИ ПОМПИ

Вълко Митев  
КМС Инженеринг ООД  
Пловдив България  
e-mail: office@kms-e.com

Кирил Митев  
КМС Инженеринг ООД  
Пловдив, България  
e-mail: office@kms-e.com

**Резюме:** При конструиране на ново устройство за ориентиране на детайли след избор на типа е необходимо да се дефинират функциите по манипулиране и сортиране на потока с детайли, както и подредбата, големината и реда на функционалните зони в самото устройство.

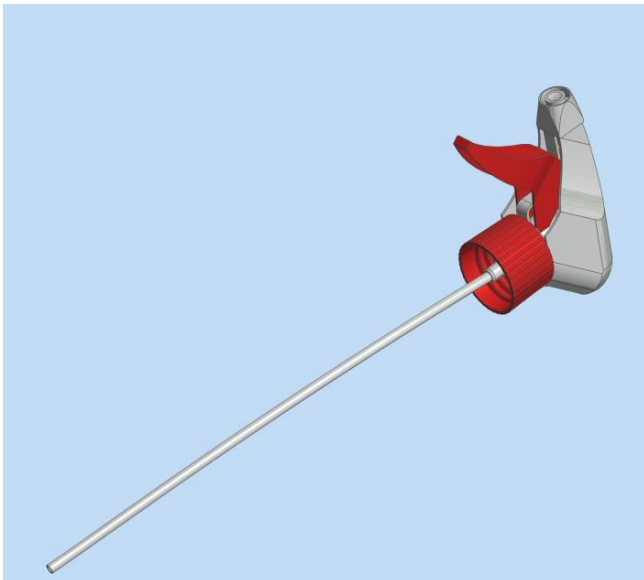
**Ключови думи:** ориентиране, функционална зона на ориентиращите елементи, автоматичен ориентатор.

## I. УВОД

Капачките тип пулверизиращи помпи (фиг 1.) се използват все по-масово в бита, което предполага необходимостта от производството на съответни машини и устройства за ориентиране пълнене със съответен хим. флуид в дизайнерски оформени бутилки, ориентиране, водене, манипулиране и монтаж чрез навиване на помпите.

## II. ИЗБОР НА ТИП ОРИЕНТИРАЩО УСТРОЙСТВО

Съобразявайки се с размерите на детайл помпа - 280 mm дължина, 90 mm ширина и 30 mm диаметър на капачката, както с необходимата производителност - повече от 50 бр/мин, бе избран многогнездов наклонен ротационен ориентатор



Фиг. 1.



Фиг. 2.

## III. ДЕФИНИРАНЕ НА НЕОБХОДИМИТЕ ФУНКЦИИ ПРИ ОРИЕНТИРАНЕ НА ПОМПИТЕ

Детайлите се изсипват равномерно във времето върху наклонената повърхност на ориентиращото устройство посредством вибрационен предбункерен дозатор с контейнер съдържащ необходимото количество за изискваната автономна работа. След падане върху наклонената повърхност детайлите се плъзгат гравитационно в долната част на диска. Първата функция е отделяне на един детайл от общото количество. Тази функция определя и първата функционална зона в ориентатора - долния сегмент от диска. За да се отделят детайлите се оформят множество гнезда, всяко от които побира само една глава на детайла. Поради спецификата на помпата, центъра на тежестта е в горния край, малко над зоната за навиване, което естествено завърта повечето от детайлите по време на падане с помпения механизъм надолу. Голям процент от детайлите се позиционират правилно в гнездата, а част от тях заемат случайни положения в долния край на диска. Формата и преградите на гнездото не позволяват неориентираните детайли да влезнат напълно в него. На този етап не е необходимо ориентиране на детайла около оста на капачката и той заема едно от възможните две положения - с дръжката напред или обратното.

Фтората функция на ориентатора е отстраняване на неориентираните и неправилно позиционирани детайли от гнездата, което оформя и втората функционална зона.

При изкачването нагоре правилно ориентираните детайли се задържат от оформен ръб, където се закача капачката. Към недвижешите се ограничителни са поставени дюзи, които съвместно с гравитацията събарят неориентираните детайли и те се оказват отново върху наклонения диск и падат към първа функционална зона за ново пренареждане.

Диска се върти обратно на часовниковата стрелка и подходящо място за втора функционална зона е над средата на диска, където гравитацията също помага за отделянето на детайлите и правилното попадане в средата на първа зона.

След отделяне на неправилно ориентираните детайли следва функция извеждане от гнездата извън диска и подаване към пневмогравитационен път за транспорт.

За целта се оформя в горния край на диска (фиг.3) механичен отражател под подходящ ъгъл, като силите между него, детайла и опорната преграда, извеждат главата нат гнездото. В тази зона е премахнат вертикалният затварящ гнездата пръстен.

Пневмогравитационния път е поставен под такъв ъгъл, че след попадане на главата на помпата в него, засмукващия шлаух за течността се повдига над ребрата на гнездата и детайла се освобождава от диска.

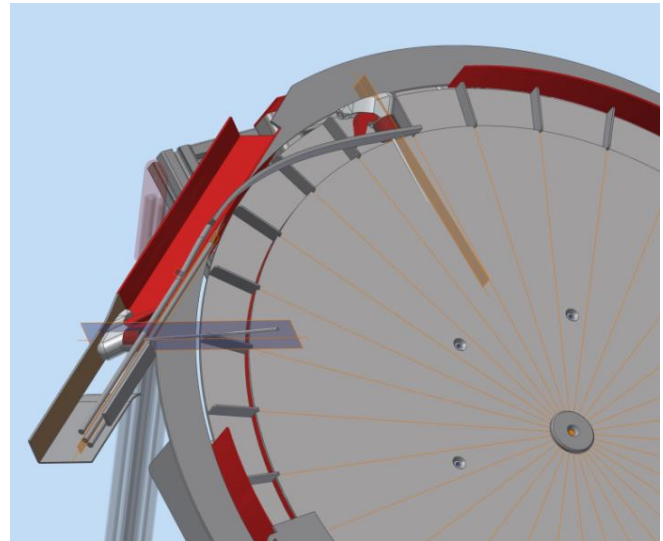
Следващата функция е обръщане на всички детайли в една посока - с дръжката назад. Функционалната зона и съответното ориентиращо устройство (фиг.4) се оформя по следния начин - по пътя се оставя отвор в долния край, а детайла се води двустранно по шлауха. С помощта на гравитация и дюзи детайла се завърта с дръжката към отвора и във края му е оформен плавен преход. Всички детайли с дръжката напред се завъртат на 180 градуса, а тези, които се движат обратно се завъртат на 90 и отново обратно в същата ориентация.

Последната функция е ротация на помпата заедно с водачите на пътя до вертикално положение с глава нагоре и засмукващ шлаух надолу. Това се извършва при движението при спускане по гравитационния път надолу, което оформя и последната функционална зона.

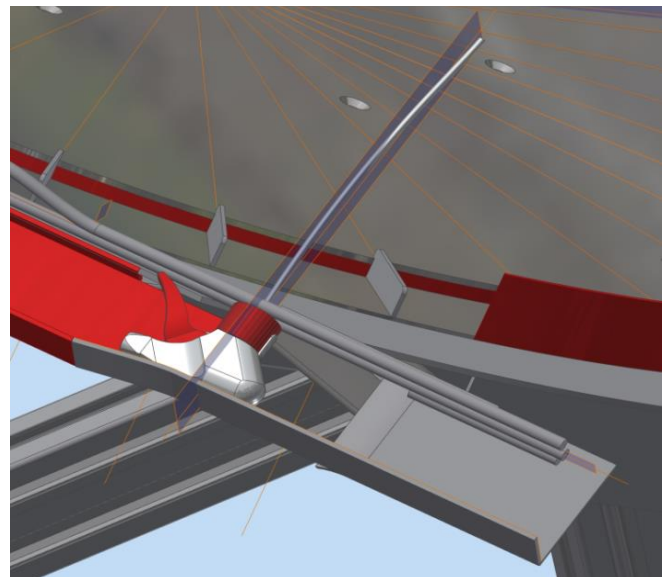
Параметри на устройството за ориентиране са ъгъла на наклон и скоростта на въртене на диска.

Ъгъла се определя от оптимизацията между скоростта на падане на детайлите към първа функционална зона и функцията на трета зона - евакуация на помпата от ротатора. В конструкцията е предвидена възможност за настройка

Скоростта на ротация от една страна зависи от възможността за детайлите за преориентиране при контакта с механичния отражател в зона 3 и гравитационното ориентиране в зона 4. Освен това скоростта на въртене се определя и от достигането на желаната производителност. При възможно най ниска скорост безопасността на работа (например заклиняване на детайли) се увеличава. Реално устройство - фиг.5.



Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.



---

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

[1] <http://kms-e.de/en/company/>

## **DEFINITION OF PARAMETERS, FUNCTIONS, FUNCTIONAL AREAS AND ELEMENTS OF ORIENTATION DEVICE FOR CAPS TYPE SPRAYERS PUMPS**

Valko Mitev  
KMS Engineering OOD  
Plovdiv, Bulgaria  
e-mail: office@kms-e.com

Kiril Mitev  
KMS Engineering OOD  
Plovdiv, Bulgaria  
e-mail: office@kms-e.com

**Abstract:** When constructing a new device for orienting parts after selecting the type, it is necessary to define the functions for manipulating and sorting the flow of parts, as well as the arrangement, size and order of the functional areas in the device itself.

# ПРОЕКТИРАНЕ НА ОРИЕНТАТОР ЗА ДЪЛГИ ВИНТОВЕ С РАЗЛИЧНИ ДЪЛЖИНИ

Пенко Митев  
 КМС Инженеринг ООД  
 Пловдив, България  
 e-mail: penko.mitev@kms-e.com

**Резюме:** Докладът разглежда процеса на проектиране на ориентатор за дълги винтове. Разгледани са стъпките от CAD дизайн до реализация и практическо изследване.

**Ключови думи:** ориентатор за винтове

## I. ВЪВЕДЕНИЕ

Докладът разглежда реален проект, в който е проектиран ориентатор за дълги винтове, който намира приложение при фабрика, произвеждаща крепежни изделия за дървени конструкции. При крайния клиент няма точно такива устройства, предизвикателството е прието.

Общо етапите са показани на фиг. 1



Фиг. 1. Основни етапи по проекта








## II. РАБОТА ПО ПРОЕКТА

### A. Оформяне на техническо задание

Техническото задание се оформя съвместно с клиента и в него са поместени основните параметри, на които трябва да отговаря съоръжението, в случая „ориентатор за винтове”.

- Вид винтове: за дърво
- Диаметър при резбата – Ф6 – Ф8 mm
- Дължина 180 – 340 mm
- Производителност  $\geq 30$  бр / мин
- Надеждна работа без спираня поради отсъствие на персонал, който да надзирава системата

Видовете винтове, с които трябва да работи системата, са показани на фиг.2.

	Bezeichnung	Stufenkopf			
	Nenn Durchmesser in mm	Ø 6	Ø 8	Ø 10	
	Kopfdurchmesser in mm	12,70 - 14,30	17,50 - 19,00	21,40 - 23,60	
	Schaftdurchmesser in mm	4,35	5,8	7,25	
	Bezeichnung	FPF Senkkopf			
	Nenn Durchmesser in mm		Ø 8	Ø 10	
	Kopfdurchmesser in mm		14,20 - 14,70	18,00 - 18,50	
	Schaftdurchmesser in mm		5,8	6,9	
			180 - 600	180 - 600	
	Bezeichnung	FPF Schebenkopf			
	Nenn Durchmesser in mm		Ø 8	Ø 10	
	Kopfdurchmesser in mm		20,00 - 22,00	24,00 - 26,00	
	Schaftdurchmesser in mm		5,8	6,9	
	Bezeichnung	Assy Senkkopf			
	Nenn Durchmesser in mm	Ø 6	Ø 7	Ø 8	Ø 10
	Kopfdurchmesser in mm	11,50 - 12,00	13,15 - 13,85	14,40 - 15,10	17,80 - 18,60
	Schaftdurchmesser in mm	4,35	4,9	5,8	7,25
					8,3
	Bezeichnung	Assy Schebenkopf			
	Nenn Durchmesser in mm	Ø 6	Ø 7	Ø 8	Ø 10
	Kopfdurchmesser in mm	13,50 - 14,50	13,50 - 14,50	21,00 - 23,00	24,00 - 26,00
	Schaftdurchmesser in mm	4,35	4,9	5,8	7,25
					8,3
	Bezeichnung	Assy VG Zylko			
	Nenn Durchmesser in mm	Ø 6	Ø 8	Ø 10	Ø 12
	Kopfdurchmesser in mm	7,85 - 8,15	9,60 - 10,20	13,00 - 13,40	?
	Schaftdurchmesser in mm		Volllgewinde	Volllgewinde	Volllgewinde
	Bezeichnung	Assy VG SeFRT			
	Nenn Durchmesser in mm	Ø 6	Ø 8	Ø 10	Ø 12
	Kopfdurchmesser in mm	11,5 - 12,00	14,4 - 15,10	17,8 - 18,60	21,8 - 22,60
	Schaftdurchmesser in mm		Volllgewinde	Volllgewinde	Volllgewinde
	Alle Ausführungen Länge	180 - 340 mm			

Фиг. 2. Видове винтове

### B. Договор и условия

Вторият основен етап е да се договорят условията за съвместна работа и ангажиментите на страните. Етапът не е за подценяване и е еднакво важен с техническите договори. Например, трябва да се дефинира качеството на детайлите под формата на чертеж с толеранси и отклонения от форма, който да се подпише от двете страни. В последствие той служи като основа за проектирането и ако по-нататък в проекта клиентът достави негодни детайли, изпълнителят не е виновен за това, че съоръжението не работи с тях. В конкретния случай се касае за винтове с различни форми на главата, различни диаметри и дължини. Трябва да се обърне сериозно внимание на сходствата между тях, да се направи анализ на тези параметри и да се прецени дали има решение, което обединява всички тях или да се информира клиента за невъзможността за работа с даден тип. Ако всичко това се пропусне на този етап, то се залага в договора като изискване, след което ще бъде част от критериите за приемане.

### C. CAD Конструиране

Конструирането се извършва на база техническото задание в CAD среда. Предвид различните типове глави, както и големия обхват на дължините трябва да се изгради универсално устройство без пренастройка или с пренастройка в рамките на няколко минути.

Концепцията е за високо-производително устройство, което да получава синхронно порции от винтове и да ги

ориентира еднакво, след което да ги предава на друга машина, с цел по-нататъчен транспорт по линията.

Поради естеството на детайлите, те НЕ са подходящи както за вибробункер, така и за ротационен ориентатор. Възможно решение е стъпков елеватор, но той няма да даде необходимата производителност, а големият обхват на дължината ще доведе до трудност при работа с покъси винтове.

Решението се насочва към проектиране на специален линеен вибрационен транспортър, подобен на виброшина, но задвижван от ексцентрик, а не от електромагнит.

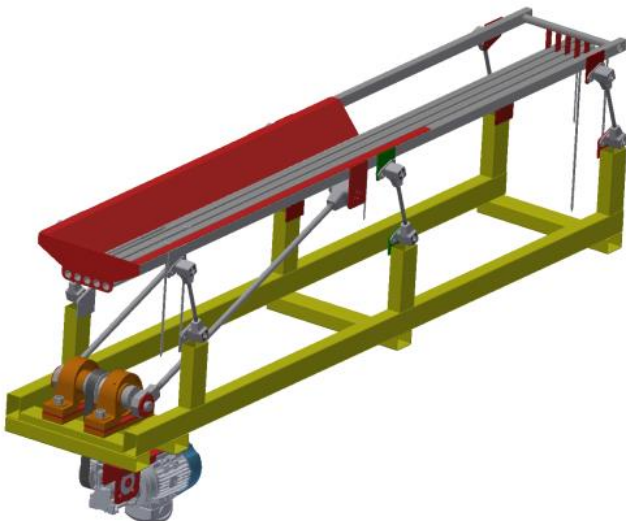
Общата рама е заварена конструкция от тръби, заварени чрез технология ВИГ. Задвижването на долната маса е чрез мотор-редуктор, който е закрепен към рамата чрез заварена плоча, позволяваща регулиране на позицията.

Горната маса представлява линеен участък от наредени кръгли профили, разположение на дистанция така, че да могат да работят с различните глави на винтовете. Тя е окачена на еластични елементи, за долната част.

На изхода, винтовете се ориентират еднотипно – висящи на главите си, след което попадат в друго устройство.

Системата е снабдена с устройство за регулиране на скоростта, което да позволи откриването на оптималната настройка, а и да позволи експериментално изследване на работата на устройството при различни скорости.

На фиг. 3 е показан 3D моделът на устройството



Фиг. 3. 3D модел

#### *D. Производство*

Заварката на рамата се прави по технология ВИГ (аргон). Изгражда се концепция за последователността, за да се избегнат измътания, които после биха пречили на нормалната работа.

Предварително е сглобен възелът на оста, окачва се мотор-редукторът.

Горната маса се заварява отделно предварително, като се обръща сериозно внимание на междуцентровите разстояния на водачите защото това е най-важното условие за правилната работа на устройството. Разстоянието трябва да е номинално и по цялата дължина, без стеснения и по-широки участъци.

Най-тежкия процес е окачването на горната и долната маса към еластичните елементи. Той изисква подемна техника и участието на трима монтажници.



Фиг. 4. Процес на сглобяване

### III. ОРИЕНТИРАНЕ ИЗПИТАНИЯ

След като устройството е готово следват изпитания. Първоначално се пуска на празен ход, без детайли (винтове), за да се оцени дали е сглобено правилно и дали изработката отговаря на конструкторската документация. Прави се тест от 30 минути непрекъсната работа.

Следващият етап е да се поставят винтове и да се наблюдава поведението им по цялата дължина на горната маса. Това е етапът на работа по ориентирането, трябва да се тестват всички видове винтове продължително време.

### IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА

Един от най-важните показатели на всяка захранваща система, без значение от типа, е производителността, която предоставя.

Производителността е брой ориентирани детайли за единица време. Най-често се дефинира като брой детайли в минута или брой детайли на час. Когато се прави засичане на производителността е добре да се направи засичане за две, пет или петнадесет минути и да се вземе средно-аритметична стойност. По този начин се прави усредняване.

В текущия проект беше направено експериментално изследване на производителността, за да се прецени дали тя отговаря на изискванията.



ТАБЛ. 1 РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА

Опит №	Брой детайли	Време	Детайли в мин
1	90бр	2 мин	45 бр
2	78бр	2мин	39 бр
3	92 бр	2 мин	46 бр

От поместените в таблицата данни, може да се направи обоснован извод, че върху производителността влияят редица фактори, като например:

- Колко синхронно се подават винтове от предишното устройство
- Степента на оплитане и дали винтовете успяват да се разплетат в течение на дължината на горната маса

#### V. ПРИЕМАНЕ И ПАКЕТИРАНЕ

След като е приключена работата по ориентирането се прави подробен видео филм и се изпраща на клиента за одобрение.

#### VI. ИЗВОДИ

Работата в CAD среда значително улеснява процеса на измисляне (конструиране) на съоръжението. Могат да се направят различни симулации, така че процесът да е възможно най-точен теоретично, преди производство, за да не стига до детайли, които да са брак.

Договорите с клиента са еднакво важни с техническите параметри, за да не може той да прави

промени по време на проекта, след като е започнал, които да опитва да оправдае с аргументи като:

- „Аз мислех, че така ще го направите”
- „Най-съвременните системи са така направени”

Клиентите често променят своето мнение включително и след посещение на технически панаири по света и тези явления не са рядкост. Всяка допълнителна работа, която не е уговорена представително, следва да е обект на отделна договорка.

Конкретно проектираното устройство е уникално по рода си защото комбинира принципите на линейните вибрационни транспортъори (виброшини), но отхвърля техните ограничения в дължината и в конкретния случай е реализирано устройство с дължина 2 метра. Необходимата производителност от 30 бр / мин е постигната. Не е проблем да се реализират и далеч по-дълги съоръжения, както и да се адаптират за други детайли.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Личен архив

## DESIGN OF FEEDER FOR LONG SCREWS WITH VARIOUS LENGTHS

Penko Mitev  
KMS Engineering OOD  
Plovdiv, Bulgaria  
e-mail: office@kms-e.com

**Abstract:** The material focuses on the design process of feeder for long screws. Covered are the steps from negotiations with the customer, CAD design, production as well as practical study on the feed rate.



## ИЗБОР НА ЗАДВИЖВАНЕ ЗА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО

Ренета Димитрова  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: rkd@tu-sofia.bg или ORCID

Атанас Велков  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: atanaselkov18@gmail.com

Слав Димитров  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

**Резюме:** Настоящата статия представя избор и изчисления на задвижване за новопроектиран автоматизиран стенд за отпечатване на Брайлово писмо върху тънки метални повърхности. Максималната работна площ е А5. С настоящата статия се цели разработване на нискостойностен автоматизиран стенд за изследване на процесите по изработка на елементи от тънки метални повърхности за незрящи.

**Ключови думи:** автоматизация, Брайлово писмо, задвижване, винто-гаечна предавка, метална повърхност.

### I. УВОД

Над 39 милиона души в света са загубили частично или напълно зрението си, което сериозно затруднява възприятието им за околния свят. През годините човечеството е намерило решение на някои от техните проблеми, като едно от най-значимите е Брайловата азбука. Тя се използва и при създаване на помощни знаци за хора с нарушено зрение (ADA sign). Обикновено те представляват метални пластини на които има допълнително описание за незрящи [6].



Фиг. 1. Пример за ADA помощни знаци [11].

### II. МЕТОДИ ЗА ИЗПИСВАНЕ НА БРАЙЛОВА АЗБУКА

#### A. Ръчно изписване

Това изписване се осъществява чрез употребата на Брайлова плоча с разделени клетки, шило и твърд картон. Това е най-бюджетния вариант за писане.

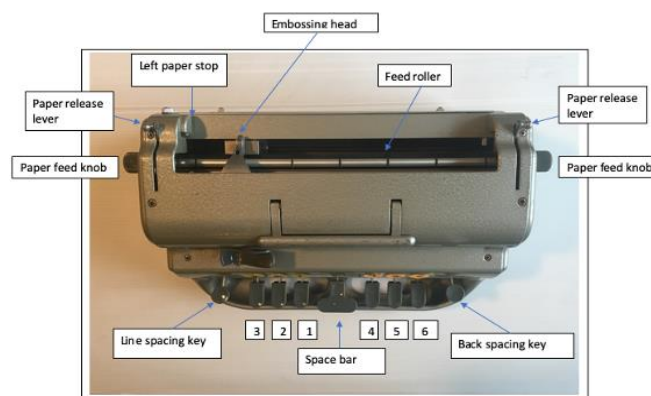
#### B. Брайлова пишеща машина

Писането чрез Брайлова пишеща машина е по-бързия и практикуван начин. Прилича на обикновените механични пишещи машини с разликата, че има по-малко клавиша. Шест от тях отговарят за специфичните точки които образуват Брайловите символи (за разстояние, за нов ред и за изтриване на последния символ).

При Брайловото писане няма как да се изтрие последният символ и затова е прието при допускане на грешка, тя да се зачертава чрез изписване на шестточия. Недостатък на тези машини е скъпата им цена, като най-бюджетните модели започват от 1300 [лв.] [9].



Фиг. 2. Брайлова плоча [7].



Фиг. 3. Основни клавиши на Брайлова пишеща машина [8].



Фиг. 4. Брайлов принтер [10].

### С. Брайлов принтер

Най-удобният и лесен за използване начин за изписване на Брайлово писмо е Брайлов принтер. Текста се подава директно от компютър, а принтера го конвертира в Брайлова азбука.

Предимствата са: бързина, както и липса на човешка грешка, а недостатък – високата цена. Цените варират от 1800 до 5000 долара, а професионалните могат да стигнат до 80 000 долара [10].

### III. СТАНДАРТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА БРАЙЛОВА АЗБУКА

За изписване на Брайловата азбука има два стандарта [12]:

#### А. При изписване върху хартия:

Използват се стойностите зададени от “Specification 800 от Braille Books and Pamphlet” от февруари 2008.

- Номиналната височина на всяка точка е 0,48 [mm].
- Номиналният диаметър на точката в основата е 1,44 [mm].
- Номиналното разстояние между центровете на 2 съседни точки (хоризонтално или вертикално) в една клетка е 2,34 [mm].
- Номиналното разстояние между центровете на 2 съседни точки от различни клетки е 6,2 [mm].
- Номиналното разстояние между два реда съседни клетки е 10 [mm].

#### В. При изписване върху помощни знаци (ADA signs):

Няма универсален стандарт, но най-често използвания е “American National Standard: Accessible and Usable Buildings and Facilities: 2003: ICC/ANSI A117.1-2003. P151-163”.

- Задължително използване на Брайлова азбука от второ ниво.
- Номинален височина на всяка точка е 0,75 [mm].
- Номиналният диаметър на точката в основата е 1,55 [mm].
- Номиналното разстояние между центровете на 2 съседни точки (хоризонтално или вертикално) в една клетка е 2,45 [mm].
- Номиналното разстояние между центровете на 2 съседни точки от различни клетки е 6,8 [mm].
- Номиналното разстояние между два реда в съседни клетки е 10,1 [mm].

През 1904 г. Брайловата азбука се адаптира и за българския език, а през 1928 г. в гр. София е основано националното читалище за незрящи хора, разполагащо с над 2000 книги за тях.

### IV. ИЗБОР НА ЗАДВИЖВАНЕ ЗА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО

За проектиране на стенд за отпечатване на Брайлово писмо, движещ се по осите  $x$  и  $y$  е необходимо да отговаря на следните параметри:

- Маса на премествания обект (ос  $X$ ) – 5 [kg].
- Маса на премествания обект (ос  $Y$ ) – 10 [kg].
- Номинална линейна скорост по ос  $X$  - 0,8 [m/s].
- Номинална линейна скорост по ос  $Y$  - 0,8 [m/s].
- Дължина на ход по ос  $X$  – 330 [mm].
- Дължина на ход по ос  $Y$  – 550 [mm].
- Дълготрайност – 30 000 [h].
- Ускорение до номинална скорост – 0,2 [s].
- Точност на позициониране -  $\pm 0,1$  [mm].

#### А. Избор на задвижване

Задвижващия механизъм, който ще се използва за преобразуване на ротационното движение в линейно по двете оси ( $X$ ,  $Y$ ) е винто-гаечна предавка. Ротационното движение се осъществява от електро двигател, който е свързан с винта на винто-гаечна предавки чрез съединител. Този вид механизми притежават следните предимства:

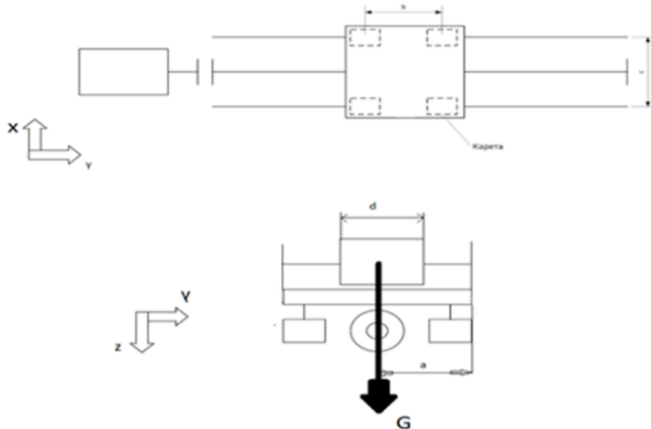
- Висока точност.
- Голяма товароносимост.
- Високо К.П.Д.
- Малко износване.

За целта на проекта ще се използват две винто-гаечни предавки разположени перпендикулярно една спрямо друга. Необходимо да се направят следните изчисления:

- Изчисления на плъзгащите лагери на направляващите и на двете оси.
- Изчисления на направляващите и на двете оси.
- Изчисления на гайката и на двете оси.
- Изчисления на винта и на двете оси.
- Изчисления на електро двигателите

#### В. Избор на направляващи

Избора на направляващите и плъзгащите лагери се извършва въз основа на зададените стойности за товароносимост и за скоростта на движение на самата винто-гаечна предавка. По задание няма други сили, които да действат върху направляващите освен натоварването на задвижващия механизъм като цяло.



Фиг. 5. Схема на разположение на каретата и външните сили.

На фиг.5 са показани две схеми, първата схема описва разположението на каретата, движеща се по направляващите. Направляващите са четири на брой (две за вертикално и две за хоризонтално движение), целта е равномерно разпределяне на товара. На втората схема е показана гравитационната сила, която действа върху задвижващия механизъм.

C. Сила на външно натоварване – „ $F_m$ “ по ос X.

$$F_m = \frac{G}{4} = \frac{m \cdot g}{4} = \frac{15 \cdot 9.81}{4} = 45,98 \text{ [N]} \quad (1)$$

където:

G е сила на тежестта;

m - маса на външния товар;

g - гравитационна сила.

D. Динамична товароносимост – „C“ по ос X.

$$C = \frac{F_m}{fh \cdot ft \cdot fl \cdot fs} = \frac{45,98}{1 \cdot 1 \cdot 0,118 \cdot 1} = 38,96 \text{ [N]} \quad (2)$$

където:

fh е коефициент на сигурност отчитащ твърдостта на цилиндричната направляваща;

ft – коефициент на сигурност отчитащ работната температура;

fl – коефициент на сигурност отчитащ изискваната дълготрайност;

fs – коефициент на сигурност отчитащ наличието на къс ход.

E. Дълготрайност – „L“ по ос X.

$$L = \frac{60 \cdot Ld \cdot n \cdot Ls}{1000} = \frac{60 \cdot 30000 \cdot 48 \cdot 327,5}{1000} = 28229600 \text{ [m]} \quad (3)$$

където:

L е изискваната дълготрайност в метри [m];

Ld – изискваната дълготрайност в часове [h];

n – броят пъти, които се изминава работния ход за минута [ $\text{min}^{-1}$ ];

Ls – дължината на работния ход [mm].

Прието е, че  $n = 48 \text{ [min}^{-1}]$  изхождайки от номиналната скорост, която по задание е  $0,8 \text{ [m/s]}$  или  $48 \text{ [m/min]}$ . С тази скорост е възможно работния ход да бъде изминат 48 пъти в минута.

Спрямо изчисленията е избран плъзгащ лагер от каталога “smarthost.maedler.de” с порт номер: 64660606.

Дълготрайността в метри за избраната втулка е:

$$L = \left( \frac{c \cdot fh \cdot ft \cdot fs}{F_m} \right)^3 \cdot 10^5 = 84732,49 \text{ [m]} \quad (4)$$

Дълготрайността в часове Lh е:

$$Lh = \frac{1000 \cdot L}{60 \cdot n \cdot Ls} = \frac{84732,49 \cdot 1000}{60 \cdot 48 \cdot 1000} = 29421 \text{ [h]} \quad (5)$$

Избраният плъзгащ лагер не може да издържи на зададеното време за дълготрайност, поради което се избира следващия по големина от каталога с партиден номер: 64651010 и с параметри - Lh- 82 103 [h], L=236 457 484 [m].

F. Коефициент на сигурност – „ $S_0$ “ по ос X.

$$S_0 = \frac{C_0}{F_m} = \frac{355}{45,98} = 7,720 \quad (6)$$

където:

$S_0$  е коефициент на сигурност за статично натоварване;

$C_0$  - (зададено от производителя) статичната товароносимост на избраната сачмена втулка [N].

Производителят препоръчва коефициентът на сигурност за статично натоварване при неизвестни параметри на натоварването да е в границите от 6 до 15. ( $6 \leq S_0 \leq 15$ ) Избраната втулка изпълнява условието за коефициент на сигурност.

G. Сила на външно натоварване – „ $F_m$ “ по ос Y.

$$F_m = \frac{G}{4} = \frac{m \cdot g}{4} = \frac{10 \cdot 9.81}{4} = 24,53 \text{ [N]} \quad (7)$$

H. Динамична товароносимост – „C“ по ос Y.

$$C = \frac{F_m}{fh \cdot ft \cdot fl \cdot fs} = \frac{24,53}{1 \cdot 1 \cdot 0,118 \cdot 1} = 20,78 \text{ [N]} \quad (8)$$

I. Дълготрайност – „L“ по ос Y.

$$L = \frac{60 \cdot Ld \cdot n \cdot Ls}{1000} = \frac{60 \cdot 30000 \cdot 48 \cdot 550}{1000} = 47520000 \text{ [m]} \quad (9)$$

Дълготрайността в метри за избраната втулка е:

$$L = \left( \frac{c \cdot fh \cdot ft \cdot fs}{F_m} \right)^3 \cdot 10^5 = 60761,65 \text{ [m]} \quad (10)$$

Дълготрайността в часове Lh е:

$$Lh = \frac{1000 \cdot L}{60 \cdot n \cdot Ls} = \frac{84732,49 \cdot 1000}{60 \cdot 48 \cdot 1000} = 21108 \text{ [h]} \quad (11)$$

J. Коефициент на сигурност – „ $S_0$ “ по ос Y.

$$S_0 = \frac{C_0}{F_m} = \frac{355}{24,53} = 14,47 \quad (12)$$

K. Ъгъл на провисване на направляващите по ос X.

Направляващите се избират по вече избрания плъзгащ лагер. Производителя (smarthost.maedler.de) задава стойности за направляващата с порт номер: 64751000 с диаметър 10, спрямо параметрите на плъзгащия лагер. Производителят предписва условие за наклона на еластичната линия на цилиндричната направляваща, породен от провисването и, поради външното натоварване.

$$\tan \alpha = \frac{(F_m \cdot m \cdot s \cdot g) \cdot e^2 \cdot b}{2 \cdot EILs} = \frac{(36,78 \cdot 0,394 \cdot 9,81) \cdot 425^2 \cdot 150}{2 \cdot 0,84 \cdot 10^{12}} = 6,55 \cdot 10^{-4} \quad (13)$$

$$\alpha = 0.022^\circ \quad (14)$$

където:

$\alpha$  – ъгълът на наклона на неутралната линия на направляващата под сачмената втулка [°];

$m_s$  – масата на направляващата [kg];

$e$  – разстоянието от опората на направляващата до сачмената втулка [mm];

$b$  – разстоянието между две съчмани втулки в направление по ос  $x$  [mm];

$E$  – модул на еластичност на направляващата [N/mm<sup>2</sup>];

$I$  – инерционен момент на сечението на направляващата [mm<sup>4</sup>].

Производителят дава стойности за произведението  $E \cdot I = 0.84$  [N/mm<sup>2</sup>], затова тази стойност е заместена директно, а не са замествани поотделно  $E$  и  $I$ . За направляваща с  $d = 10$  [mm], производителя препоръчва  $\alpha < 0,0524^\circ$ . Това означава, че избраната направляваща отговаря на условието на заданието.

*L. Ъгъл на провисване на направляващите по ос Y*

$$\tan \alpha = \frac{(F_m + m_s \cdot g) \cdot e^2 \cdot b}{2EI_s} = \frac{(36.78 + 0.374 \cdot 9.81) \cdot 425^2 \cdot 275}{2 \cdot 0.84 \cdot 10^{12}} = 6.55 \cdot 10^{-4} \quad (15)$$

$$\alpha = 0.015^\circ$$

*M. Избор на винт по ос X*

Спрямо избрания материал за винта (C15), производителя задава следните параметри:

- Якост опън/натиск  $\sigma = 800$  [MPa]
- Якост на усукване  $\tau = 565$  [MPa]

По задание номиналната скорост е  $V = 0,8$  [m/s], а времето за ускорение е  $t_a = 0,2$  [s].

Аксиалната сила, която действа на винта се изчислява по следния начин:

$$F_a = (m \cdot a) + F_{\text{тр.ст}} = (15 \cdot 4) + 0.44 = 20.44 \text{ [N]} \quad (16)$$

където:

$m$  – е товара;

$F_{\text{тр.ст}}$  – статична сила на триене между направляващите и втулката.

$$F_{\text{тр.ст}} = F \cdot \mu_{\text{ст.}} = 147,15 \cdot 0,003 = 0,44 \text{ [N]} \quad (17)$$

където:

$F$  е еквивалентна сила приложена на каретата;

$\mu_{\text{ст.}}$  – статичен коефициент на триене между направляващите и втулките.

Изчислен е вътрешен диаметър на винта  $d_{3\text{изч.}}$  [mm].

$$d_{3\text{изч.}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot K_{\text{ус.}} \cdot F_a}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.5 \cdot 60.44}{\pi \cdot 800 \cdot 10^6}} = (2.209 \cdot 10^{-4}) \cdot 1000 = 0.209 \text{ [mm]} \quad (18)$$

където:

$K_{\text{ус.}}$  е коефициент отчитащ усукването варира от 1.3 до 1.5.

Спрямо тези изчисления се избира най-малкия винт по каталог на производителя „Norelem“ с артикулен номер: 24000-081511X1000 със следните параметри:

- избраният вътрешен диаметър на винта  $d_3 = 5,921$  [mm];
- броят на ходовете на резбата е  $i [=] = 1$ ;
- статичния коефициент на триене е  $\mu_{\text{ст.}} = 0,19$ ;
- Стъпковия диаметър на резбата  $d_2 = 7,013$  [mm];
- стъпката на резбата е 1;
- профилния ъгъл  $\alpha = 30$  [deg];
- номиналният диаметър на резбата  $d = 10$  [mm].

Прави се проверка на винтовото стебло срещу устойчивост на изкълчване.

$$\sigma_{\text{нат.}} = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot d_3^2} = \left( \frac{4 \cdot 20.44}{\pi \cdot (5.921 \cdot 10^{-3})^2} \right) \cdot 10^6 = 0,742 \text{ [MPa]} \quad (19)$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot \beta \cdot L}{d_3} = \frac{4 \cdot 0.7 \cdot 327.5}{5.921} = 154.87 \quad (20)$$

където:

$\sigma_{\text{нат.}}$  е якост на натиск на избрания винт;

$\beta = 0,7$  – коефициент отчитащ закрепянето на винта намиращ се между (0,2 и 0,7). За конзолно закрепяне се избира 0,2, а за закрепяне от двете страни се избира 0,7;

$\lambda$  – устойчивост на изкълчване.

Избрания винт отговаря на изискването  $\lambda > 100$ .

*N. Избор на винт по ос Y*

Аксиалната сила, която действа на винта е:

$$F_a = (m \cdot a) + F_{\text{тр.ст}} = (10 \cdot 4) + 0.44 = 40.44 \text{ [N]} \quad (21)$$

Статичната сила на триене между направляващите и втулката е:

$$F_{\text{тр.ст}} = F \cdot \mu_{\text{ст.}} = 147,15 \cdot 0,003 = 0,44 \text{ [N]} \quad (22)$$

Изчислен е вътрешен диаметър на винта  $d_{3\text{изч.}}$  [mm].

$$d_{3\text{изч.}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot K_{\text{ус.}} \cdot F_a}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.5 \cdot 40.44}{\pi \cdot 800 \cdot 10^6}} = (3.79 \cdot 10^{-4}) \cdot 1000 = 0.3107 \text{ [mm]} \quad (23)$$

Прави се проверка на винтовото стебло срещу устойчивост на изкълчване.

$$\sigma_{\text{нат.}} = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot d_3^2} = \left( \frac{4 \cdot 40.44}{\pi \cdot (5.921 \cdot 10^{-3})^2} \right) \cdot 10^6 = 1.468 \text{ [MPa]} \quad (24)$$

$$\lambda = \frac{4 \cdot \beta \cdot L}{d_3} = \frac{4 \cdot 0.7 \cdot 550}{5.921} = 260.091 \quad (25)$$

*O. Избор на гайки за предавките и за двата винта*

Гайката се избира спрямо винта с резба 16x1 от от производител „kettenfuchs.partcommunity.com“ part. Artikel-Nr. EFM-16x1-RH и има следните параметри:

- Минимален външен диаметър на гайката  $DG = 32$  [mm];
- диаметър на фланеца  $DF = 55$  [mm];

- дължина  $L1 = 44$  [mm];
- дебелина на фланеца  $HF = 12$  [mm];

Необходимо е да се направят проверки на избраната гайка за:

- Параметрите на материала.
- Коефициента отчитащ усукването  $K=K_{ус} = 1,5$ .
- Якостта на срязване  $\tau = 235$  [Мра].
- Якостта на опън  $\sigma_{оп} = 25$  [Мра].
- Якостта на натиск  $\sigma_{нат} = 75$  [Мра].
- Якостта на смачкване  $\sigma_{см} = 40$  [Мра].
- Якостта на огъване  $\sigma_{ог} = 40$  [Мра].

Изчислява се минималният брой навивки на гайката:

$$z_{изч} \geq \frac{4 \cdot Fa}{\pi \cdot (d^2 - D^2)} \cdot [P] \cdot \varepsilon = \frac{4 \cdot 40,44}{3,14 \cdot 16^2 - 14,6^2} \cdot 8 \cdot 0,6 = 1,3145 \quad (26)$$

където:

$d$  - номинален диаметър на резбата

$D$  - минимален малък диаметър на резбата на гайката

$P = 8$  [Мра] - допустимо налягане на материала.

$\varepsilon = [0,6]$  - коефициент на неравномерно натоварване на навивките (0,5/0,7)

Избира се минималният брой навивки на гайката да бъде  $z = 7$ , от което следва, че дължината на гайката е:

$$H = p \cdot z = 2 \cdot 7 = 14 \text{ [mm]} \quad (27)$$

където:

$p$  – стъпка на резбата

Изчисляване на минималният външен диаметър на гайката  $D_{Гизч}$ :

$$D_{Гизч} = \sqrt{\frac{4 \cdot K \cdot Fa}{\pi \cdot [\sigma_{оп}] + d^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 40,44}{\pi \cdot 25 + 20^2}} = 0,712 \text{ [mm]} \quad (28)$$

От направените изчисления следва, че гайката отговаря на условието  $32 \geq 0,870$ .

Изчисляване на минимален диаметър на смачкване на фланеца  $D_{Физч}$ :

$$D_{Физч} = \sqrt{\frac{4 \cdot Fa}{\pi \cdot [\sigma_{см}] + (Dg + 2 \cdot f)^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 40,44}{\pi \cdot 40 + (32 + 2 \cdot 1,5)^2}} = 0,35 \text{ [mm]}, \quad (29)$$

където:

$f$  е големина на фаската [mm]

От направените изчисления следва, че гайката отговаря на условието  $DF 55 \geq 0,35$  [mm].

Изчисляване на минимална дебелина на фланеца на срязване  $HF_{ср}$ :

$$HF_{ср} \geq \frac{F}{\pi \cdot DG \cdot [\tau_{ср}]} = \frac{40,44}{\pi \cdot 32 \cdot 235} = 0,00171 \text{ [mm]} \quad (30)$$

От направените изчисления следва, че гайката отговаря на условието  $HF - 12 \geq 0,00171$  [mm].

Изчисляване на минимална дебелина на фланеца на огъване  $HF_{ог}$ :

$$HF_{ог} \geq \sqrt{\frac{3F \cdot (DF - DG)}{\pi \cdot DG \cdot [\sigma_{ог}]}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 40,44 \cdot (55 - 32)}{\pi \cdot 32 \cdot 40}} = 0,833 \text{ [mm]} \quad (31)$$

От направените изчисления следва, че гайката отговаря на условието  $HF - 12 \geq 0,833$  [mm].

### *P. Избор на двигатели*

Изчисления необходим въртящ момент за преместване на товара е:

$$TL = \frac{Fa \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{40,44 \cdot 15}{2000 \cdot 3,14 \cdot 0,7} = 0,1379 \text{ [Nm]} \quad (32)$$

където:

$TL$  е моментът породен от товара;

$\eta$  - коефициентът на полезно действие на винтогаечната предавка.

Моментът породен от инерцията на винта е:

$$T_s = J_s \varepsilon = \frac{0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \pi}{0,015 \cdot 180} = 0,00016 \text{ [Nm]} \quad (33)$$

където:

$J_s$  – масовият инерционен момент на винта [kgm<sup>2</sup>];

$\varepsilon$  – ъгловото ускорение на винта [rad/s<sup>2</sup>].

На база на направените изчисления е избран стъпков електро-двигател NEMA 17 от каталог на „exalto“ със следните параметри:

- Модел - SM42HT47-1684A
- Корпус Nema - Nema 17
- Стъпка -  $1,8^\circ \pm 5\%$
- Брой фази – 2
- Работно напрежение – 2,8 [V]
- Работен ток – 1,68 [A]
- Съпротивление на фаза -  $1,65 \pm 10\%$  [ $\Omega$ ]
- Индуктивност на фаза -  $2,3 \pm 10\%$  [mH]
- Въртящ момент – 0,4 [Nm]
- Дължина -  $48 \pm 1$  [mm]
- Тегло – 0,340 [kg]
- Въртящият момент на избраният двигател е  $0,4$  [Nm]  $> 0,198$  [Nm]

Необходимо е да се пресметне точността на избрания двигател, а именно стъпки на двигателя за един оборот  $n_s = 360/1,8$  (стъпка) = 200. Разделителна способност на системата  $CR = 2$  (стъпката на резбата на винта) /  $n_s = 0,01$  [mm].

Изискваната зададена точност е  $0,01$  [mm]  $\geq 0,01$  [mm], следователно двигателя отговаря на условието за точност.

Необходимо е да се пресметнат скоростите на избрания двигател. Приема се трапецовиден закон на движение фиг.6.

$$n_n = \frac{60000(v_{n,max} + v_{n,min})}{2p}, \quad (34)$$

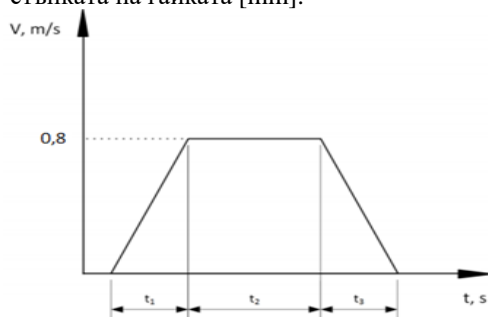
където:

$n_i$  е ъгловата скорост във фаза  $i$  [об./min];

$v_{i,max}$  – максималната линейна скорост във фаза  $i$  [m/s];

$v_{i,min}$  – минималната линейна скорост във фаза  $i$  [m/s];

$p$  – стъпката на гайката [mm].



Фиг. 6. Закон на движение

В таблица 1 са показани ъгловите скорости в отделните фази.

ТАБЛ.2. ОПИСАНИЕ НА ДВИГАТЕЛ. [3].

Фаза на движение	Време	Дял на фазата	Ъглова скорост
1	0,2	8	2400
2	1,25	84	4800
3	0,2	8	2400

## CHOOSING A MOVEMENT FOR AUTOMATED DEVICE FOR PRINTING BRAILLE LETTER

Reneta Dimitrova  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Atanas Velkov  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: atanasvelkov18@gmail.com

Slav Dimitrov  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: sbd@tu-sofia.bg

### БЛАГОДАРНОСТИ

Резултатите в настоящото изследване са получени по проект № 211ПР0006-06/2022 г., финансиран от субсидията за научни изследвания в Технически университет – София.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dimitrov S., L. Dimitrov, R. Dimitrova and S.Nikolov, "Examination of the process of automated closure of containers with screw caps", International Conference on Information Technologies ICIT-2019: Information and Communication Technologies for Industry and Research, 7-8.02.2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, ISBN 9783030120726 (online), 9783030120719 (print), pp. (502-514).
- [2] Dimitrova R., M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX МНТК „АДП – 2020”, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [3] Kambushev M., N. Chivarov, A. Marinov and R. Dimitrova, "Approbation of a mathematical model of a specialized mechatronic system", XI National conference with international participation, Electronica 2020, 23 – 24 July 2020 Sofia, Scopus, IEEE Xplore Digital Library, Scopus database (IEEE Conference record # 50406), 9305150.
- [4] Nikolov S., R. Dimitrova and L. Dimitrov, "Mathematical model of displacements in tools used in boring operations on machining centers", 25th IEEE International Conference on PROBLEMS OF AUTOMATED ELECTRIC DRIVE Theory and practice PAEP 2020, September 21-25, 2020, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University, Ukraine, Scopus, (9240838).
- [5] Nikolov S., R. Dimitrova, I. Topov, New approach at mechanical engraving of details with large sizes, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTech 2019, 10 - 11 November 2019, Scopus, (9128261).
- [6] <https://www.lasereyesurgeryhub.co.uk/data/visual-impairment-blindness-data-statistics/>
- [7] <https://www.wikihow.com/images/thumb/e/e1/Write-in-Braille-Step-4.jpg/aid696339-v4-728px-Write-in-Braille-Step-4.jpg>
- [8] <https://www.pathstoliteracy.org/blog/virtual-introduction-braillewriters>
- [9] <https://shop.bgassist.com/produkt/brailova-mashina-tatrapoint-standard-1/>
- [10] <https://www.afb.org/blindness-and-low-vision/using-technology/assistive-technology-products/braille-printers#:~:text=The%20price%20of%20a%20braille,cost%20between%20%2410%2C000%20and%20%2480%2C000>
- [11] <https://www.datron.com/sign-engraving-with-cnc-machine-including-ada-braille/>
- [12] <https://cdn.instructables.com/ORIG/FZZ/NMZD/JOYNPPJD/FZZN/MZDJOYNPPJD.pdf>

**Abstract:** This article presents drive selection and calculations for a newly designed automated device for printing Braille on thin metal surfaces. The maximum working area is A5. This article aims to develop a low-cost automated device for research on the processes of making elements of thin metal surfaces for the blind.

# ИЗРАБОТВАНЕ НА ПРОТОТИП НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО

Слав Димитров  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Кристиян Бонев  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: solardream96@gmail.com

Габриела Коцева  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: gabriela\_kotseva@abv.bg

**Резюме:** Целта на настоящата разработка е създаване на прототип на проектиран нискостойностен автоматизиран стенд за изследване на процесите по изработка на елементи от тънки метални повърхности за незрящи. За изпълнение на поставената цел е необходимо да се решат следните основни задачи: разработване на 2D конструктивна документация; закупуване на стандартни детайли; изработка на нестандартни детайли и сглобяване на автоматизиран стенд.

**Ключови думи:** автоматизация, Брайлово писмо, задвижване, винто-гаечна предавка, метална повърхност.

## I. УВОД

Обект на настоящата разработка е новопроектиран нискостойностен автоматизиран стенд за изследване на процесите по изработка на елементи от тънки метални повърхности за незрящи, показан на фиг. 1.

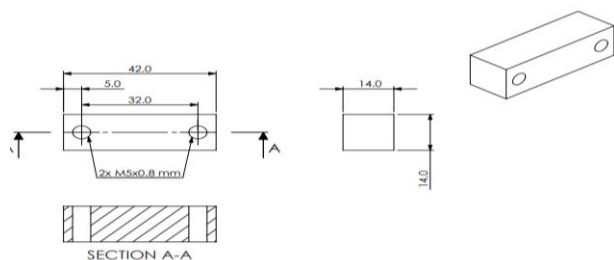


Фиг. 1. 3D модел.

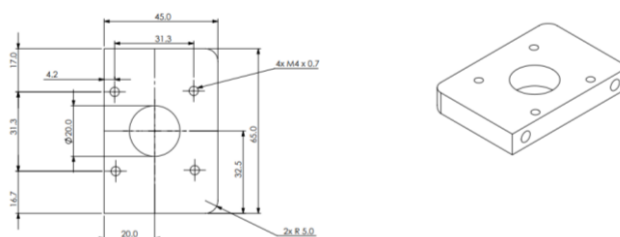
## II. КОНСТРУКТИВНА ДОКУМЕНТАЦИЯ

От фиг. 2 до фиг. 10 са показани част от чертежи в разработената конструктивна документация за автоматизирания стенд.

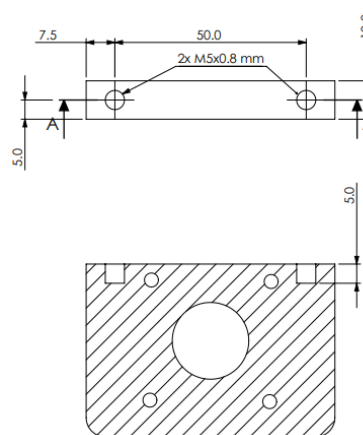
### A. Нестандартни структурни елементи



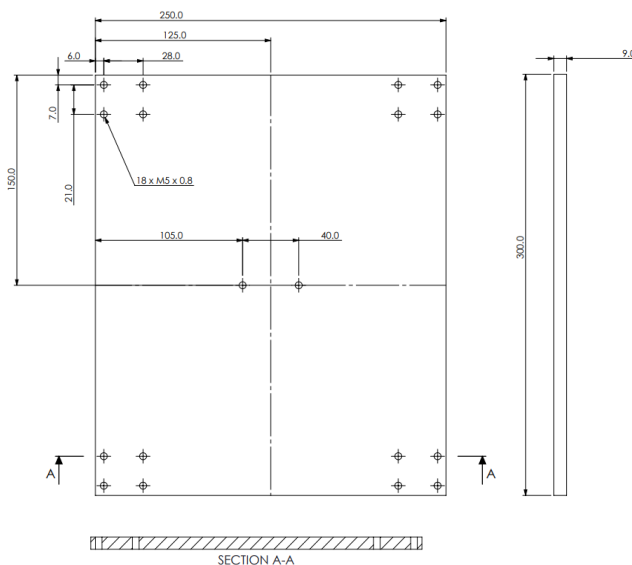
Фиг. 2. Планка държач



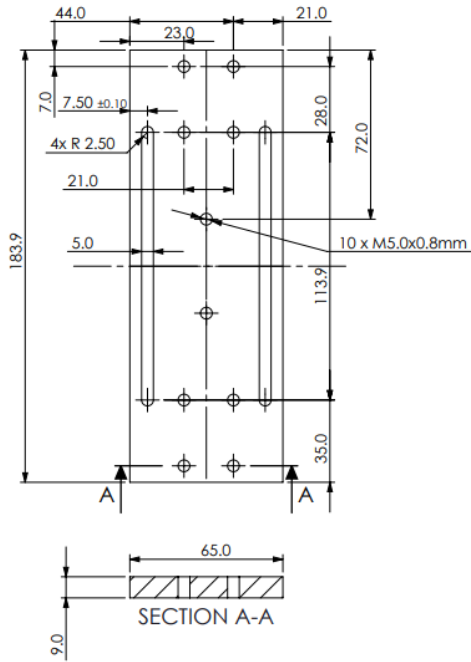
Фиг. 3. Държач цилиндър



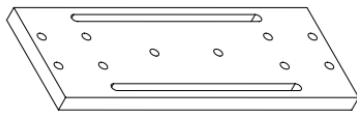
Фиг. 4. Държач цилиндър



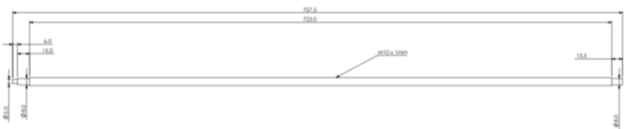
Фиг. 5. Маса хоризонтална



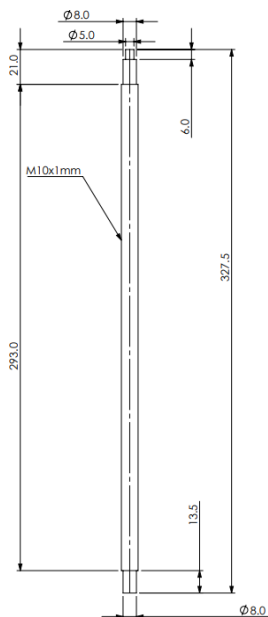
Фиг. 6. Маса вертикална



Фиг. 7. Маса вертикална

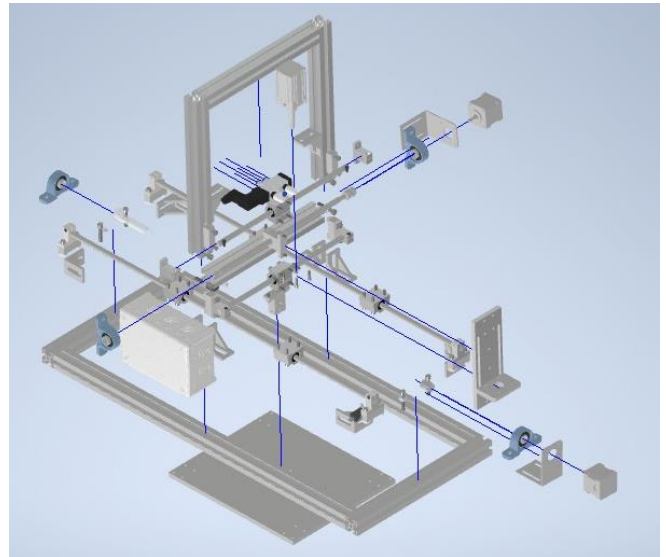


Фиг. 8. Винт хоризонтален



Фиг. 9. Винт вертикален

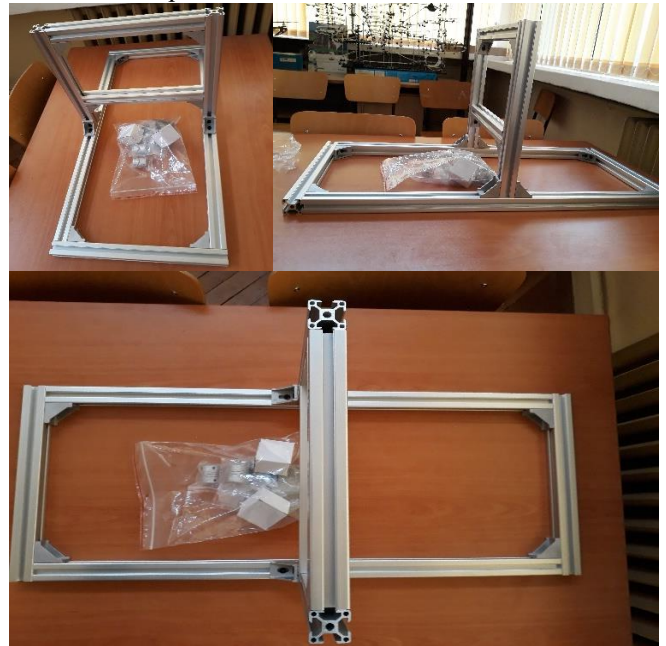
В. Сглобена единица



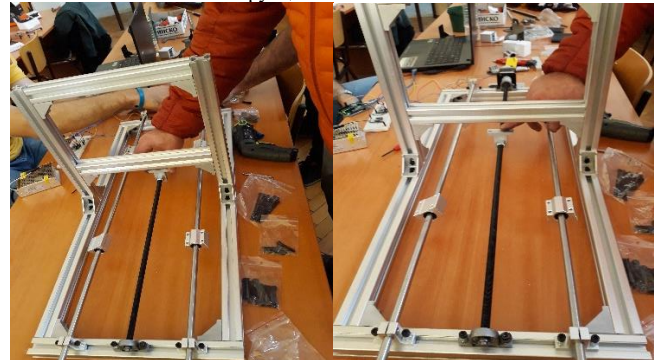
Фиг. 10. Структурни елементи сглобена единица

III. СГЛОБЯВАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД

От фиг. 11 до фиг.19 са показани сглобените елементи от автоматизирания стенд.

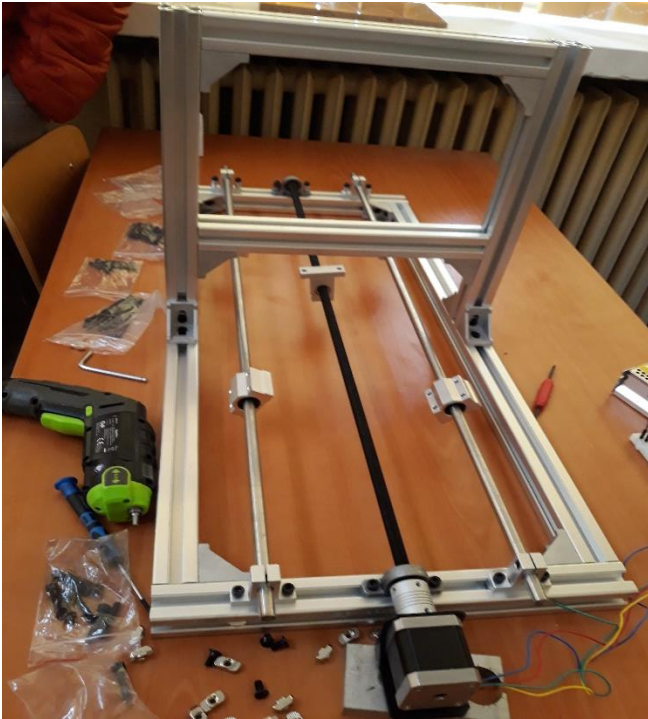


Фиг. 11. Сглобена конструкция

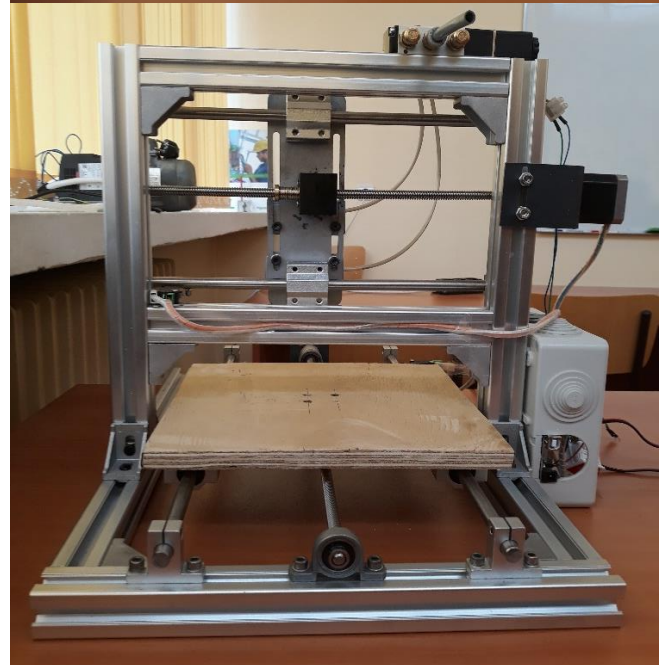
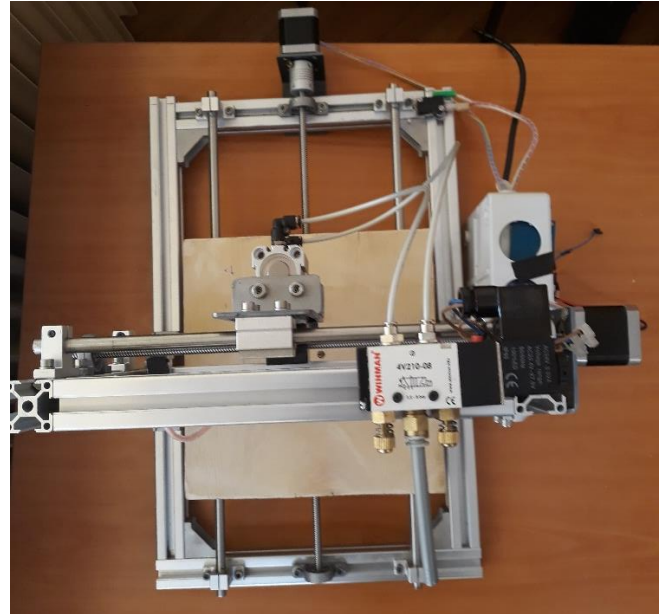


Фиг. 12. Сглобена конструкция с винт и направляващи





Фиг. 13. Сглобена конструкция с електро двигател



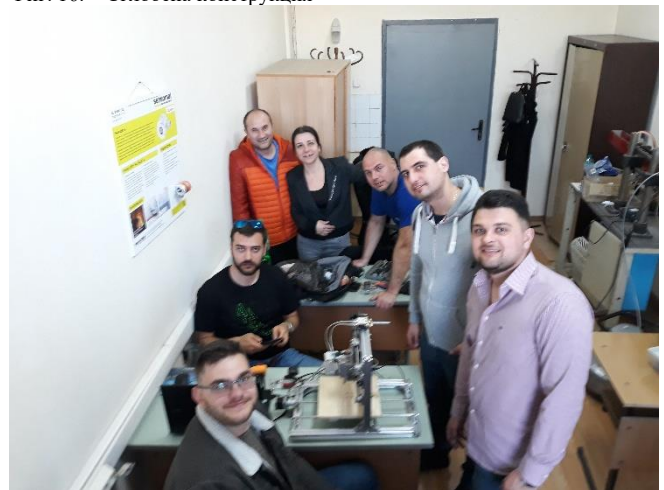
Фиг. 16. Сглобена конструкция



Фиг. 14. Сглобена конструкция с хоризонтална маса



Фиг. 15. Сглобена конструкция с вертикална маса



Фиг. 17. Предварителни изследвания на работоспособността



Фиг. 18. Подготовка за транспортиране



Фиг. 19. Подготовка за транспортиране

**БЛАГОДАРНОСТИ**

Резултатите в настоящото изследване са получени по проект № 211ПР0006-06/2022 г., финансиран от субсидията за научни изследвания в Технически университет – София.

**ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Dimitrov S., L. Dimitrov, R. Dimitrova, S. Nikolov, “Examination of the process of automated closure of containers with screw caps”, International Conference on Information Technologies ICIT-2019: Information and Communication Technologies for Industry and Research, 7-8.02.2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, ISBN 9783030120726 (online), 9783030120719 (print), pp. (502-514).
- [2] Dimitrova R., M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX МНТК „АДП – 2020”, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [3] Dimitrova R., S. Nikolov, S. Dimitrov, Measurement of the closing force at automatic closing bottles with screw caps, XXX International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance 2020, 7-11, September, Sozopol, Bulgaria pp. (38-42).
- [4] Kambushev M., N. Chivarov, A. Marinov, R. Dimitrova, “Approbation of a mathematical model of a specialized mechatronic system”, XI National conference with international participation, Electronica 2020, 23 – 24 July 2020 Sofia, Scopus, IEEE Xplore Digital Library, Scopus database (IEEE Conference record # 50406), 9305150.
- [5] Nikolov S., R. Dimitrova, L. Dimitrov, “Mathematical model of displacements in tools used in boring operations on machining centers”, 25th IEEE International Conference on problems of automated electric drive Theory and practice PAEP 2020, September 21-25, 2020, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, Scopus, (9240838).
- [6] Nikolov S., R. Dimitrova, I. Topov, New approach at mechanical engraving of details with large sizes, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTech 2019, 10 - 11 November 2019, Scopus, (9128261).

## CHOOSING A MOVEMENT FOR AUTOMATED DEVICE FOR PRINTING BRAILLE LETTER

Slav Dimitrov  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Kristiyan Bonev  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: solardream96@gmail.com

Gabriela Kotseva  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: gabriela\_\_kotseva@abv.bg

**Abstract:** This article presents drive selection and calculations for a newly designed automated device for printing Braille on thin metal surfaces. The maximum working area is A5. This article aims to develop a low-cost automated device for research on the processes of making elements of thin metal surfaces for the blind.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВО НА КАБЕЛНИ ИНСТАЛАЦИИ ЗА АВТОМОБИЛНАТА ИНДУСТРИЯ

Йото Георгиев  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: y\_g@abv.bg

**Резюме:** Към днешна дата голяма част от процесите при производството на кабелни инсталации за автомобилната индустрия се извършва ръчно. Това което налага автоматизиране на производствените процеси е намаляване размера на компонентите и увеличаване на изискванията за качество, което изисква повишаване на нивото на автоматизация при тези производства. В бъдеще в автомобилите ще има все повече електроника и следователно увеличаване на кабелните комплекти, чиято роля е да свързва отделните електрически компоненти.

**Ключови думи:** автоматизация, кабелни инсталации, автомобилна индустрия

## I. ВЪВЕДЕНИЕ

Кабелният комплект е един от най-сложните компоненти в превозното средство след двигателя. Той осъществява връзката между различните електрически компоненти в автомобила: генераторите на електрическата енергия, консуматорите, различните сензори и функционални блокове, сигналната система на автомобила. Електрообзавеждането на автотранспортните средства свързва източниците и потребителите на електрическа енергия в определен ред чрез електрически проводници. В съвременните автомобили теглото на кабелните инсталации достига 60 kg и повече от 6000 кабели в една инсталация с обща дължина до 5000 m. За пример теглото на кабелния комплект в Mercedes-Benz E-class достига 45 kg, при Volkswagen Audi A8 36 kg. Това се дължи основно на добавянето на електрически функции за комфорт като помощна информация и приложения за забавление, увеличени екологични изисквания, което води до увеличаване на следените параметрите на двигателя, а от там и повече датчици в автомобила. Електрообзавеждането на автомобилите с двигатели с вътрешно горене се изработва по еднопроводна схема. За втори проводник се използва корпуса на автомобила. Предимствата на еднопроводната схема са намаляване на теглото и количеството на използваните проводници. Характерна особеност към настоящия момент в индустрията за производство на кабелни комплекти за автомобилостроенето е, че ръчният труд е около 80 % от общия. Една от причините е евтиният труд в страните от Източна Европа и Северна Африка, където е съсредоточено това производство. През последното десетилетие поради натиска от увеличаване на заплащането в Източна Европа от една страна и размириците в Северна Африка от друга има увеличение на отделните средства за намаляване на ръчния труд в тези производства, което подчертава нарастващото

значение на автоматизацията в производството на кабелни комплекти за автомобилната индустрия. Този натиска за автоматизация ще се засили още повече предвид факта, че най-големия производител на кабелни инсталации за автомобилната индустрия до 2021 беше Украйна. Друг фактор, който задвижи процеса по повишаване степента на автоматизация са повишените изисквания по отношение гарантиране качеството на автомобилните компоненти в стандарта IATF 16949 и VDA стандартите.

## II. ПРОЦЕСИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА АВТОМОБИЛНИ КАБЕЛНИ ИНСТАЛАЦИИ

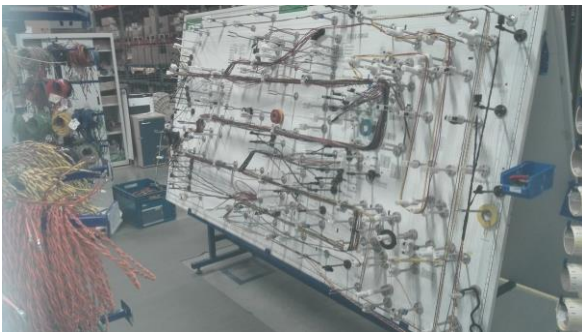
Основните цели, които трябва да се постигат при производство на кабелните инсталации е рентабилно производство и доставка на автомобилни кабелни системи към клиенти в зададените срокове, в нужните количества и със съответното ниво на качеството. Една от основните дилеми, с които компаниите ежедневно се сблъскват е повишаването на производителност при запазване високо ниво на надеждност [1].

Основните технологични процеси при производството на кабелните инсталации са: рязане на проводниците, кримповане на контакти (терминали) в края на кабелите, усукване на кабелите ако се налага според производствената концепция (F-konzept), контактуване на кабелите в конектори и бандажиране и поставяне на клипсове на кабелните снопове. Процесът завършва с тестване на готовата кабелна инсталация на специални тестови маси, при което се проверяват електрическите връзки между отделните части на комплекта, както и се прави проверка за херметичност на частта от инсталацията, която се намира в „мократа“ част на автомобила. След успешното минаване на теста се принтира тест етикет, който се залепя към съответната кабелна инсталация. По стандарта ISO 9001 резултатите от тестовете трябва да бъдат регистрирани и записани в база данни за повторно проследяване и за по-нататъшен анализ. Ако по време на теста се открие грешка или повреда в инсталацията тя се праща за ремонт, след което отново се тества. Най-отговорният процес при производството на кабелната инсталацията е кримповането на контактите. Най-трудоемкия етап е формирането на кабелната инсталация на формени маси, при което се използва изключително ръчен труд. Като време за производство разпределението по отделни технологични процеси изглежда по следния начин: рязане, кримповане и усукване на кабелите – 20 %, контактуване на кабелите в конекторите – 45 %,

бандажиране на кабелните снопове – 30 % и тестване на готовата инсталация 5 %. Към настоящия момент различните технологични стъпки при производството на кабелните инсталации са с различна степен на автоматизация.

Поради огромната сложност на съвременните автомобилни кабелни инсталации, кабелния комплект се произвежда като отделни модули на формени маси, които модули след това се сглобяват в едно на поточни линии. Обикновено модулите са организирани по функционални групи: осветление, централно заключване, електрическата система на двигателя, климатична инсталация, парктроник, електрически системи на скоростната кутия, системите на въздушните възглавници и т.н. Ръкавите, които се състоят само от кабели за съответния модул се бандажират на формените маси за модулите, а тези, при които участват кабели от други модули се оставят небандажирани, тъй като в тях ще се добавят кабели за контактуване в конекторите. Крайния етап на сглобяване на модулите в една инсталация също става на формени маси организирани в поточни линии, където се доконтактуват кабелите и бандажират останалите небандажирани от модулните маси кабелни ръкави.

През 1990 германската компания Dräxlmaier разработи концепцията за специфичен клиентски кабелен комплект **KSK** - съкратено от немски **KundenSpezifischer Kabelsatz**. Това е нова концепция, при която всяка кабелна инсталация е специфична според изискванията на клиентите и въпреки че инсталациите се произвеждат на една поточна линия те са уникални. Производството на различни инсталации на една поточна линия изисква много точно проследяване на отделните модули за съответния кабелен комплект.



Фиг. 1. Формена маса за модул



Фиг. 2. Формена маса за финално сглобяване

### III. АВТОМАТИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА АВТОМОБИЛНИ КАБЕЛНИ ИНСТАЛАЦИИ

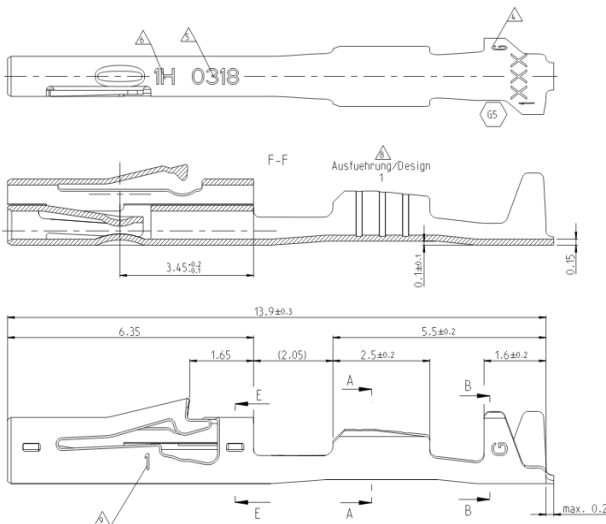
#### A. Рязане и кримповане на кабелите

Основната цел на автоматизацията на процесите при производството на кабелни инсталации е подобряване на качеството и повишаване производителността за задоволяване на нарастващото търсене. Производствата трябва да се трансформират технологично, така че процесът да е по-стабилен и по-добре контролиран. Процеса на производство на кабелния комплект започва в зоната на режешите машини с рязането на кабелите с дефинираната дължина, след което се поставят чрез кримповане контакти в краищата им. Ако се налага според технологичната карта последващо се прилага усукване, запояване или покриване със защитни термосвиваеми тръбички. Към днешна дата процесите по рязане, кримповане и усукване на кабелите са с висока степен на автоматизация. Максималната скорост на производство на кабели на една машина достига 12 m/s. Човешката намеса се свежда до настройка на режешите машини и поддръжката им, както и контрол от страна на отдела по качеството. Някои от машините за рязане и кримповане на кабели са: Komax „Alpha-550“, Komax „Alpha-355“, Schleuniger „CrimpCenter“. Когато се налага усукване след рязането и кримповането може да се използва Komax „Sigma-688“, „Alpha-488“ или Schleuniger „WireTwister 3300“.

Надеждността на сложните електрически системи може да бъде повлияна от грешки в елементи осъществяващи контакт между отделните и части. С технологията за кримповане на контакти в краищата на кабелите, която е широко използвана в автомобилната индустрия, са възможни следните грешки: захапване на изолацията от проводниковия кримп и липсващи жички в кримпа. За тази цел в автоматизирани машините за рязане и кримповане контролери следят за силата при кримповане. Когато усилието е по-голямо от нормалното има захапване на изолацията от проводниковия кримп, а ако усилието е по-малко има нишки извън кримпа. Създадени са програмни реализации като пакетите CFA и CFA+, които не допускат попадане на неправилно кримпирани контакти в по-нататъшните процеси на изграждане на кабелния комплект.

#### B. Контактване на кабелите в конекторите

Една от основните движещи сили за автоматизиране на процеса на контактуване на контактите в конекторите е минитюаризацията на последните. С цел влагането на минимално количество материал се проектират все по-малки контакти, което изисква внимателното боравене с тях. На фиг. 1 е показан контакт на фирмата Tuso Electronics. За да се елиминира проблема с човешкия фактор се използват машини, които контактуват без оператора да се докосва до контактите като по-този начин освен, че няма опасност от механично увреждане на контактите, последните се предпазват и от замърсяване.



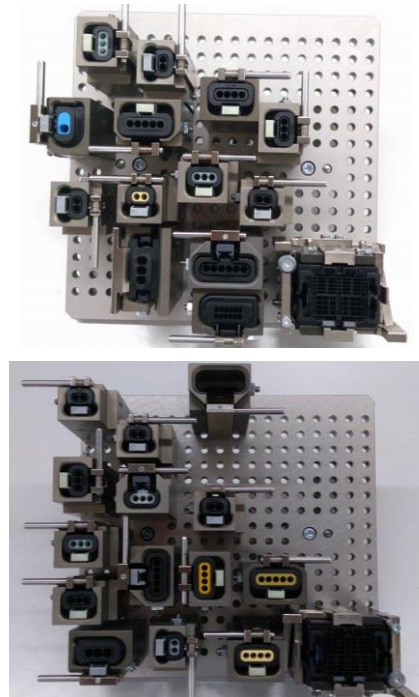
Фиг. 3. Контакт Tyco Nano MQS 2-1703930-2

Възможни решения са машините на швейцарската фирма Комакс: Komax „Zeta-656/633” и по новото поколение Komax „Omega-740/750”, която се предлага от 2018. Индустриалният робот Komax „Zeta-656/633” се състои от две машини работещи в синхрон. „Zeta-633” подготвя кабелите, а „Zeta-656” ги вмъква в съответната камера на съответния конектор. „Zeta-633” извършва следните операции: рязане на проводниците, поставяне на уплътнителя, ако се налага, оголване, кримпирание на контакти в краищата на кабелите и контрол на качеството на кримпирание. „Zeta-656” чрез трансферен механизъм взема подготвените кабели, измерва края на всеки чрез оптични сензори и го вмъква в зададената камера на конектора.

Автоматизирайки процеса на контактуване на кабелите в конекторите се постига по-висока скорост на изработка, намалява се вероятността от повреждане на контактите и се елиминират грешките при контактуване. Последното има голямо значение, защото предотвратява последващ ремонт на кабелната инсталация като резултат от контактуването на кабел в грешна камера на конектора, което се проверява на тест масите. От там и времето за ремонт като цяло драстично се съкращава. Приблизително средно около 10 % от производственото време се губи за ремонт и поправка на готовите кабелните инсталации. Редуцирайки грешките при контактуване се съкращава общото време за производство, тъй като отпада необходимостта от ремонт поради грешно контактуване.

Средно ръчното вмъкване на двата края на кабел в конектор отнема около 30 секунди, докато скоростта на машината Komax „Zeta-656/633” е 1,8 секунди на вмъкване на кабел в конектор или 3,6 секунди за двата му края. Прости изчисления показват, че една машина заменя 8 оператора извършващи ръчно операциите по вмъкване на контактите в съответните камери на конекторите. Освен, че се пести от оператори, се пести и от машини за рязане на кабели и кримповане на контакти, тъй като Komax „Zeta-656/633” интегрира в едно рязането, кримповането и вмъкването на кабелите в конекторите. Това съществено намалява и необходимата

работна площ в производствените цехове. Една от причините да не се ползват масово тези автоматизирани машини при изработката на отделните модули на кабелните инсталации се крие, колкото и парадоксално да звучи, във високо качество на произведения продукт.



Фиг. 4. Палета на машина за автоматизирано контактуване Komax „Zeta-656/633”

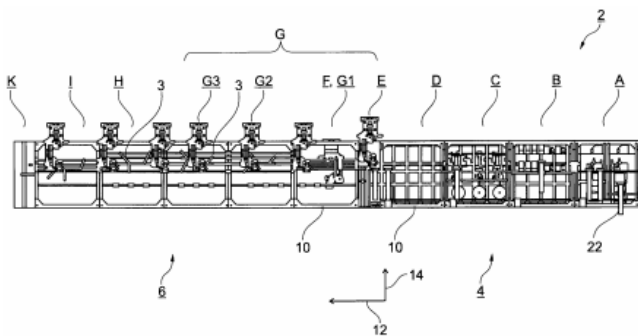
При ръчното контактуване операторът вмъквайки кабела с кримпования терминал не следи за приложената сила, което в някои случаи води до увреждане, особено на по-фините контакти. При машинното контактуване чрез тензодатчиците машината следи за приложената сила и при превишаването и реже кабела тъй като контакта може да се е повредил, след което пуска отново същия кабел. Ако това се случи при кабел, на който единия край е вече вмъкнат в конектор това води до бракуване на целия модул, а от там и до високото ниво на брак достигащо до 15%, а в редки случаи и до 20 %.

Няма разработени технически решения за автоматизирано вмъкване на усукани двойки проводници в камерите на конекторите. Това налага добавянето към заготовката, произведена на машина Komax „Zeta-656/633”, на ръка на отделно нарязаните и усуканите кабели след изработката на модула. Друг възможен подход е усукване на кабелите след изработката на модула на „Zeta-656/633”, за което може да се ползват усукващи машина като разработената от компанията Ductimetal „LD-03” фиг.5. И при двата метода се получава увеличаване на брака, което води до оскъпяване на готовата продукция.

По отношение на поточната линия за крайно сглобяване, където отделните модули се събират в една инсталация, няма разработено оборудване, което да може автоматизирано да контактува кабели от различните модули в съответната камера на даден конектор.



Фиг. 5. Усукваща машина Ductimetal



Фиг. 6. Система за автоматизирано производство на кабелни инсталации разработена от Leoni Bordnetz-Systeme GmbH съвместно с Университета на Ерланген

През 2017 Leoni Bordnetz-Systeme GmbH съвместно с Университета на Ерланген представиха модулна поточна линия, където чрез използване на подвижни грипери се осъществява вмъкване на кабели в камери на конектори и последващо бандажиране [2]. Инсталацията и метода за автоматизирано производство са патентовани, но остава само като прототипен образец без по-нататъчно развитие. Системата се състои от две части, като част от станциите са разположени в първата част (А до D), а другите се намират във втората (Е до К). В първата част се извършва предварителна подготовка на отделните кабелни елементи (рязане, оголване, кримповане), които след това се събират в буферна станция (D) в края на първата част. Във втората част подготвените отделни кабелни елементи се монтират в кабелната инсталация. За тази цел отделните кабели се контактуват в конектори в станция (E) и се прехвърлят към втори транспортър и чрез тези втори транспортер се изгражда разклонената структура на кабелния комплект. В тази разклонена структура, отделните проводници се захващат с бандаж във фиксираща станция (G), където се поставят и клипсовете (фиксиращите елементи).

### C. Бандажиране на кабелните снопове

Бандажирането на кабелните снопове се извършва на формени маси, където трудът е изключително ръчен. Към днешна дата няма предложен удачен вариант как този процес да се автоматизира на разумна цена. Създадените автоматизирани системи за бандажиране са по-скоро ефективни, отколкото ефективни. Като изключение може да се посочи създаденият през 2013 робот в Научноизследователския институт по производствена техника и автоматизация Фраунхофер в

Щутгарт (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA), който робот автоматично бандажира отделните ръкави на кабелната инсталация, но така и не излезе от развойните лаборатории [3]. Фирмите КАВАТЕС-Германия и StoneShield-Португалия имат проектирани системи за бандажиране на отделни участъци на кабелния комплект, но не и на цяла инсталация. Тези съоръжения са намерили ограничено приложение до момента. След придобиването на КАВАТЕС през 2016 от швейцарската фирма Komax са проведени различни изследователски програми за автоматизиране на бандажиране на цяла кабелна инсталация, но всички разработки остават без практическа реализация.

Друг подход за улесняване на работата на операторите е използването на системи, които подпомагат работника при процес на ръчно бандажиране на формените маси. Използват се светещи пътечки (светодиоди) по формената маса, които се активират в зависимост от варианта, който трябва да се прави. При сканиране на поръчката светоизлъчващите диоди по формената маса показват на оператора необходимите действия – кои ръкави да се бандажират и кои не.

### D. Тестване на кабелните инсталации

След изработката на кабелния комплект се преминава към неговото тестване. Процесът се извършва на специални тестови маси, при което се проверяват електрическите връзки между отделните части на инсталацията. Технологиията за тестване е автоматизирана. Въпреки това, боравенето с кабелния комплект, т.е. поставяне на кабелния сноп на масата за изпитване, разплитане и монтиране на конекторите в тестовите модули се извършва на ръка. След успешно тестване за регистрирани и последващо проследяване се принтира тест етикет, който се залепя към съответната кабелна инсталация.

За да се пести време и да се намалят ръчните манипулации се ползват и електрически формени маси EFB (electrical form board). При тях на едно място става асемблирането на кабелния комплект и неговото тестване след това. По този начин не се автоматизира процеса на зареждане на кабелния комплект на тестовото оборудване, а се спестява времето за навиването на кабелната инсталация, след като се завърши на формената маса и след това развиването и на тестовата маса. Предимството на тази технология е елиминиране на непроизводствено време, а недостатъкът, е че се увеличават капиталовложенията в тестово оборудване.

## IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Към днешна дата въпреки напредъка в производствените технологии и автоматизацията, като цяло, производствените процеси при изготвянето на автомобилни кабелни инсталации все още се характеризират с висока степен на ръчен труд. Поради разнообразието от различни работни стъпки, само части от асемблирането са автоматизирани с помощта на специални машини и оборудване. Проводниците са деформируеми линейни обекти, без съпротивление при натиск. Дължината на кабела е по-голяма в сравнение с ширината и височината, а по време на асемблирането

възникват еластични деформации. Това води до много степени на свобода, което затрудняват автоматизираното производство.

Като резултат от техническия прогрес се увеличава функционалността и се намаляват теглото и диаметрите на проводниците, а контактите стават все по-малки. Тези фини контакти ще изискват напълно автоматизиран процес при производството на кабелни инсталации за автомобилната индустрия за предотвратяване риска от повреда. Всичко това налага по-добър контрол и проследяване на производствените процеси, което може да се постигне само с по-висока степен на автоматизация. Също така топологията и дизайнът на кабелния сноп имат силно влияние върху производствения процес. Следователно подходящото решение за автоматизация на производството на кабелните инсталации за автомобилната индустрия изисква цялостен поглед върху целия производствен процес.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. Камбушев, „Съвременни методи за прогнозиране на надеждност на електронните и механични елементи“, Юбилейна научна конференция - Факултет "Авиационен", ISBN 978-954-713-109-5, 2016, стр. 152-159.
- [2] F. Dietlein, C. Guni, P. Heisler, R. Jaecklein, P. Martins, O. Tavsels „Anlage sowie Verfahren zum automatisierten Herstellen eines Kabelsatzes (DE 10 2017 206 139 A1)“, 2017
- [3] M. Einert , G. Roderer, „Vorrichtung zum Umwickeln eines Kabelbaums“, patent application H01B 13/012 (DE102013205509A1), 2013

## AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESS OF AUTOMOTIVE WIRE HARNESSSES

Yoto Georgiev  
Air force academy "Georgi Benkovski"  
Dolna Mitropolia, Bulgaria  
e-mail: y\_g\_g@abv.bg

**Abstract: To date, much of the processes in the production of wire harnesses for the automotive industry are done manually. The reason for higher automation of production processes is reduce in the size of the components and increase quality requirements, which requires increasing the level of automation in these productions. In the future, vehicles will have more and more electronics and therefore an increase in wire harnesses, which aim is to connect the electrical components in the car.**

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА МАШИННОТО ЗРЕНИЕ И ДИГИТАЛНИТЕ ДВОЙНИЦИ ПРИ АВТОМАТИЗИРАЩЕТЕ СИСТЕМИ

Свилен Нейков  
Технически Университет - София  
София, България  
e-mail: svilen@nkv.me

**Резюме:** В настоящият доклад се разглежда приложението на машинното зрение и дигиталните двойници при автоматизиращите системи. Новите технологии определят развитието на автоматизиращите системи в днешно време.

**Ключови думи:** машинно зрение, IoT, адаптивно управление, данни, робот, дигитални двойници.

### I. УВОД

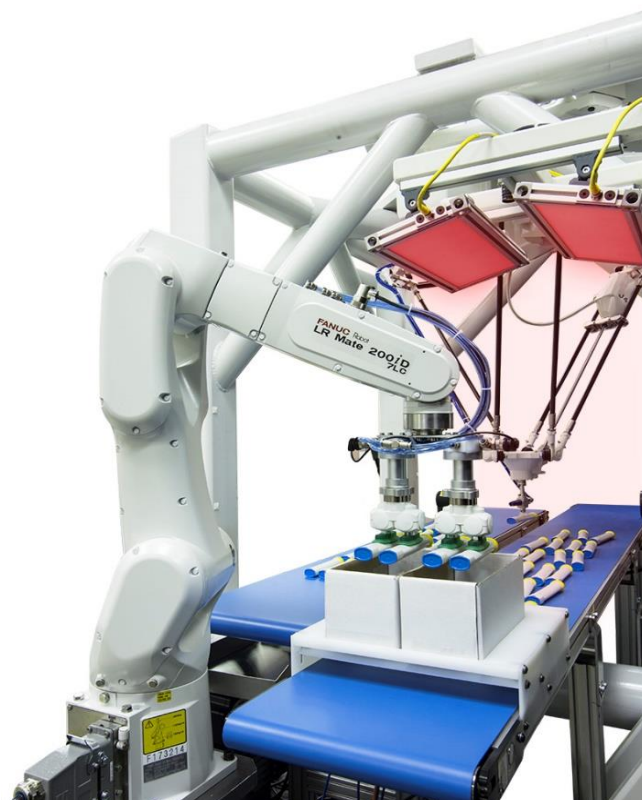
В днешно време потребителите все повече искат да имат универсални и автоматизирани системи, за да могат да отговорят на вечно променящите се пазарни течения. Това поражда и разработването на автоматизирани комплекси, които да отговорят на тези нови изисквания които включват промишлени роботи, системи за машинно зрение, индустриални контролери и така наречените дигитални двойници.

Основната структура на автоматизиращите системи включва механична част и система за управление.

Роботите в автоматизиращите системи са тясно интегрирани с машинното зрение, като те се използват основно за операции тип вземане и поставяне, но могат да се използват и за всички останали спомагателни операции (асемблиране, захранване, отвеждане и др.). Възможностите свързани с тях варират от прости линейни движения, до имплементирането на многоосна манипулация.



Фиг. 1. RobotWorx - 3D Vision [2]



Фиг. 2. Робот на Fanuc за вземане и поставяне 200iD [2]

Използването на програмируеми логически контролери (PLC) произтича от необходимостта за прецизно управление на основните етапи от производствения процес.

PLC е индустриална дигитализирана система, която осъществява постоянно наблюдение на състоянието на входните устройства. Взема решения на база на запаметена програма в собствената си памет или комуникира от компютърна система за обработка на информацията. След което променя състоянието на изходните устройства.

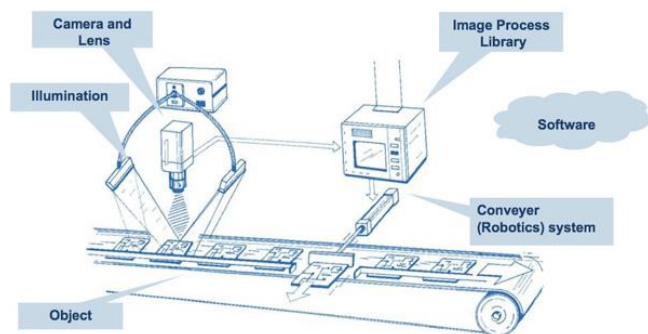
Изборът на PLC вместо компютър е продиктувано основно от надеждността на устройството в производствена среда. Може да бъде използвана комбинация от двете ако приложението изисква по-голяма изчислителна мощ. Пример за такава необходимост е използването на адаптивни алгоритми за управление [11, 12].



При тях е необходима връзка с външно устройство което да направи необходимите изчисления, а контролерът да може да предаде в реално време резултата от тях. Това води със себе си много ползи, включително повишаване точността и гъвкавостта на автоматизиращите системи, същевременно намалявайки необходимостта от човешка намеса. Друг важен фактор е постоянно увеличаващата се свързаност на устройствата в производствените системи и навлизането на Индустрия 4.0, както и разширяването на способностите на индустриалните контролери свързани с това [13].

## II. МАШИННО ЗРЕНИЕ

Това е компютъризирана насочваща система за промишлени роботи, която използва интегрирана базирана на образи технология за автоматизирана диагностика и анализ. Тя може да бъде използвана в автоматични линии или други дейности свързани с производството. Включва няколко елемента, които си взаимодействат, за да осъществят автоматизираните си задачи. Индустриална камера или набор от сензори, които се използват за диагностика и анализ на компоненти, части или обекти които се движат по транспортната система. Програмираните хардуерни и софтуерни алгоритми анализират данни под формата на образи, събрани от тези сензори, за да се упражни контрол над процеса. Образите които се заснемат могат да бъдат използвани за диагностика и последващо предаване на нужната информация към системният оператор за последващи действия. Те могат да инспектират точността, позицията, формата, размера, цвета или баркодове на отделните елементи, за да се осигури коректната последваща обработка [6].



Фиг. 3. Система за машинно зрение [7]

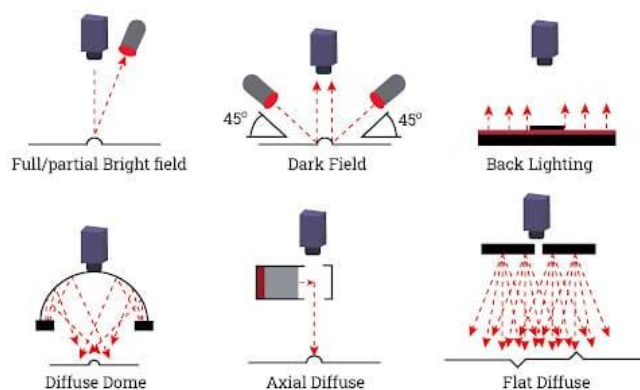
Системите за машинно зрение обикновено са изградени от пет компонента. Тези компоненти могат да се използват отделно един от друг, но когато се приложат заедно създават зрителна система, която е способна да изпълнява сложни функции [7, 8].

По-долу са описани основните компоненти на системите за машинно зрение и тяхното приложение.

### A. Осветление

Вида осветление което се използва в системите за машинно зрение е от изключителна важност и може да определи каква точно характеристика от обекта на наблюдение ще може да се разграничи. Видовете осветление са:

- Осветление отзад – тук обекта се осветява от задната страна. Целта е да се създаде контраст върху ярка основа. Използва се за откриване на отвори, разделения, пукнатини, балони и др. Подходящо е за измерване, поставяне и позициониране.
- Дифузно осветление – използва се за осветяване на лъскави, огледални и смесени обекти, които изискват равномерно и многопосочно осветяване.
- Осветление с частично ярко поле (насочено) – то се използва основно за генериране на контрасти и да подчертае топографични особености на повърхностите.
- Осветление с тъмно поле – тук насоченото осветление е под много нисък ъгъл (10-150) от повърхността. Използва се за откриване на драскотини, отпечатьци и ръбове, като те са ярки на фона на останалата тъмна повърхност на обекта.



Фиг. 4. Видове осветление [8]

### B. Обективи

Те улавят образа и го предават на сензор в камерата под формата на светлина. Повечето са цветни като имат следните основни характеристики:

- Зрително поле – каква площ обхваща сензора.
- Дълбочина на рязкост – способността за запазване на приемливо качество на изображението без префокусиране, ако обекта се отдалечи от равнината с най-добър фокус.
- Дълбочина на фокуса – способността за запазване на приемливо качество на фокуса при преместване на сензора, докато обекта стои неподвижно.
- Бленда – контролира количеството светлина влизащо в обектива.

### C. Сензори

Сензорът в камерата превръща светлината уловена от обектива в цифров образ. Цифровият образ е съставен от пиксели които показват наличието на светлина в зоните които е уловил обектива. Той има следните основни характеристики:

- Разделителна способност – броят пиксели които изкарва сензорът в цифровият образ. С

увеличаването на броя пиксели се увеличава и точността на образа.

- Чувствителност - минималното количество светлина необходимо, за да се отчете видима промяна в образа.
- Изчислително устройство – то използва алгоритми, за да анализира цифровия образ от сензора. Обработката на образи изисква няколко стъпки които се изпълняват външно (от компютър) или вътрешно (за самостоятелни системи).

#### D. Комуникационна система

Основната функция на тази система е след като изчислителното устройство е взело решение на база обработките които е извършило на получените образи, да предаде това решение на изпълнителните механизми които са част от автоматизиращата система.

### III. Дигитални двойници

Така наречените дигитални двойници са познати още от 70-те години. Те представляват цифрова реплика на нещо физическо било то предмет, човек или процес. Те биват създавани посредством реални данни от мрежа свързани сензори, които са поставени на физическия обект. В последствие могат да еволюират посредством различни методи, включително изкуствен интелект и машинно обучение.

Тази технология започва да набира скорост с появата на Индустрия 4.0 и IoT (Internet of Things – интернет на нещата). В момента има три направления, които движат напред тази технология [9, 10].

По-долу са описани основните приложения на дигиталните двойници в съвременните технологии.

#### A. 6G

Дигиталните двойници имат огромна роля в реализирането на потенциала на 5G мрежите и преминаването към 6G комуникации. Използването им в такава среда ще позволи на потребителите да изследват и наблюдават реалният свят без времеви или пространствени ограничения. Те ще могат да наблюдават промени и да откриват проблеми дистанционно посредством тях. Ще могат и да взаимодействат с дигиталните двойници посредством виртуална реалност или холограмни екрани.

#### B. Дигитални партньорства

Търговците изграждат партньорства, за да предложат дигитални двойници за определени пазари. Инженерингови компании и такива предоставящи управление на проекти (например за енергийната сфера), работят заедно с компании за енергиен мениджмънт, компании предлагащи автоматизация и такива предлагащи индустриален софтуер над дигитални двойници за нефтената и газова индустрия.

Тези партньорства целят да помогнат нефтените и газови компании; да подобрят представянето на активите им и да имат максимална възвръщаемост на инвестициите. Резултатът е разгръщане на потенциала на отдалечените услуги и осигуряване на производството

посредством дигитален двойник, който е точно копие във всички аспекти на опериращият актив.

#### C. Персонализирана медицина

Фармацевтичната индустрия вече използва такива двойници, за да предвижда резултати от процеси. Това води до понижен брой реални тестове или завършвания на процеси, които са необходими за откриване и валидиране на нови лекарства. Има концепция за създаване на мрежови модели и посредством изчисления да се напасват дигитални двойници с голям брой лекарства, с цел да се открие най-ефективното. Това може да стане като се изгради двойник на пациента, използвайки хиляди променливи релевантни за заболяването. Той се тества изчислително с хиляди лекарствени продукти и този който покаже най-добри резултати ще бъде приложен на реалният пациент.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Разгледани са основните компоненти на системите за машинно зрение. Преминаването към все по-сложни алгоритми за управление; въвеждането на нови методи за събиране на информация; все по-малките размери на изделията и повишаване на изискванията за безопасност, водят до намаляване на човешкото присъствие зад операторското място и преминаването му зад компютърния екран, както и повишаване квалификацията му.

Описано е приложението на системите за машинно зрение в автоматизираните производствени системи. Индустриалните контролери могат да се разглеждат като крайтъглен камък както в миналото на индустриалната автоматизация, така и за бъдещето и.

Описани са основните приложения на дигиталните двойници в съвременните технологии. Постоянното развитие на индустриализацията и автоматизацията свързана с нея, винаги ще има нужда от изчислителна способност в реално време близо до производството.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dimitrova R., S. Nikolov, S. Dimitrov, Measurement of the closing force at automatic closing bottles with screw caps, XXX International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance 2020, 7-11, September, Sozopol, Bulgaria pp. (38-42).
- [2] Dimitrova R., M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX МНТК „АДП – 2020”, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [3] Kambushev M., N. Chivarov, A. Marinov, R. Dimitrova, Approbation of a mathematical model of a specialized mechatronic system, XI National conference with international participation, Electronica 2020, 23 – 24 July 2020 Sofia, Scopus, IEEE, 9305150.
- [4] Nikolov S., R. Dimitrova, I. Topov, New approach at mechanical engraving of details with large sizes, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTech 2019, 10 - 11 November 2019, Scopus, (9128261).
- [5] 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, pp. (91-97).



- 
- 
- [6] <https://www.eaminc.com/blog/types-of-mechanical-feeding-devices/blog.cetrain.isu.edu>
- [7] <https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/12/what-is-machine-vision/14548>
- [8] <https://www.iqsdirectory.com/articles/machine-vision-system.html>
- [9] <https://www.verdict.co.uk/digital-twins-technology-trends/>
- [10] <https://blog.eurotech.com/en/digital-twin-industrial-automation/>
- [11] <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881417728467>
- [12] <http://conf.uni-obuda.hu/HUCI2003/Jeges.pdf>
- [13] [https://www.hitachi.com/rev/archive/2018/r2018\\_02/12a05/index.htm](https://www.hitachi.com/rev/archive/2018/r2018_02/12a05/index.htm)

1

## APPLICATION OF MACHINE VISION AND DIGITAL TWINGS IN AUTOMATING SYSTEMS

Svilen Neykov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: svilen@nkv.me

**Abstract:** This report discusses the application of machine vision and digital counterparts in automation systems. New technologies determine the development of automation systems today.

## УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА МАШИНА ЗА АВТОМАТИЧЕН МОНТАЖ

Илиян Илиев  
ПГКМКС  
Варна, България  
e-mail: Phdiliev171@gmail.com

Стефан Василев  
ЗКУ-Стара Загора  
Стара Загора, България  
e-mail: swk1@abv.bg

**Резюме:** В условията на съвременното машиностроене често се налага разширяване на възможностите на съществуващите машини. Това се налага поради факта, че агрегатните машини, предназначени за автоматизирано сглобяване и производство, могат да се създават само с конструктивни детайли и при промяна на някои от параметрите при създаване на несъответстващи изисквания.

**Ключови думи:** автоматизация, PLC, HMI, вибробункер, задвижване чрез линеен вибро-транспортйор

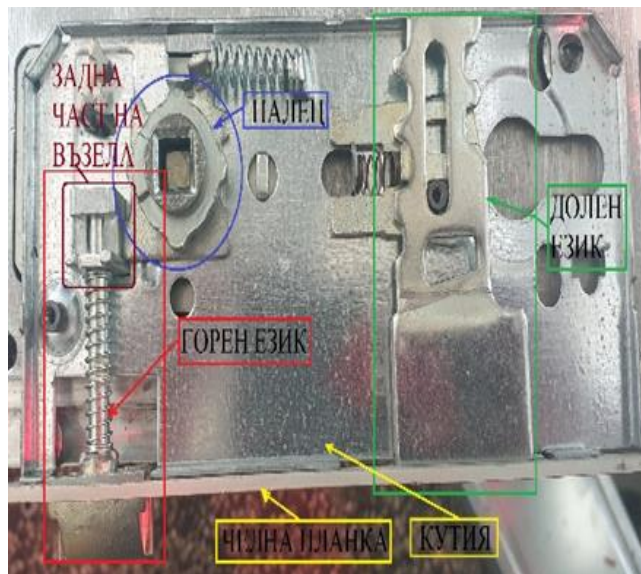
### I. УВОД

Развитието на машиностроителната наука в съвременни условия се осъществява в много направления и води до усъвършенстването на методите и средствата за получаване на всякакви видове изделия [1,2,7,8]. В условията на съвременното машиностроене и повишаване на качеството все по-често се налага да се разширяват възможностите на съществуващите машини. Това се дължи на факта, че обработване машини направени за автоматичен монтаж и изработване могат да работят само с детайли за които са проектирани и при промяна на някои от параметрите на производството те стават не използваеми. Съвременната пазарна икономика налага непрестанна борба за усъвършенстване на изделията (дизайн, ергономия, функционални характеристики и други). Това поставя пред производствените ръководители редица трудности, част от които са избор между закупуване, проектиране на нови скъпоструващи машини или усъвършенстване на възможностите на съществуващите.

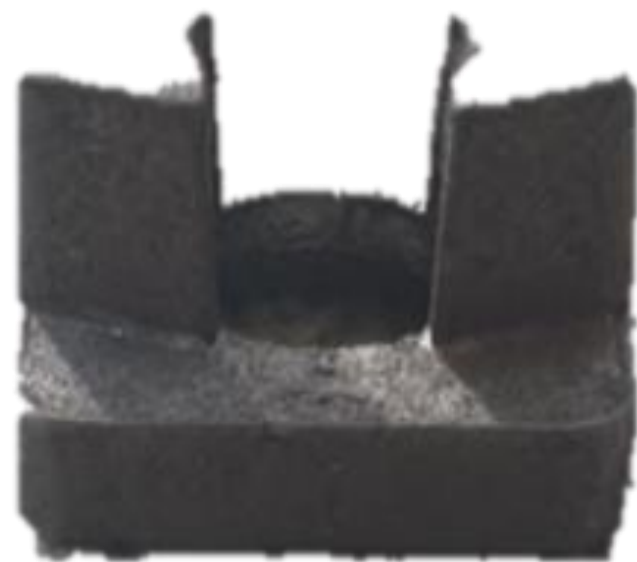
### II. ИЗЛОЖЕНИЕ

В фирма Метал-АД гр. Варна, която произвежда брави, ключалки и обков. Възникнала е нужда за усъвършенстване на възможностите на машина за автоматичен монтаж на възел горен език на брава (ГЕБ) - фиг.1. Конфигурацията на новият детайл е показан на фиг.2.

Освен това машината трябва да има възможност и за работа с детайлите от стария тип. Това условие създава редица трудности, като някои от тях са пренастройване на логическата програма на PLC което управлява машината, пренастройка на операторския пулт за управление, съобразяване с конструктивните особености на машината, да има възможност за ремонт и обслужване на новата станция, като това не пречи за същото и на съществуващите.



Фиг. 1. Общ изглед на Брава



Фиг. 2. Общ вид на детайла

На фиг. 2 е представен общия изглед на новият детайл за вграждане.

Общият вид на машината за автоматичен монтаж на възел горен език на брава е показан на фиг.3



Фиг. 3. Общ вид на машината

Машината се състои от шест станции и на всяка една от тях става сглобяването на определен детайл (част от възела), управлява се посредством програмируем логически контролер S7-200 и HMI (човеко машинен интерфейс), индуктивни и капацитивни датчици, пневматични цилиндри, въртяща маса с установъчни легла и вибро-сортировъчни бункери.

На станция - 1 става поставянето на пружина в установъчното легло (фиг.4). Посредством сгъстен въздух се изстрелва пружината към долната част на приспособлението за захващане на въртящата се маса.



Фиг. 4. Станция 1. Поставяне на пружината

На станция 2 на тази станция се монтира хаш-колонката, която представлява н-образна пластина с отвор в установъчното легло (фиг.5). Тази колонка осигурява натяга на пружината, като с външната си част е неподвижно захваната за кутията на бравата, а посредством отвора по средата е възможно движението на оста и главата на езика.



Фиг. 5. Станция 2. Поставяне на хаш-колонката

На станция 3 (фиг.6) поставя се затварящата колонка която представлява квадратна пластина с отвор в установъчното легло. Целта на тази колонка е да създаде задната опора на пружината, чрез която да се осъществява въртането на езика при затваряне на вратата. Тази станция се изключва при монтаж на новия модел брави и на нейно място работи станция 7.



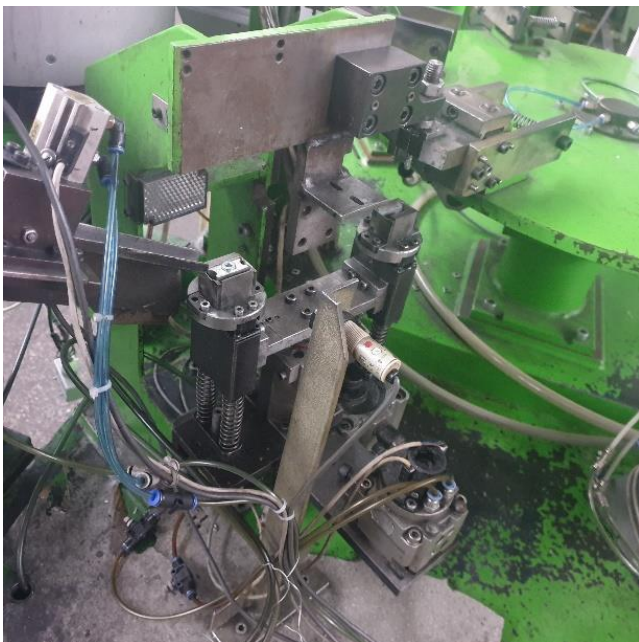
Фиг. 6. Станция 3. Поставяне на затваряща колонка

На станция 4 поставя се степенна ос с права накатка в долната страна, която минава през двете колонки и пружината и се спира в затварящата колонка, чрез уширената си част (фиг.7). Зад тази станция е монтирана новата станция 7.



Фиг. 7. Станция 4. Поставяне на степенната ос

На станция 5 монтира се горният език на бравата към накатената част на оста (фиг.8). Състои се от вибро-бункер, който захранва и ориентира главите на езиците, механизъм за набиването им към оста с пружината, хашколонката и затварящата шайба.



Фиг. 8. Станция 5. Поставяне на горния език в степенната ос

На станция 6 на тази станция се осъществява занитването и извеждането на готовият вече възел горен език на брава (фиг.9).

Новият детайл (фиг.2) ще замени затварящата колонка. Условието машината да има възможност да работи със старите детайли налага проектирането и изработването на допълнителна монтажна станция, която ще бъде разположена между станция 3 и станция 4.



Фиг. 9. Станция 6. Занитване на горния език

На фиг.10 е показан общият на новата станция 7. Тя се състои от два възела, които нямат физическа връзка между тях.



Фиг. 10. Общ изглед на станция 7 (влагане на новият детайл)

Основен елемент от заден възел на станция 7 е стойка 1. Към която се закрепват вибро-сортировъчния бункер 2 и линейният вибро-транспортър 3. Особеност на тази стойка е, че е куха за да се напълни с кварцов пясък за гасене на вибрациите породени от вибро-бункера и вибро-транспортъра.



Фиг. 11. Задна част на станция 7

Вибро-бункер 3 – изработен е от метален фундамент, пластинчати пружини електрическа намотка за създаване на магнитно поле и метална чаша. Тя е с Архимедова спирала по вътрешната страна в която се поставят детайлите. Силата на вибрациите се регулира с честотен регулатор. Познавайки периода на трептене, е възможно да се определи специфичната честота на електромагнитните трептения [3]:

$$\nu_0 = \frac{1}{T} = 1/2\pi\sqrt{1/LC} \quad (1)$$

$$\omega_0 = 2\pi\nu_0 = \sqrt{1/LC} \quad (2)$$

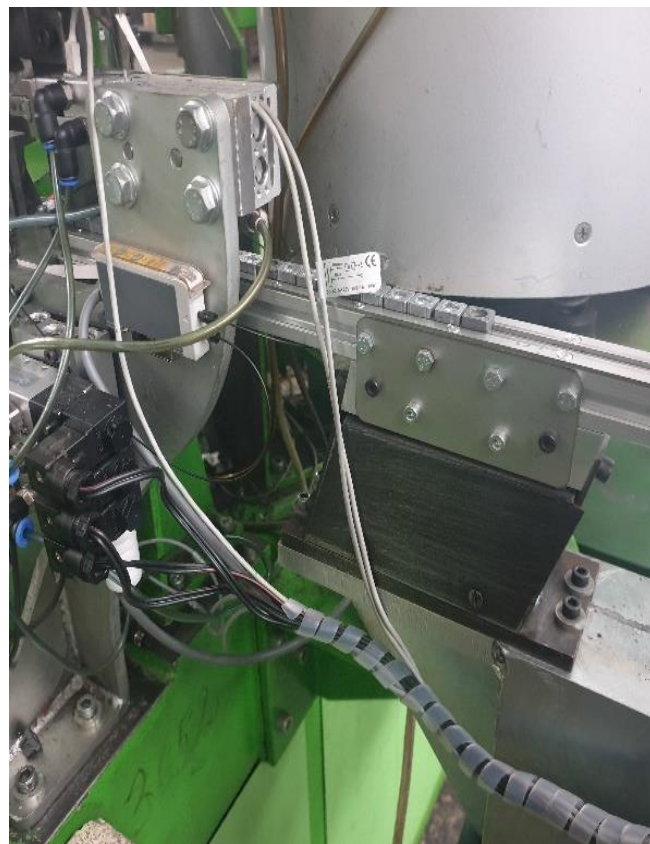
където:  $\nu_0$ - честота



Фиг. 12. Заден възел на станция 7 - 3D

Редуващите се електрически и магнитни полета, генерирани в контура на трептене, ще бъдат разположени там, където контурът е отворен в пространството. Такъв контур се нарича вибрационен контур. Особеност на този елемент е, че при конструираното на чашата трябва да се направят отсекатели които да ориентират детайлите по един и същ желан от нас начин.

Подредените от вибро-бункера 3 детайли падат върху вибро-линеен транспортър 2, който ги предвижда към отсекателя в предният възел. За осигуряване на трептения за придвижването на детайлите освен настройване с импулсния генератор и подбиране на пластинчатите пружини трябва самият транспортър да се постави върху масивен метален фундамент (в противен случай няма да работи).



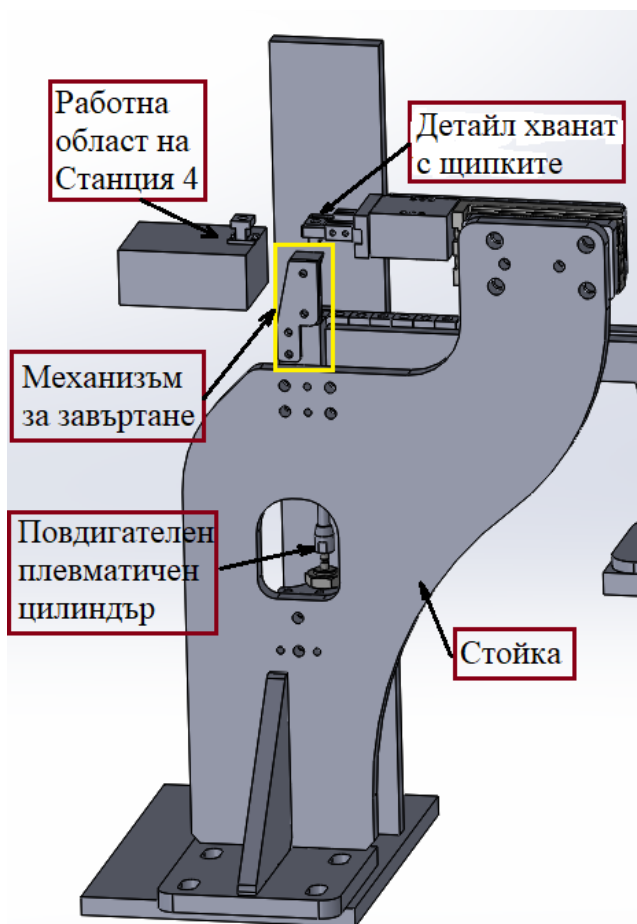
Фиг. 13. Преден възел на станция 7

Предния възел на станция 7 са поместени отсекатели, завъртащият механизъм и механизъм за подвеждане на детайла към станция 4, хванати към обща стойка (показни на фиг.15).

Принципа на работа е следният детайлът постъпва от линейният вибро-транспорт 2 в специално изработено легло пневматичен цилиндър го повдига нагоре, като с помощта на завъртащия механизъм той се завърта на 90°, захваща се чрез шипки и се подвежда към работната област на станция 4 (фиг.14).



Фиг. 14. Пневматичен цилиндър с щипки



Фиг. 15. Преден възел на станцията 3D

Стойка 1 – служеща за захващане на елементите към нея и от своя страна тя се захваща към фундамента на машината.

Повдигащ механизъм 2 – се състои от пневматичен цилиндър и специална шека, която влиза в отвора на детайла и го повдига до нивото на захващащите щипки. Завъртащ механизъм 3 – транспортира детайла до отсекаателя завъртян на 90° посредством планка със специална форма. Щипки 5 – посредством два пневматични цилиндъра и щипки фиг. 14 с нужната форма се захваща правилно ориентираният детайл и се подвежда към работната област на Станция 4. Освен изброените елементи в Станция 7 са разположени индуктивни датчици, които дават информация на контролера за осъществяване на автоматизираното управление.

Анализ на управлението и допълнително управление за новата станция става посредством ПЛК и ЧМИ (човечно-машинен интерфейс). Програмируемите логически контролери от серията Simatic S7-200, разработени от фирмата Siemens, могат да управляват и контролират широк клас механизми и агрегати в съответствие с нуждите на автоматизацията [5]. Подобно на всички устройства от този тип, предлагани от различни производители, те представляват съвкупност от микропроцесор (CPU), интегриран захранващ модул, вградена памет за програми и потребителски данни, входен и изходен блок с възможност за работа с аналогови и цифрови сигнали. В работен режим циклично се изпълнява въведената програма, като по този начин се реализират поставените изисквания и критерии за автоматизирането на даден процес, производство и др. (напр. повишаване на производителността, безопасността, количеството и скоростта на производството) [3 ; 5]. Направената допълнителна програма и настройване на ПЛК работи на машината за автоматичен монтаж на брави.

### III. Изводи:

Чрез направената допълнителна станция се усъвършенства възможностите на агрегатната машина. Това пръв конкурентноспособно производство на новият модел брави, а чрез системата от сензори се осигурява и своевременен качествен контрол.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. Киров, Приложение на методика FMEA за управление на
- [2] подобрението на системи за управление на качеството, МНПК Устойчиво развитие 2011, Варна, 2011, с.91-95, ISSN 1314-4138.
- [3] К. Киров, Стадии на развитие на науката. Основни обекти и ниво на технологиите., сп. Машиностроене и машинознание, vol.1, Варна, 2016, с.52-57, ISSN 1312-8612.
- [4] Расулмухамедов А.Г., Камолов Й., Избосаров Б.Ф. «Курс по обща физика»
- [5] www.ziyonet.uz
- [6] www.NUR.uz
- [7] Петров П., В. Узунев, Архитектура на системите с PLC Simatic S7, Logo (по проект BG051PO001-4.3.04-0014, „Нови форми за електронно обучение в Технически Университет – Варна”)
- [8] K. Kirov, Preliminary production cost assessment on the basis of loss function application, MEET/MARID 2002, 7-11 October 2002, Proceedings Volume V, p 361-364, Varna, Bulgaria, ISBN 954-20-0215-7.
- [9] K. Kirov, Options for interchangeability theory application in metal cutting process design, MEET/MARID 2002, 7-11 October 2002, Proceedings Volume V, p 291-301, Varna, Bulgaria, ISBN 954-20-0215-7.





## IMPROVING THE CAPABILITIES OF MACHINE FOR ASSEMBLY AUTOMATION

Iliyan Iliev  
PGKMKS  
Varna, Bulgaria  
e-mail: Phdiliev171@gmail.com

Stefan Vasilev  
ZKU- Stara Zagora  
Stara Zagora, Bulgaria  
e-mail: swkl@abv.bg

**Abstract:** In the conditions of modern machine building it is often necessary to expand the capabilities of existing machines. This is due to the fact that aggregate machines designed for automated assembly and production can be created only with structural details and when changing some of the parameters when creating non-compliant requirements.

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ В ОПАСНИ ЗА ЧОВЕШКОТО ЗДРАВЕ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СРЕДИ

Борян Владимиров  
МФ, катедра АДП  
Технически университет  
София, България  
e-mail: bvladimirov@tu-sofia.com

Стилиян Николов  
МФ, катедра АДП  
Технически университет  
София, България  
e-mail: st\_nikolov2@tu-sofia.bg

Слав Димитров  
МФ, катедра АДП  
Технически университет  
София, България  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

**Резюме:** В статията са разгледани основните производства с висок риск за здравето на отделния работник. Дефинирани са основните предимства, които осигурява използването на промишлени роботи при роботизираното на тези производства.

**Ключови думи:** автоматизация, промишлени роботи, опасни и вредни производства

### I. УВОД

В условия на кризи, пандемии и нарушени вериги на доставки, много индустрии се преустройват към автоматизация. Предприятията използват автоматизация и промишлени роботи, като по този начин оптимизират и увеличават производителността и качеството, заменяйки работниците при изпълнение на трудни и опасни за човешкото здраве, операции.

В съвременните предприятия, част от монотонно повтарящи се задачи са автоматизирани. Предприятия в химическата, военната и други опасни за човешкото здраве, промишлености, избягват прекия досег на човек до опасни материали. При работа с химикали, експлозивни смеси и боравене с радиоактивни вещества, автоматизираните и роботизираните операции, заместват човешкия фактор, при изпълнение на рутинни задачи, които биха навредили на здравето на работниците.

В статията са разгледани основните дейности, в производства с висок риск за здравето на отделния работник и използването на промишлени роботи при роботизираното на тези производства.

### II. ОПАСНИ ПРОИЗВОДСТВА

Производствата, създаващи най-ярко изразени опасности за живота и здравето на заетия в тях персонал могат да се класифицират в следните групи:

#### A. Военно производство

При изработката на военни изделия се изисква съответното профилирано обучение на работниците, при спазване на строго регламентирани правила и норми на монтаж и дефектация на дадено изделие (боеприпас).

Производството на конкретен военен боеприпас преминава през следните етапи:

- проектиране - включва идеен проект, работен проект, опитен образец, изработване на пробна серия тестови изпитани и одобрено за производство [1, 6, 7, 8];

- производство - включва изработване на отделните детайли на съответното изделие и сглобяването му [2, 3, 4, 5, 9].
- утилизация - представлява обезвреждане на боеприпаси, излезли от употреба [19, 20, 21].

При производството на отделните детайли, след тяхната механична обработка, обикновено те се галванизират, което създава непосредствена заплаха за здравето на работниците.

Галванизацията представлява, отлагането на функционални покрития, с дебелина от няколко микрометра, които защитават повърхностите на детайлите и повишават техните експлоатационни показатели [10]. Тя включва обработката на изделие, което е изработено от електропроводим метал чрез отлагането на тънък слой от друг метал, с помощта на електрически ток. Първо изделието се потапя във вана от разтвор на метална сол (електролит) и се свързва към отрицателния електрод на източник на прав ток (катод). Металът, който ще бъде отлаган (никел, цинк и др.), също се поставя във ваната и се свързва към положителния катод на източника на постоянен ток (анод). Електрическият ток разтваря метала на положителния полюс, като го превръща в метални йони. Тези метални йони се привличат от отрицателния полюс, където се отлагат под формата на метално покритие. Колкото по-дълго се държи дадено изделието във ваната и колкото по-голям е електрическият ток, толкова по-голяма ще бъде и дебелината на покритието и съответно по издръжлив ще е метала на последващи атмосферни влияния фиг. 1.



Фиг. 1. Процес на галванизация на детайли [14]

Процесът на галванизация е свързан с отделянето на задушливи и отровни химикали, вредни за човешкия организъм [11, 12, 13]. Някои химикали са токсични, и персоналет трябва да е защитен с необходимото предпазно облекло. Автоматизираното и роботизираното на тези процеси, предпазва излагането на човека на вредни въздействия.

Автоматизирането на производствени участъци с галванизационни вани може да се осъществи чрез един или няколко промишлени робота [15, 16, 17], като най-подходящи за целта са порталните роботи фиг.2.



Фиг. 2. Портален робот - Gantry portal robot [18]

Приложение на промишлени роботи при асемблиране на военна продукция [28], [29], позволява безопасно добавяне на пиротехнически смеси (тротил, хексоген, нанотермитна смес и др.), без опасност за персонала.

Във военната индустрия друг процес с повишена опасност за живота и здравето на човека е утилизация или т. нар. обезвреждането на боеприпаси [19, 20, 21]. Има множество проучвания и анализи как този процес може да бъде роботизиран и автоматизиран, като по този начин се предотвратят непредвидени поражения или щети. Много предприятия по света са приложили, роботизирано утилизиране на боеприпаси и химически оръжия [22, 23, 24]. Примери за това са военните химически депа в Пуебло, Колорадо, САЩ [25, 26] фиг.3 и националната лаборатория Sandia в Албакърки, Калифорния [27].



Фиг. 3. Утилизация на военен боеприпас в химическо военно депо Пуебло, Колорадо, САЩ [25, 26]

През 2018 г., Xu Zigang от Института по автоматизация в Шенян, Китай [30] и говорител на China's weapon system intelligent manufacturing, заявява, че 25% от военните производства в Китай, могат да бъдат автоматизирани и роботизирани [31].

### *В. Химическо производство*

Химическата промишленост, превъзхожда другите индустрии по отношение на икономически растеж. Въпреки това, през последните години се забелязва забавяне на този растеж. Това наложи много от компаниите да преосмислят процесите на производство за да бъдат в крак с новите тенденции.

Според доклад на McKinsey [32] от 2020 г., различни фактори са се обединили, за да направят химическата индустрия по сложна за управление. Засилената конкуренция, нарушените вериги на доставки, причинени от глобалната пандемия от 2019 г. и глобалните действия за ограничаване на изменението на климата, доведоха до повече регулиране в цялата индустрия. Много компании вече осъзнават, че трябва да направят промени в дейността си.

Химическата индустрия традиционно бавно възприема нови технологии. Въпреки това подходът „изчакайте и вижте“ вече не е жизнеспособен вариант. Тъй като света, продължи да се движи към повече цифрови и технологични операции, сега е момента да се проучат потенциалните ползи от модерните технологии. Когато времената са трудни, някои компании избират да играят на сигурно. Те намаляват разходите за нови проекти и чакат, докато пазарът се стабилизира. По-добър подход е увеличаване на гъвкавостта в дейността на компанията, така че да може да реагира на по-нататъшни промени в индустрията.

Промишлените роботи са отличен инструмент, за увеличаване на гъвкавостта на производствените дейности. С избора на подходящо крайно изпълнително звено и вид програмиране, промишлените роботи бързо и лесно могат да бъдат препрограмирани според конкретните производствени нужди, което позволява актуализиране на процесите, за да може да се реагира на подобни промени.

„Гъвкавостта, която промишлените роботи предоставят, допринася за подобряване на устойчивостта на компаниите и ги прави добър вариант за химическите компании, желаещи бързо да реагира на новите разпоредби” - Найджъл Плат, търговски и маркетингов мениджър към британския отдел за роботика на ABB [33].

С очаквания ръст, на електромобилите през следващите две десетилетия идва въпроса, как да се рециклират големите литиево-йонни батерии, които ги хранят. Рециклиране на батерии за електрически автомобили, предоставя нови възможности за използване на промишлените роботи в химическата промишленост.

Изследователи от националната лаборатория в Оук Ридж към Министерството на енергетиката в САЩ са разработили роботизирана система за разглобяване на акумулаторни батерии за електрически превозни средства, за безопасно и ефективно рециклиране и повторно използване на критични материали, като същевременно това ще намали и отделяните токсични отпадъци.

Инженерите от ORNL [35] са доказали, че промишлените роботите могат да ускорят разглобяването и да направят процеса по-безопасен за работниците, като същевременно увеличат значително производителността [36, 37, 38].

### *С. Ядренна енергетика*

С комерсиализацията на ядрената енергия, отработения плутоний бива рециклиран обратно в ядрено гориво [39] за термични реактори. Повторната обработка

трябва да бъде, строго контролирана и внимателно изпълнена в модерни съоръжения, с високо специализиран персонал.

Ядрената преработка е химическо отделяне на елементи на делене и неизползвания уран от отработеното ядрено гориво. Първоначалната преработка в миналото е била използвана единствено за извличане на плутоний за производство на ядрени оръжия. Горивните пръти за рециклиране, които пристигат на площадките от атомните електроцентрали (след охлаждане в продължение на няколко години) се разварят напълно в т. нар. „химически вани”, което при неправилно управление на процеса, може да представлява риск от замърсяване.

Сравнително високата цена на процеса е свързана с преработката на отработеното гориво, в сравнение с еднократния горивен цикъл в една централа. Преработката на ядрено гориво се извършва рутинно в Европа, Русия, Япония и САЩ.

В САЩ, администрацията на президента Обама се отдръпна от плановете на президента Буш за преработка в търговски мащаб и се върна към програма, фокусирана върху научните изследвания (свързани с преработката) [40].

Преработка на гориво за граждански цели, отдавна се използва в обекти като: GOGEMA La Hague [41, 42, 43] във Франция, обекта Thorp [44] в Sellafield в обединеното кралство, химическия завод Маяк [45] в Русия, завода Токай [46] в Япония, предприятието Tarapur [47] в Индия, Rawalpindi в Пакистан [48] и за кратко в завода за преработка в West Valley [49] в САЩ.

В цяла Европа има планове за затваряне до 80 ядрени реактора до 2030 [50]. За Великобритания общата цена на ядреното извеждане на реактори от експлоатация само в обединеното кралство в момента се оценява на 60 млрд. британски лири. Националната ядрена лаборатория показва, че 20% от разходите за комплексно извеждане от експлоатация ще бъдат изразходвани за технологията RAS (Роботика и автономни системи) UK [51].



Фиг. 4. Промислен робот Kuka KR150 запечатва капака на контейнер с радиоактивни отпадъци [53]

През 2012 г. една от високо опасните инсталации в предприятието Thorp в Sellafield UK, използва направен по поръчка, дистанционно управляем робот за да изолира риска, причинен от разлива в 60 годишно езеро за съхранение на остатъците от британски ядрен реактор от първо поколение Magnox (**M**agnesium **n**on-**o**xidising) [52].

Робота се състои в отделяне и премахване на излишни материали (тръбопроводи и остатъци в тях), складиране в безопасни контейнери, в зона с висока радиация, последващо почистване и запечатване на замърсената стена на образуваното т. нар. радиоактивно езеро. На фиг.4 е показан промишлен робот Kuka KR150, със специализирани крайни изпълнителни звена, запечатващ капака на контейнер с радиоактивни отпадъци в зона с радиация 280 сиверта/час [54, 55] в завода Thorp в Sellafield [56, 57, 58, 59] UK, затворен през 2021 г. [60].

Френската комисия за атомна енергия (French Atomic Energy Commission - CEA), заедно с компанията Cybernetix е разработила робота Maestro. Той се състои от ръка за управление на робота (ръка „maestro”) и дистанционна („подчинена”) ръка на робота, които се управляват от контролна зала, от двама оператори, с използване на 3D симулационна среда [61, 62, 63].

След аварията във Фукушима, Япония 2011 г., много инженерни екипи от компанията Toshiba [64], използват собствени разработки за почистване на ядрените отпадъци и разглобяването на повредения трети реактор на ядрената централа [65].

Проектиране на промишлени роботи за работа в радиоактивна среда е особено предизвикателство, защото роботите, трябва да запазват своята работоспособност под въздействието на силни радиоактивни лъчения.

#### *D. Производство на голямо габаритни изделия*

При производството на голямо габаритни изделия, все по-често се използват роботизирани производствени линии. Примери за това са използваните в автомобилното производство, самолетостроенето и корабостроенето. Много автоматизирани поточни линии с промишлени роботи се използват в заводите на AUDI [66, 67], BMW [68, 69], Chrysler [70], Ford [71] и др.



Фиг. 5. Система FAUB с промишлени роботи Kuka в завода на Боинг в Париж, Франция [74]

Много компании използват свои собствени разработки за сглобяването на отделните детайли, като авиационния концерн Боинг, създал системата FAUB (Fuselage Automated Upright Build) за сглобяване на корпусите на своите самолети фиг.5 [72, 73, 74].

Индустриални концерни които са създали т. нар Gantry robot system, използвани при обработка и монтаж на голямо габаритни детайли, при производство на океански кораби [79], подводници [80], самолети и др. са Gudel [75], Cloos [76], IGM [77], Kranendonk [78] и др.

### III. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ В ОПАСНИ ЗА ЧОВЕШКОТО ЗДРАВЕ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СРЕДИ

Въз основа на извършения анализ, може да се определят следните преимущества, които осигурява използването на промишлени роботи в опасни за човешкото здраве производствени среди:

#### A. Бедопасност на работната среда

Използването на промишлени роботи, води до директно намаляване на опасностите за работниците и обслужващия персонал в работните зони. В резултат на това отпада необходимостта от използване на лични предпазни средства, което допълнително може да спести време и да подобри ефективността на работа.

#### B. Работа с токсични материали

Промислените роботи, могат лесно да манипулират с токсични материали и химикали, без риск за работниците. За целта е необходимо, в конструкцията на промишления робот да се добавят елементи, които да защитят самия робот от действието на манипулираните токсичните материали и химикали.

#### C. Работа в чисти помещения

Използването на промишлените роботи в чисти помещения, значително намалява риска от външно замърсяване.

#### D. Подобряване на качеството

Хората по своята същност са неспособни когато работят, да изпълняват една и съща операция, през продължителен период от време, по един и същ начин. Това не е проблем за промишлените роботи, което е предпоставка за съществено подобряване на качеството на изпълняваните операции.

#### E. Подобряване на производителността

Операциите, необходими за осигуряване на безопасността на работниците, добавят допълнително време, без добавяне на стойност при изпълнение на конкретна операция. При използването на промишлени роботи, необходимостта от тези операции отпада, в резултат на което производителността се повишава.

#### F. Минимализиране на загубите

Промислените роботи позволяват оптимизиране на изпълняваните от тях операции, което позволява намаляване на използваните спомагателни материали и отделяните отпадъци, в резултат на което се намалява себестойността на продукцията.

#### G. Съкращаване на престойте

Промисленият робот, е подходящ за изпълнение на задачи, без прекъсване за продължителен период от време. Това заедно с възможността за бързо пренастройване, значително намалява времето на извън цикловите загуби.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на промишлените роботи намира все по широко приложение за операции изпълнявани в опасни среди.

Определени са производствата, създаващи най-ярко изразени опасности за живота и здравето на заетия в тях персонал и преимуществата, които използването на промишлени роботи в тези производства осигурява.

Основните недостатъци, при използването на промишлени роботи за заместване на човека, във все повече опасни дейности, са необходимостта от допълнителни капиталовложения и високо квалифициран персонал, който да програмира и поддържа роботите.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Тази работа е извършена с финансова подкрепа от гранта № BG05M2OP001-1.002-0011 „MIRACle (мехатроника, иновации, роботика, автоматизация, чисти технологии)“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“ (2014 - 2020 г.) и съфинансирани от Европейския съюз чрез европейските структурни и инвестиционни фондове.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] [https://www.mod.bg/bg/doc/military\\_standardization/2007\\_V2032007.pdf](https://www.mod.bg/bg/doc/military_standardization/2007_V2032007.pdf)
- [2] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2632-959X/abbc7>
- [3] <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/icrc-002-4244.pdf>
- [4] <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/bitstream/handle/10355/11999/research.pdf?sequence=3>
- [5] <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOCPJ/TOCPJ-2-7.pdf>
- [6] Средства поражения и боеприпаси – учебник, А.В.Бабкин, В.А.Велданов, Изд-ва МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2008 – 984 с.
- [7] В. Н. Дик, Взрывчатые вещества, пороха и боеприпасы отечественного производства, Минск Охотконтракт, справочник в двух частях, 2009
- [8] А. А. Бова, С. С. Горохов, Военная токсикология и токсикология экстремальных ситуаций – ВМФ в Белорусском государственном медицинском университете, Минск, 2005
- [9] [http://publications.europa.eu/resource/cellar/4d41df9c-ebbb-4a52-afff-cca173253551.0016.02/DOC\\_2](http://publications.europa.eu/resource/cellar/4d41df9c-ebbb-4a52-afff-cca173253551.0016.02/DOC_2) Контрол на износа на изделия с двойна употреба (europa.eu)
- [10] <https://www.galvinfo.com/wp-content/uploads/sites/8/2017/12/Galvanizing-2015.pdf>
- [11] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2872358/>
- [12] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18991923/>
- [13] [https://www.mh.government.bg/media/filer\\_public/2018/10/25/zzvvh\\_vs.pdf](https://www.mh.government.bg/media/filer_public/2018/10/25/zzvvh_vs.pdf)
- [14] Галванични покрития и услуги - ТЕРЕМ - Ивайло гр. Велико Търново (ivailo.com)
- [15] [https://english.metiz.com.tw/plating\\_hot-deep-zinc.html](https://english.metiz.com.tw/plating_hot-deep-zinc.html)
- [16] <https://www.progateg.se/wp-content/uploads/2014/02/05-E-Dokka-Type-K2-A4-01.pdf>
- [17] <https://www.gudel.com/products/robots/gantry-robot>
- [18] [https://www.army.mil/article/239340/army\\_seeks\\_funding\\_to\\_modernize\\_ammunition\\_manufacturing\\_capabilities](https://www.army.mil/article/239340/army_seeks_funding_to_modernize_ammunition_manufacturing_capabilities)
- [19] [https://pp.mod.bg/sites/pp.mod.bg/files/specifikacii/75\\_unishchozhavane\\_na\\_boeprisasi\\_elementi\\_za\\_tyah\\_vzrivni\\_veshchestva\\_i\\_piroteh\\_nicheski\\_izdeliya\\_chrez\\_kontrolirano\\_vzrivnyavyaneizgaryane.pdf](https://pp.mod.bg/sites/pp.mod.bg/files/specifikacii/75_unishchozhavane_na_boeprisasi_elementi_za_tyah_vzrivni_veshchestva_i_piroteh_nicheski_izdeliya_chrez_kontrolirano_vzrivnyavyaneizgaryane.pdf)
- [20] <https://www.lex.bg/en/laws/ldoc/2136697616>
- [21] <https://www.mvr.bg/docs/default-source/normativnauredba/7e5de99e-zobvvpj.pdf>
- [22] <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2021/11/18/robots-speed-up-chemical-weapon-disposal-process>
- [23] <https://www.assemblymag.com/articles/96763-robots-automate-disassembly-of-chemical-weapons>
- [24] <https://crgautomation.com/>



- [25] <https://www.cma.army.mil/pcd/>
- [26] <https://www.cpr.org/2018/06/14/pueblo-chemical-depot-restarts-weapons-disposal/>
- [27] [https://www.sandia.gov/research/robotics/high\\_consequence\\_automation/demil.html](https://www.sandia.gov/research/robotics/high_consequence_automation/demil.html)
- [28] <https://wonderfulengineering.com/robots-taken-5/>
- [29] <https://www.jhrobotics.com/ammunition-firearms-pg.html>
- [30] <http://english.ia.cas.cn/>
- [31] <https://www.scmp.com/news/china/diplomacy-defence/article/2126365/why-chinas-ammunition-factories-are-being-turned-over>
- [32] <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/the-state-of-the-chemical-industry-it-is-getting-more-complex>
- [33] <https://www.industrialtechnology.co.uk/products--transforming-your-sustainability-with-robotic-automation.html>
- [34] <https://spectrum.ieee.org/fixing-the-chemical-industrys-sustainability-problem>
- [35] <https://www.ornl.gov/>
- [36] <https://interestingengineering.com/disassembly-robot-make-ev-battery-recycling-almost-10x-faster>
- [37] [https://www.researchgate.net/publication/277712748\\_Robot\\_Assisted\\_Disassembly\\_for\\_the\\_Recycling\\_of\\_Electric\\_Vehicle\\_Batteries](https://www.researchgate.net/publication/277712748_Robot_Assisted_Disassembly_for_the_Recycling_of_Electric_Vehicle_Batteries)
- [38] <https://www.mtdmfg.com/news/veolia-to-open-new-electric-vehicle-battery-recycling-plant-in-uk/>
- [39] [https://en.m.wikipedia.org/wiki/MOX\\_fuel](https://en.m.wikipedia.org/wiki/MOX_fuel)
- [40] <https://www.nature.com/articles/460152b>
- [41] [https://www.researchgate.net/publication/280889306\\_Dedicated\\_and\\_industrial\\_robotic\\_arms\\_used\\_as\\_force\\_feedback\\_telerobots\\_at\\_the\\_AREVA-La\\_Hague\\_recycling\\_plant](https://www.researchgate.net/publication/280889306_Dedicated_and_industrial_robotic_arms_used_as_force_feedback_telerobots_at_the_AREVA-La_Hague_recycling_plant)
- [42] [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/34/087/34087505.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/34/087/34087505.pdf)
- [43] [https://www.researchgate.net/publication/235309638\\_Force-feedback\\_teleoperation\\_of\\_an\\_industrial\\_robot\\_in\\_a\\_nuclear\\_spent\\_fuel\\_reprocessing\\_plant](https://www.researchgate.net/publication/235309638_Force-feedback_teleoperation_of_an_industrial_robot_in_a_nuclear_spent_fuel_reprocessing_plant)
- [44] [https://gigazine.net/gsc\\_news/en/20181128-inside-thorp-nuclear-clean-up-robots/](https://gigazine.net/gsc_news/en/20181128-inside-thorp-nuclear-clean-up-robots/)
- [45] <https://www.neimagazine.com/news/newsrussias-mayak-proceeds-with-decommissioning-remediation-and-modernisation-8494308>
- [46] <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-02/rwm-r2011-2.pdf>
- [47] [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/33/052/33052267.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/052/33052267.pdf)
- [48] <https://nuke.fas.org/guide/pakistan/facility/rawalpindi.htm>
- [49] [https://buffalonews.com/news/local/demolition-at-toxic-west-valley-is-on-track-but-moving-slowly-by-design/article\\_f9d868c8-ce52-5a07-9d88-7557702d3da3.html](https://buffalonews.com/news/local/demolition-at-toxic-west-valley-is-on-track-but-moving-slowly-by-design/article_f9d868c8-ce52-5a07-9d88-7557702d3da3.html)
- [50] [https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear\\_power\\_phase-out](https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_phase-out)
- [51] [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/249884/uk\\_strategy\\_for\\_radioactive\\_disc\\_harges.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/249884/uk_strategy_for_radioactive_disc_harges.pdf)
- [52] <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnox>
- [53] <https://www.bimplus.co.uk/robots-decommissioning-sellafields-radioactive-was/>
- [54] <https://www.bbc.com/news/business-46301596>
- [55] <https://www.gov.uk/government/publications/annual-research-and-development-review-201819/annual-research-and-development-review-201819>
- [56] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Reprocessing-ceases-at-UKs-Thorp-plant>
- [57] <https://www.bbc.com/news/uk-england-cumbria-18353122>
- [58] <https://cacm.acm.org/news/233206-inside-sellafields-death-zone-with-the-nuclear-clean-p-robots/fulltext?mobile=false>
- [59] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Reprocessing-ceases-at-UKs-Thorp-plant>
- [60] [https://fissilematerials.org/blog/2020/08/uk\\_sellafield\\_magnox\\_repr.html](https://fissilematerials.org/blog/2020/08/uk_sellafield_magnox_repr.html)
- [61] <https://www.foronuclear.org/en/updates/in-depth/the-latest-generation-of-robots-for-nuclear-dismantling/>
- [62] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Dismantling-of-Marcoule-reprocessing-cell-approach>
- [63] <https://www.alamy.com/technicians-monitor-the-mis-inspection-machine-in-service-robot-which-inspects-inside-the-reactors-tank-during-programmed-servicing-and-maintenance-at-the-bugey-nuclear-power-plant-in-saint-vulbas-near-lyon-april-19-2011>
- [64] <https://www.theverge.com/2016/1/18/10786688/toshiba-robot-fukushima-power-plant-cleanup>
- [65] <https://spectrum.ieee.org/toshiba-amphibious-robot-for-fukushima-reactor-pool>
- [66] <https://www.gizmodo.com.au/2015/03/inside-audis-robotic-car-factory-of-the-future/>
- [67] [https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads\\_ed/local\\_us/web\\_dwl\\_promotion/Audi\\_Case\\_Study.pdf](https://www.phoenixcontact.com/assets/downloads_ed/local_us/web_dwl_promotion/Audi_Case_Study.pdf)
- [68] <https://diginomica.com/factory-future-full-autonomous-robots-being-built-bmw-nvidia-share-their-progress>
- [69] [https://www.researchgate.net/publication/235259866\\_BMW\\_lifts\\_robot\\_total\\_to\\_500\\_at\\_Plant\\_Oxford](https://www.researchgate.net/publication/235259866_BMW_lifts_robot_total_to_500_at_Plant_Oxford)
- [70] <https://www.sme.org/technologies/articles/2016/june/chrysler-implements-flexible-manufacturing/>
- [71] <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2019/09/26/ford-choreographs-robots-to-help-people--and-each-other--on-the-.html>
- [72] <http://home.iitk.ac.in/~mohite/publications.html>
- [73] <https://www.assemblymag.com/articles/92790-assembly-automation-takes-off-in-aerospace-industry>
- [74] <https://www.flightglobal.com/analysis-boeing-testing-robots-to-improve-777-productivity/114328.article>
- [75] <https://www.automate.org/news/gudel-introduces-new-and-improved-high-payload-gantry-robots>
- [76] <https://www.cloosrobot.com/de-us/cloos-tv/cloos-robot-welding-system-for-efficiency-and-flexibility-at-albert-frankenthal/>
- [77] <https://www.igm-group.com/en/products/robot-workpiece-periphery-and-portal-systems>
- [78] <https://www.kranendonk.com/>
- [79] <https://www.kranendonk.com/branches/shipbuilding/>
- [80] <http://digital.csic.es/bitstream/10261/2905/1/Automation.pdf>

## APPLICATION OF INDUSTRIAL ROBOTS IN HAZARDOUS TO HUMAN HEALTH PRODUCTION ENVIRONMENT

Boryan Vladimirov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: bvladimirov@tu-sofia.com

Stilyan Nikolov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: st\_nikolov2@tu-sofia.bg

Slav Dimitrov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

**Abstract:** The article examines the main industries with high risk to the health of the individual worker. The main advantages provided by the use of industrial robots in the robotization of these productions are defined.

# ANALYSIS OF THE CRITERIA FOR MOBILITY OF SERVICE ROBOTS

Plamen Raykov  
Bulgarian Academy of Sciences,  
Institute of Robotics,  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: plamen.raykov@abv.bg

Nina Valchkova  
Bulgarian Academy of Sciences,  
Institute of Robotics,  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: nvalchkova@abv.bg

Roman Zahariev  
Bulgarian Academy of Sciences,  
Institute of Robotics,  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: zahariev@robotics.bg

**Abstract:** This article discusses the criteria for choosing the start of mobility for service robots. The growth of the production and use of service robots worldwide is considered and the tendencies of development in this field of human knowledge are shown. The advantages and disadvantages of the various systems for the realization of mobility of service robots are considered. Opposing are the mobile anthropoid walking service robots and the mobile service robots built on the basis of wheelchairs. The experience of the Institute of Robotics - BAS in the creation of mobile service robots from the AnRI series (Anthropomorphic Robot Intelligent) is also shown. They are designed to serve disadvantaged people and are built on the basis of wheelchairs. One of them is equipped with a manipulator to serve disadvantaged people and the other is equipped with a large screen so that it can be used in the process of educating children in special education. Finally, a conclusion is made about the advantages of mobile systems using wheels designed for service robots.

**Keywords:** service robots, mobile robots, robot control, user interface.

## I. INTRODUCTION

Nowadays, more and more requirements are placed on the efficiency of the production of service robots. In recent decades, automation and modernization of production have served as a basis for the development of computer technology in this area and their very rapid development. The use of these technologies has a beneficial effect on the direct replacement of man by machine. Man is freed from hard and often very monotonous work. In some sectors of industry, this is very useful, especially when one has to work in unfavorable conditions and there is a risk of injury or non-compliance with the conditions of production. Robotization is widely used in mass and stereotyped productions, and nowadays also in small-scale production in small series. (Fig.1) This makes it possible to create robots that help serve people with special needs such as special robots with digital control, as well as auxiliary robotic manipulators used mainly in medicine.

## II. THE RELEVANCE OF THE PROBLEM

World sales of non - industrial robots are mainly in areas such as:

- service robots;
- professional robots for bomb disposal or for the needs of surgical systems in medicine;
- personalized robots for servicing people's live (vacuum cleaners, mowers, all kinds of hobby kits and

toys), as well as for servicing people with reduced mobility.

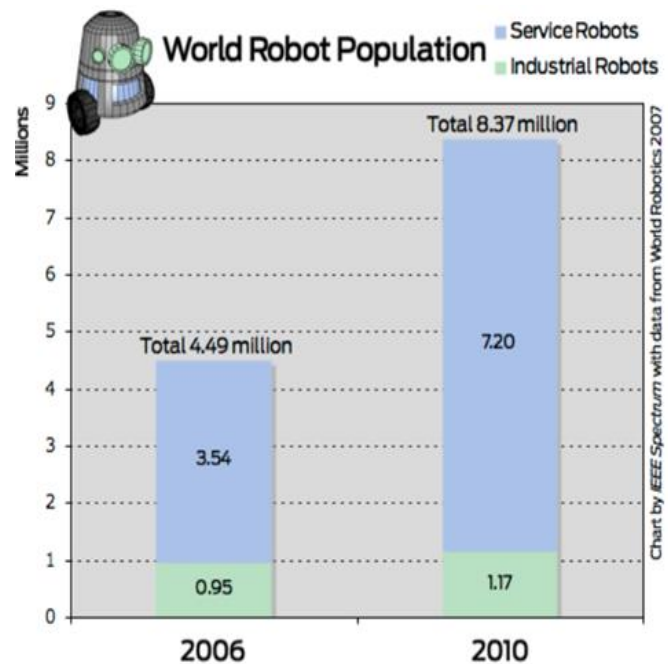


Fig. 1. Development of robotics worldwide.

A service robot is a freely programmable mobile device that partially or fully automatically performs tasks that are not directly intended for industry, or production of products, but are designed to help and provide services to people and facilities [11]. Conditionally we can divide them into two categories - robots for personal service and professional service robots.

The service robots are partially or completely autonomous and are mainly equipped with a mobile platform, with different types of musculoskeletal systems, ensuring their movement in the working environment. Many robotic platforms have been developed in recent decades, most of which include mobility, some sort of autonomous navigation, and more recently manipulation capabilities. The implementation of these robots is far from complete, showing only those with more complex functionality. However, it is difficult to find service robot platforms that also include vision capability with object recognition, gesture recognition, and scene modeling, comprehensive thinking and component planning, and the development of user interaction concepts [12].

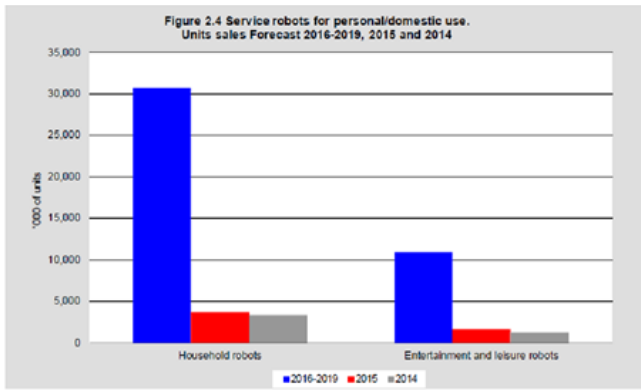


Fig. 2. Sales of service robots for personal use [13]

Estimates for the development of service robots are based on statistics that for the period 2016-2019 sold about 42 million service robots for personal and home use (Fig.2), [15]. It is also known that in the period 2016-2019, about 30 million cleaning robots were sold. Service robot suppliers have already seen a sharp increase in sales of companion robots/assistants/humanoids in 2010. But now it is observed that between 2016 and 2019, about 8,100 units were sold. Due to their high cost, there are still no significant sales of humanoid robots as companions to perform typical daily tasks in people's offices or homes. [16] About 11 million robots for games and hobbies are expected to sell in the coming years at a cost of about \$ 9.1 million. Sales of robots to support the elderly and disabled will be around 37,500 for the period 2020-2022. This market is expected to grow significantly over the next 20 years [17].

According to UN statistics from 2015, the number of elderly people worldwide is increasing [18]. One way to solve the problems of an aging population is to create service robots to be their personal helpers or to replace some of the daily human activities. The aim is to develop a complete concept suitable for a product vision, combining technological aspects with a compact and easy-to-use design.

According to the International Federation of Robotics (IFR), trends in the development of service robots in the world are increasing and in 2018 sold 16.3 million units, of which \$ 22.1 million for home and personal use, for 3.7 billion dollars (271,000 pieces) for professional use. It is estimated that in 2021 the same number of service robots for home and personal use will be sold, and compared to those produced between 2013-2016 will be over 22 million.

### III. TECHNICAL DEVICES, CALLED SERVICE ROBOTS

Technical devices, called service robots allow the elderly and people with disabilities to live independently in their homes if they so wish. It is the service robots that are the technical means that perform these functions. These robots have a good navigation system, and the ability to identify obstacles and specific objects that will be manipulated or moved or perform other tasks to support human activities. Therefore, the robotic home assistant must be able to perform non-specific tasks such as picking up and transporting objects, such as books, medicines, etc; assistance in grabbing, carrying, and lifting objects; assistance in getting out of bed or chair as a mobility aid, sufficient capacity for communication and social integration, knowledge of driving electrical devices

such as television, stereo sound systems, etc., pre-trained schedule for medication and specific needs of services, monitoring of people's vital signs and an emergency call system if necessary. The aim is to develop a complete concept suitable for a product vision, combining the above aspects with a compact and easy-to-use design. The possible ways to create mobility of such a service robot, according to the environment in which it will move are systematized in Fig.3.

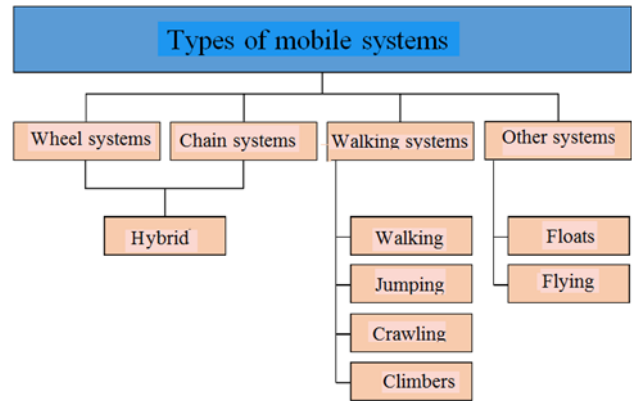


Fig. 3. Mobile systems for driving service robots [14].

Service robots are mostly used in non-production processes and their largest increase has been recorded in the field of servicing unmanned robots for defense tasks, of a purely military or defense nature or for security, rescue and firefighting purposes.

Agricultural robots also account for more than 1/3 of the total professional robotics. Although such robots could take on a large number of tasks in agriculture and forestry, such as harvesting, spraying plants, planting, or pruning trees, these stringent activities are too complex and the solutions obtained are still very expensive.

A lasting trend is the construction of service robots to communicate with people designed to help the elderly and people with disabilities and are often used for rehabilitation purposes, in order to improve the physical and cognitive functions of those served. One of the directions is the construction of exoskeletons. It is known that such prototypes were built for children and the elderly in Bulgaria at the Institute of Mechanics - BAS. Another area is in the field of humanoid robots (Fig.4), which can be in addition to home help, monitoring the functional status of elderly family members when they are alone in the house, organizing food assistance, presentation and entertainment functions, and security on sites, etc. Prototypes of service robots from the AnRI (Anthropomorphic Robot Intelligent) series were realized at the Institute of Robotics - BAS.



Fig. 4. An example of the development of humanoid robots.



#### IV. DESCRIPTION OF THE CREATED ROBOTS "ANRI-1" & "ANRI-2"

##### A. Requirements for Functional Characteristics of AnRI robots

The aim of this activity is to study the extent to which the developed robot contributes to ensuring a dignified and independent life (with a focus on youth) of people with disabilities. The functional characteristics of the robot will be analyzed in terms of the goals set for serving disadvantaged people. Here are some specific features, such as planning a safe trajectory in the context of the dynamically changing environment in which the person being served lives. Also, the use of sensor information from "infrared" sensors and "ultrasonic" sensors, as well as "End-Off" sensors built into the robot, to prevent collisions in the work environment. Ability to build databases with the inclusion of libraries of ready-made programs to execute standard commands such as "Bring me the medicine!", "Bring me the milk from the fridge!" and others are being realized. In the experimental use of robots, the results of the application of the robot as a teacher in special education will be analyzed.

##### B. Reliability requirements for AnRI robots.

Robust reliability requirements have been increased compared to standard human-machine interface requirements for the following reasons:

- The robots work in close proximity and in contact with the person served.
- Increased responsibility for the implementation of tasks for which there is no alternative solution and failure to perform can lead to unpredictable and tragic consequences.
- The care of disadvantaged people is extremely important to be carried out with reliable equipment, because otherwise there may be significant mental injuries.
- Deviation from the normal operation of the robot can also lead to specific injuries in contact with the serviced person.

An Attestation Card has been developed for the implemented project, in which proposals will be made by pedagogical specialists in experiments with people from the target group and so they will be able to express their opinion on the use of AnRI robots to serve disadvantaged people.

##### C. Description of the design of "AnRI-1" and "AnRI-2" robots.

The robots "AnRI -2" and "AnRI -1" (Fig. 5 and Fig. 6) are realized on the basis of constructions of mobile platforms with four wheels, two of which are driven and two are independent "free" wheels. The wheels in the AnRI-2 robot are arranged in the shape of a cross. The "free" wheels are on one of the rear and one on the front of the platform. The driven wheels are on both sides. With the help of this platform design, it is possible to control the movements of the robot around the vertical axis, around the geometric center of the structure on the left and right sides by applying different torque to the drive wheels [8]. The hub of the driven wheels has built-in electric motors powered by direct current from a rechargeable battery.

The driven wheels of the robot platform use "worm" gearboxes that do not allow reversing due to their braking effect.



Fig. 5. View of the Service Robot "AnRI-2"

The robot "AnRI -1" has a similar construction, but it has a different position on the wheels, which are mounted in the form of a "triangle". In front of the two vertices of the triangle are the driven wheels, and on the third vertex in the back are two "free" wheels.

The anthropomorphic type manipulator with three regional and three local degrees of mobility and a grapple with separate drives and three fingers is mounted in the upper part of the robot "AnRI -1" [6,7].

Based on servo controllers with feedback from incremental sensors located in each degree of mobility, the drive of the Robot Manipulator is realized [10]. All regional joints are equipped with electromagnetic brakes [9].



Fig. 6. View of the Service Robot "AnRI-1"

#### D. Drive and Technical Characteristics of the Robot Manipulator

Technical characteristics of the Robot Manipulator are as follows:

- Coordinate system type is an anthropomorphic type.
- Structure: 3 regional and 3 local rotational degrees of mobility + driven by the gripper.
- Structure formula is RRR / RRR + Gr.
- Positioning accuracy is  $\pm 0.05$  mm.
- Repeatability positioning accuracy is  $\pm 0.05$  mm.
- Maximum travel speed of the manipulator is 0.1 m / sec.
- Maximum travel speed of the robot is 0.3 m / sec.

- Power: Rechargeable 12 V. (Rechargeable battery required).
- Weight of the manipulator is 6.75 kg.
- Working area dimensions in the horizontal plane are
- 1m x 1m.
- Loading capacity is 1.5 kg.
- Motor drives are - Electric - DC Servo.
- The operating system is the Robot Operating System (ROS).
- It is possible to control the speed of movement in both regional and local degrees of mobility of the Manipulator.

#### E. Control System for AnRI. Robots.

The hierarchical, distributed and microprocessor type is the Robot Control System. It consists of different levels and manages various devices and systems. It is possible to use appropriate software modules [1,5]. The connection between all control devices is made via the serial interface RS 232. The CPU module for total control of the robot is based on a 32-bit microprocessor unit with the architecture of the processor family Cortex-M [6]. In our opinion, the Cortex-M4 family is very suitable for robot control applications. It integrates a digital signal processing unit (DSP) with floating-point support processing for a fast and energy-efficient algorithm. Therefore, Cortex-M4 can be used in digital control applications such as motor control, sensor synthesis, and power management [1].

The practical implementation of an architectural control system based on Cortex-M4 is based on the created universal I/O board for service robots. Control of a set of digital and analog inputs, 10/100 Ethernet interface, PWM control and used CAN, SPI, and I2C buses [2, 3, and 4] is realized on the same basis. This configuration allows for a flexible solution for connecting various sensors and robot drives. At the same time, the use of the modern Cortex-M4 architecture simplifies the design and reduces the number of external components. This significantly improves the reliability of the whole system [6]. Using Mixed Reality Server Node plays a special role. This component provides a combination of information from the mapping server, navigation component, and robot knowledge base for environmental objects. The information is sent as an augmented reality stream to the graphical user interface (GUI) user interface. It performs part of the data processing before sending it to the user interface [1].

#### V. CONCLUSION

Based on the described data and from the accumulated personal experience, it can be concluded that there is an increasing trend to create wheeled personal robots with one or two hands with three to five degrees of mobility or a tray for moving food, medicine, or other items to help mostly the elderly or the disadvantaged. In these service robots, along with the user bases of knowledge about the environment in which it operates, it is necessary to be equipped with communication tools to contact the supervisor, as well as to assess critical situations related to the behavior and health of the person served.

It can be summarized that the entry of service robots into people's lives will be increasing. From robots for simple household services such as cleaning robots, vacuum cleaners, and lawnmowers, cleaning robots with detergents for swimming pools too, particularly highly intelligent robots for entertainment, games, and educational robot lecturers.

Also, the use of autonomous vehicles without a driver is increasing and they use highly intelligent navigation technology, which allows mobile robots autonomous movement in an unstructured environment, were given or recognized by the sensors of the service robot objects to interpret and classify knowledge would be used in the service of man. Such are the robots created and tested at IR-BAS.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The authors acknowledge the financial support of the project with Administrative Contract № KP-06-H57/8 from 16.11.2021. "Methodology for Determining the Functional Parameters of A Mobile Collaborative Service Robot Assistant in Healthcare", funded by the "Competition for Funding Basic Research - 2021." from the Research Sciences Fund.

#### REFERENCES

- [1] G Angelov, G., et al. (2011) „Remote Interface Communication to ROS Based Robotic System”; Proceedings of the Twenty First International Conference Robotics and Mechatronics; "Invited Session - Austrian-Bulgarian Automation Day"; 19-21 September 2011; Varna Bulgaria; ISSN 1310-3946; pp. 22 – 27. <https://www.acin.tuwien.ac.at/fileadmin/acin/ijaa/ijaaig20h2.pdf#page=22>
- [2] Chivarov N., Penkov Sv., Angelov G., Radev D., Shivarov N. and Vladimirov Vl., (2012), Mixed Reality Server and Remote Interface Communication for ROS Based Robotic System, *International Journal Automation Austria (IJAA)*, ISSN 1562-2703, pp.144-155. <https://www.acin.tuwien.ac.at/fileadmin/acin/ijaa/ijaaig20h2.pdf#page=42>
- [3] Chivarov N., Paunski Y., Ivanova V., Vladimirov V., Angelov G., Radev D., Shivarov N., (2012), Intelligent modular service mobile robot controllable via internet, In: *IFAC International Conference "SWISS 2012"*, June 11th -13th, Waterford, Ireland, pp 149-153. <https://doi.org/10.3182/20120611-3-IE-4029.00029>
- [4] Kaburlasos, V.G., Dardani, Ch., Dimitrova, M., & Amanatiadis, A. (2018). Multi-robot engagement in special education: a preliminary study in autism. *Proceedings of the 36th IEEE International Conference on Consumer Electronic (ICCE)*, Las Vegas, USA, 12-15 January 2018, pp. 995-996. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8326267>
- [5] Paunski Y., R.Zahariev, (2017), Service robots control system, based on "Arm cortex M" architecture microprocessor system", *Pr. TU Sofia, XXVI International Conference „ADP-2017“*, June, 2017, Sozopol, Bulgaria, pp. 300-304. <https://mf.tu-sofia.bg/MNTK%20ADP%20site/4%20Proceeding/2017/Materials/NapraVlenie-7/4-7-R.Zahariev-2.pdf>
- [6] Probst, R., P. Kopacek (1996), Service Robots: Present Situation and Future Trends, *The Second ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems*, Vienna, Austria, 1996, pp.45-52 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017427376>
- [7] Khatib O., P.Moore (1997), Sensor Based Control of Robots. *Stanford University Publ*, USA, 1997.
- [8] [8] Serpanos, D., (2018), The Cyber-Physical Systems Revolution. *J. Computer*, V.51(3), (2018), pp.70-73. DOI: <https://doi.org/10.1109/MC2018.1731058>
- [9] Valchkova N., R. Zahariev (2019) Optimization of Model Operator for Service Robot, Intended to Service Persons with Disability. *Pr. "TECIS-19" IFAC Conference on International Stability, Technology and Culture, 26-28 September, Sozopol, Bulgaria.* <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.468>
- [10] Zahariev R, N. Valchkova, G. Angelov, Y. Paunski, and A. Krastev. (2019), Robots for Help in Pedagogy and Rehabilitation. In *Pr. 20-th International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'19)*, ACM, New York, NY, USA, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1145/3345252.3345253>
- [11] Hesheng Wang, Introduction to Robotic. Course Information, <https://robotics.sjtu.edu.cn/upload/course/5/files/Introduction.pdf>.
- [12] Sciavicco L., B.Siciliano (2000) Modelling and Control of Robot Manipulators (Second Edition), Springer-Verlag, London, 2000.
- [13] Chikurtev D., (2017) Dissertation on the topic: Research and management of service robots for human support. Bulgarian Academy of Sciences - Sofia, 2017. (In Bulgarian)
- [14] Hotar V. (2019) Prehled a charakteristika mobilnih a servisnich robotu (in Czech) ZS 2019. [https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/339197/mod\\_resource/content/1/ARS-10.Servisni-roboty-2.pdf?forcedownload=1](https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/339197/mod_resource/content/1/ARS-10.Servisni-roboty-2.pdf?forcedownload=1)
- [15] International Robotics Federation - <https://ifr.org/service-robots/>
- [16] International Organization for Standardization - <https://www.iso.org/standard/55890.html>
- [17] Statistics on service robots (2016) - [https://ifr.org/downloads/press/Executive\\_Summary\\_Service\\_Robots\\_2016.pdf](https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_Service_Robots_2016.pdf)
- [18] UN statistics (2015) <https://esa.un.org/unpd/popdev/Profilesofageing2015/index.ht>

# MOBILE ROBOTIC PLATFORM CALLED 3PI, DESIGNED FOR MEDICAL PURPOSES AND FOR USE IN TRAINING

Vasil Tzvetkov  
Bulgarian Academy of Sciences,  
Institute of Robotics,  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: cvetkov\_v@abv.bg

Nina Valchkova  
Bulgarian Academy of Sciences,  
Institute of Robotics,  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: nvalchkova@abv.bg

Roman Zahariev  
Bulgarian Academy of Sciences,  
Institute of Robotics,  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: zahariev@robotics.bg

**Abstract:** Described Mobile Robotic Platform, called 3pi, is an original design that is suitable for use as an experimental prototype with the possibility to develop on its basis a robot for patient care in healthcare using its capabilities for programmed independent movement based on interpretation of the information received from its sensory systems. This will allow activities such as delivering medicines to hospital rooms or other activities to treat infections patients without the risk of infecting hospital staff. Also, provided that a decontamination lamp is installed, it will be possible to clean the premises and corridors of the hospital from an existing infection. It is possible that the robot can also be used for training in robotics and mechatronics for those who want to move from non-programmable to programmable robots with sensory feedback from the environment. The development is in connection with financial support of the project with Administrative Contract № KP-06-H57/8 from 16.11.2021. "Methodology for Determining the Functional Parameters of a Mobile Collaborative Service Robot Assistant in Healthcare", funded by the "Competition for Funding Basic Research - 2021." from the Research Sciences Fund.

*Keywords:* service robots, mobile robots, robot control, sensors interface

## I. INTRODUCTION

At the present stage there is a great need for the creation and use of robotic platforms in order to create mobile service robots designed to service various human activities. These robotic platforms should have some intelligence in recognizing the changing environment in which they move. Based on the information received from a well-established sensor system, it is possible to make tactical decisions to achieve pre-set strategic goals by the supervisor - programmer. Also, in making decisions, the information received about the pre-imposed restrictions is considered so as not to collide with well-known obstacles in advance. Based on the used elements of artificial intelligence, the process of recognition, identification of the respective event, making a tactical decision is realized and after its implementation feedback is obtained on the position of the robot in space in order to report the result [10]. Regardless of whether it is positive or negative towards the set strategic goals, a self-learning procedure is triggered, accumulating the received information in a database with a view to its use in subsequent actions of the robot [6].

Often the architecture of the service robot control system is built from Low level, in which the information from the sensor system is received, processed appropriately and used in the construction of a suitable robot trajectory. There are also

the executive bodies, usually the engines that implement the decisions taken. This includes the power supply system, which is usually controllable and meets the robot's requirements for energy supply [1].

On the other hand, other intelligent functions such as decision-making to achieve strategic goals, interfaces with other components of the robot, communication with the supervisor or via the Internet with other users, database management in self-learning processes and other functions are performed by the High Level of the architecture of the control system of the service robot [11].

This article discusses the Robotic Platform in which the Low Level of Robot Control has been implemented and envisages the future development of the rest of the Service Robot, designed to serve patients in medical institutions [3].

## II. DESCRIPTION OF THE 3PI ROBOTIC PLATFORM

The 3pi robot is a programmable mobile platform that includes two micro-reducers, five reflectance sensors, an 8 × 2-character LCD display, a piezo buzzer and three custom settings buttons. This model of wheeled robots is based on a C-programmable ATmega328 AVR microcontroller and is capable of reaching maximum speeds above 1 m / s.

It is designed for optimal performance in tasks for following lines and moving in mazes. The 3pi wheeled robot is small (9.5 cm in diameter, 83 g weight without batteries), powered by four AAA batteries, while a closed power supply system provides a constant 9.25 V to the motors, regardless of the battery charge level. The regulated voltage allows the 3pi to reach speeds of up to 1 m / s, while making precise turns and rotations that do not change and retain their dynamic characteristics depending on the battery voltage. Provided that it develops as a robot to help health care, its overall dimensions will increase and it will be equipped with a power supply that will allow reaching maximum speeds up to 1 m / s. The significantly increased load capacity will be used to carry the necessary robotic equipment, as well as various loads in connection with its functional purpose, such as the decontaminating UV lamp mounted on board. It is expected to be able to carry medicines or other light loads from medical care up to 1.5 kg [9].

The robot control system is built as an architecture based on the ATmega328P AVR microcontroller. The Microchip (formerly Atmel) microcontroller runs at 20 MHz and includes 32 KB of flash memory, 2 KB of RAM and 1KB of permanent EEPROM memory. The popular GNU C / C ++ compiler works with 3pi, Atmel Studio and provides a

convenient development environment, and the extensive set of libraries provided by Pololu facilitates interoperability with all integrated hardware. There are also many additional modules that can be used to upgrade the 3Pi robot's sensor information system.

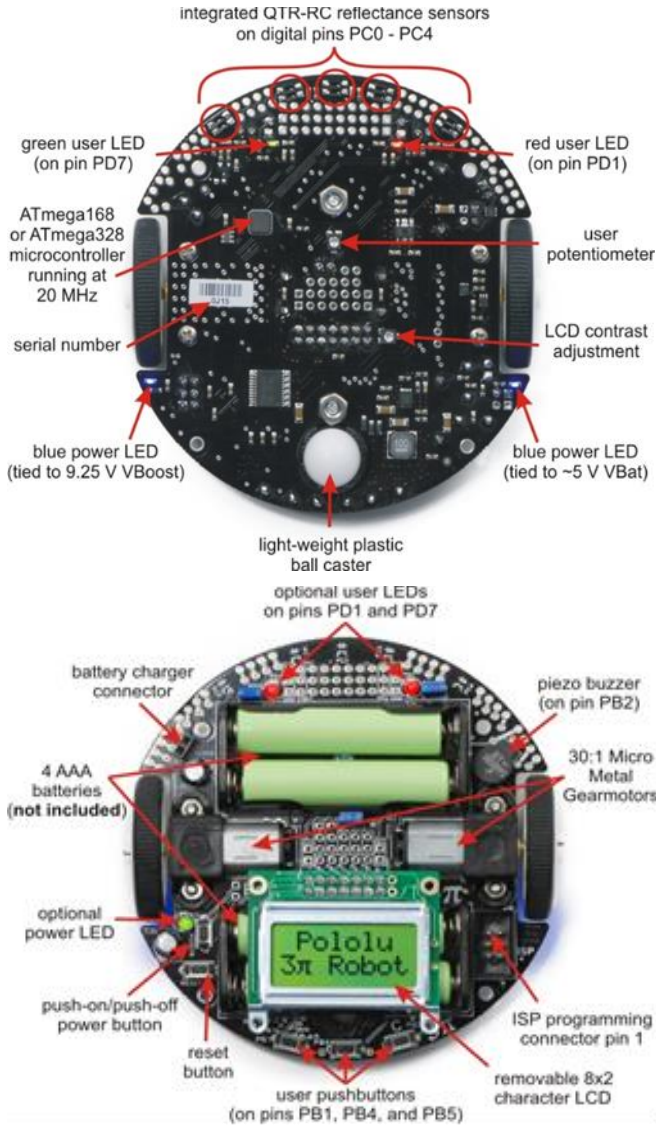


Fig. 1. General view of the 3Pi robot platform with top view and bottom view

### A. Kinematic Model of The Robotic Platform

The kinematic model of the robot with its electric drive can be derived. The robot model has three coordinates in a polar coordinate system:  $x$ ,  $y$  and  $\theta$ . These coordinates are connected to the reference point, where the X-axis points north and the Y-axis points west. The angle increases counterclockwise. The kinematic model of the robotic mobile platform can be derived with equation (1).

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta) & 0 \\ \cos(\theta) & 0 \\ 0 & \frac{2}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_c \\ v_d \end{bmatrix} \quad (1)$$

where:

$x$ ,  $y$  and  $\theta$  are the coordinates of the robotic platform in relation to the environment in the Polar Coordinate System;

$l$  is the distance between the driving wheels;

$V_C$  is the common mode velocity;

$V_D$  is the differential mode velocity.

The dimensions of both velocities are in mm.s<sup>-1</sup>, the coordinates  $x$  and  $y$  are in mm, and the angle  $\theta$  is in radians.

### B. Power Supply System for The Robotic Platform

The voltage from the batteries enters the input of a module made up of a series-connected pulse converter with feedback and a linear regulator, at the output of which 5 V are obtained, necessary for powering the logic part of the board. If the battery consumption is too high, its charge will eventually drop to critical values, which will lead to a change in the mechanical characteristics of DC drive motors and ultimately to an increase in battery temperature.

Linear voltage regulators work by dissipating excess energy in the form of heat. This makes them inefficient for applications that require high supply current, as well as a large difference between the input and output voltage of the regulator.

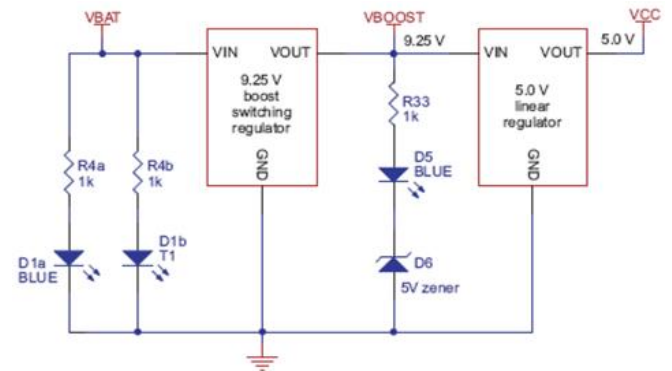


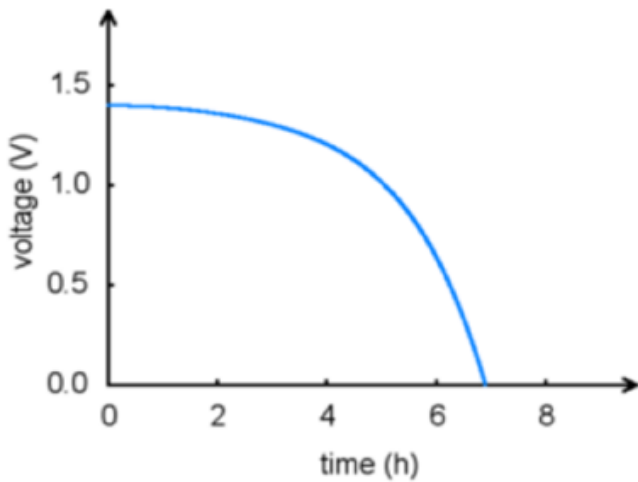
Fig. 2. Scheme of the Power Supply System

Pulse regulators, on the other hand, are characterized by much higher efficiency. It is achieved by means of PWM voltage control, which is fed to an accumulating element (choke) via a switching element (most often a transistor).

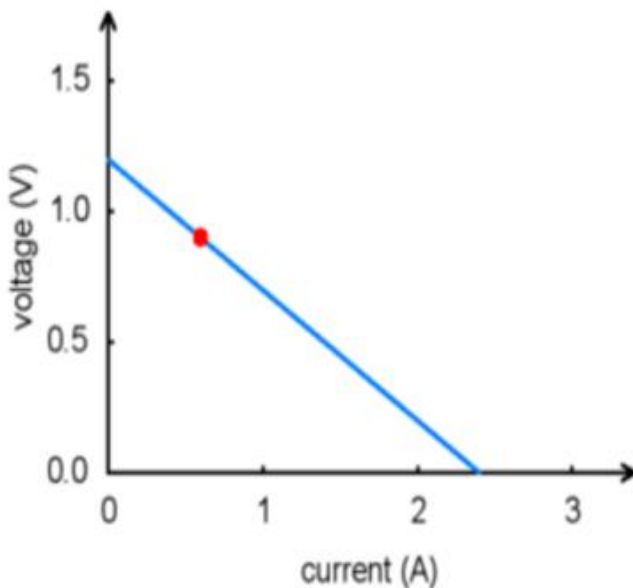
Depending on the degree of charge, the total voltage of the battery pack varies from 3.5 to 6 V. This voltage enters the input of the pulse regulator, rises to 9.25 V (Vboost), and then used to power electric motors and infrared (IR) sensors.

The second stage of conversion is performed by the linear regulator, the output of which is 5V (Vcc). Given the fact that the Mobile robotic platform 3pi is powered by Ni-Mh batteries, due to the requirements for energy performance of the robot guarantee its increased reliability. The goal is to achieve maximum battery life. An approximate measure of the amount of energy stored in a battery is given by the characteristic measured in milliampere hours (mAh). This determines how long the battery will last at a given discharge rate. If the consumption is 200 mA and the battery lasts 3 hours, the battery capacity should be 600 mAh. Discharging the same battery at 600 mA will result in approximately one hour of operation.

Of course, in practice the battery capacity tends to decrease at higher discharge currents due to the internal resistance of the chemical source, so in practice the battery life can be reduced to less than 50 minutes.



Battery voltage vs. time.



Battery voltage vs. current.

Fig. 3. Characteristics of the Power Supply System

C. Description of the drive of DC motors with reducer

When we do not have a mechanical load connected to the motor shaft, we assume that it works according to its natural characteristics.

The rotation speed is considered to be the ideal idle speed. In this case, the motor is idling and the amount of current flowing is minimal.

Otherwise, the value of the mechanical load exceeds or is equal to the magnitude of the engine torque and then the motor shaft stops, which is undesirable [5]. The current consumed by the batteries grows to the maximum value they can give. The 3pi robot uses gearboxes that convert the movement of high

speed and low torque motors to low speed with high torque. As shown in the diagrams of Fig. 4.

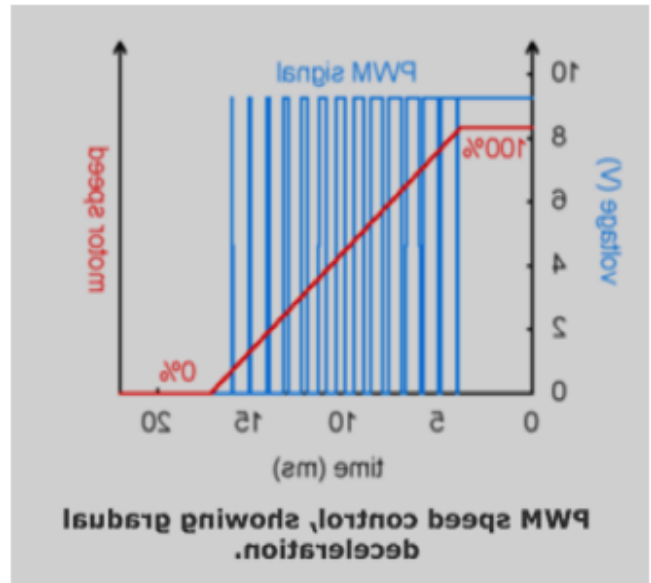


Fig. 4. Characteristics of the drive with DC motors

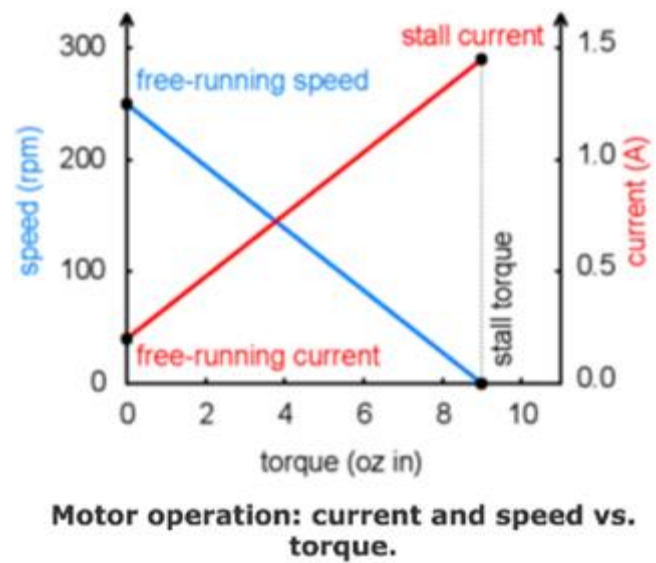


Fig. 5. DC motor control scheme

D. Control of Electric Motors

The direction of rotation of the DC motor can be changed by changing the polarity of the applied voltage. This is achieved through four switches (transistors in key mode), which are configured in the "H-bridge" topology (Fig. 6) [4].

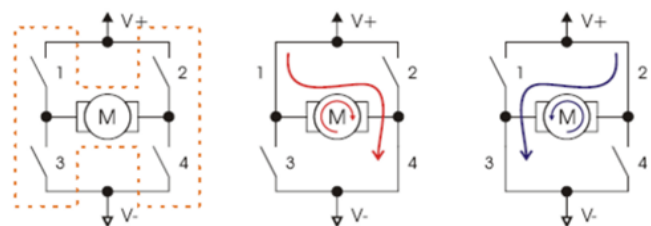


Fig. 6. "H-bridge" topology

Speed control is achieved by quickly switching the motors between two states, described in the table (Table 1).

ТАБЛИЦА 1

Here is a table showing how output ports PD5 and PD6 on the microcontroller control the transistors of motor M1:

PD5	PD6	1	2	3	4	M1
0	0	off	off	off	off	off (coast)
0	1	off	on	on	off	forward
1	0	on	off	off	on	reverse
1	1	off	off	on	on	off (brake)

Motor M2 is controlled through the same logic by ports PD3 and PB3:

PD3	PB3	1	2	3	4	M2
0	0	off	off	off	off	off (coast)
0	1	off	on	on	off	forward
1	0	on	off	off	on	reverse
1	1	off	off	on	on	off (brake)

If the PD6 values "high" are maintained and the PD5 values alternate rapidly between "forward" and "low" values, the motor driver will switch the "forward" and "brake" states, causing the engine to rotate forward at reduced speed. The Pulse Width Modulation (PWM) method is used. If the PD5 is "high" two-thirds of the time (67% duty cycle), then the M1 engine will run approximately 67% of its full speed. In the 3Pi robot, speed control is performed using internal timers Timer 0 and Timer 2, which means that the PWM duty cycle of two motors can be set once and the hardware will continue to produce the PWM signal in the background without additional intervention. Since the 3Pi robot has one independent motor on each side, rotation of both motors at different speeds can be achieved. The difference in speeds between the engines determines how sharp the turn will be, and rotating in place can be done by turning one engine forward and the other backward.

### III. DIGITAL INPUTS AND INFRA RED (IR) FEEDBACK SENSORS

A scheme for connection to the digital I / O output of the controller for one of the buttons of the 3Pi robot and for one IR sensor has been implemented, provided that a "pull-up pull-down" resistor (20 - 50 k) is available, which determines a high level at the output (pin PB1) with the button off. Turning on the button connects the input to "zero" via a 1k resistor. "Pull-out" resistors are needed to prevent the effect of a "floating" input, where the value can be affected by residual line voltage or interaction with other electrical signals [7].

Another use of digital inputs are reflection sensors, as shown in Fig.7. The sensitive element of the reflection sensor is phototransistor U4, which is connected in series with capacitor C21. The 3pi robot microcontroller can reconfigure the pin to be "output" or "input" in motion.

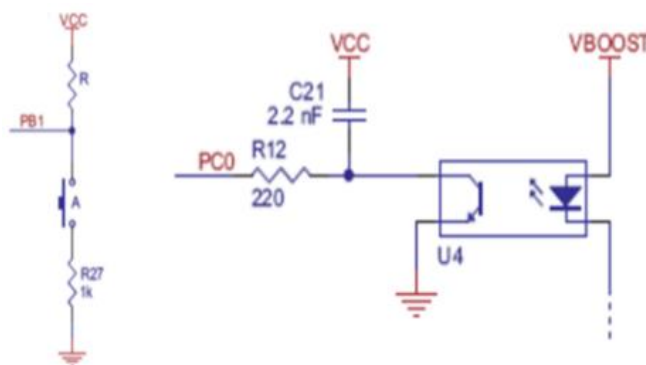


Fig. 7. Phototransistor connection diagram

The way it works is that the pin is set to "output" and is driven by high voltage to charge the capacitor C21. The pin is then set to "input" and the voltage drops as current flows through the phototransistor. In the snapshot shown on the oscilloscope screen (Fig.8), the capacitor voltage (yellow) drops as current flows through the phototransistor, leading to the digital input value of pin pC0 (blue). The speed of current flow through the transistor depends on the light level so that when the sensor is on a bright surface, the value returns to zero much faster than on a dark surface. The graph of the oscilloscope on the right shows what this process looks like when the sensor is on a white background.

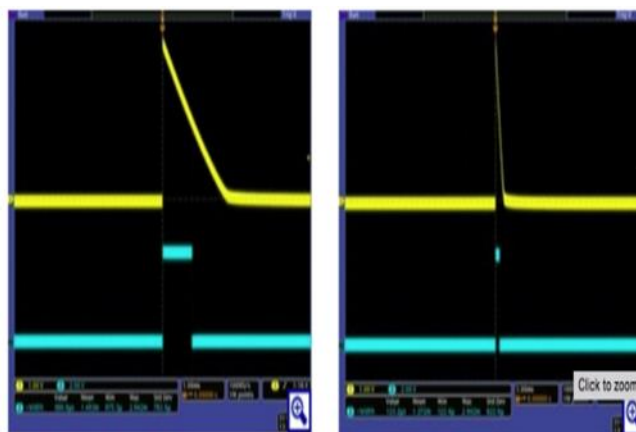


Fig. 8. Oscilloscope screen image: a. The sensor is on a dark surface. b. The sensor is on a white surface.

The way the system works is that the pin is set to "output" and is driven by high voltage to charge capacitor C21. The pin is then set to "input" and the voltage drops as current flows through the phototransistor. In the snapshot shown on the oscilloscope screen (Fig.8), the capacitor voltage (yellow) drops as current flows through the phototransistor, leading to the digital input value of pin pC0.[2] The speed of current flow through the transistor depends on the light level so that when the sensor is on a bright surface, the value returns to zero much faster than on a dark surface. The graph of the oscilloscope on the right shows what this process looks like when the sensor is on a white background.

The brightness measurement procedure is implemented in three steps as follows:

- Define the I / O line as the output and record a high signal level.

- A minimum period of 10 us is determined, which is sufficient for charging the capacitor C21.
- Define the I / O line as input.
- The capacitor discharge time is measured until the I / O line reaches a low level.

The oscillograms graphically determine the relationship between the period and the background brightness. The shorter the time of this process, the brighter the light. To measure brightness, the Pololu library offers the ability to recognize brightness levels. The 3Pi robot uses the TCNT2 timer, which is a special register that is read continuously every 0.4 us. It is important to note that the register of this timer is periodically overflowing. The code waits until one of the sensors changes its value by counting the elapsed time. When a high to low transition is detected on one of the sensors, the code determines which sensor is changing and records its time. After reaching the time limit, the original time values are returned.

#### IV. CONCLUSION

The article shows the implementation of a Mobile Robotic Platform called 3pi, which is a prototype for creating a service robot based on it. Based on the derived kinematic model, the realized feedback sensors are shown. A controlled power supply to the robot system has also been implemented. The control system of the two DC motors used has been implemented, which shows the advantages of the selected movement scheme. After the implementation of the prototype of the Mobile Robotic Platform 3pi, its characteristics were carefully studied and thus some noticeable shortcomings were eliminated. All this shows a fully completed Mobile Robotic Platform, which is able to provide movement in the work environment and to indicate possible obstacles in order to accomplish the task.

The creative team that implemented the 3pi robot is ready to move on to upgrading the control system. By implementing intelligent control of the entire system of the robot, it will be able to perform a number of activities related to patient care in medical institutions. The use of artificial intelligence elements in the processes of recognizing situations that have arisen during the robot's actions in a disordered and dynamically changing environment will offer opportunities for the robot to be able to make intelligent decisions at the tactical level. In addition, successful communication will be maintained with the supervisor or with some other users who will be able, through the use of voice communication, to set certain tasks to perform. Of course, all this will be realized on the basis of the Mobile Robotic Platform called 3pi, presented in this article.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The authors acknowledge the financial support of the project with Administrative Contract № KP-06-H57/8 from 16.11.2021. "Methodology for Determining the Functional Parameters of a Mobile Collaborative Service Robot Assistant

in Healthcare", funded by the "Competition for Funding Basic Research - 2021." from the Research Sciences Fund.

#### REFERENCES

- [1] G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Angelov, G., et al. (2011) „Remote Interface Communication to ROS Based Robotic System"; Proceedings of the Twenty First International Conference Robotics and Mechatronics; "Invited Session - Austrian-Bulgarian Automation Day"; 19-21 September 2011; Varna Bulgaria; ISSN 1310-3946; pp. 22 – 27. <https://www.acin.tuwien.ac.at/fileadmin/acin/ijaa/ijaa20h2.pdf#page=22>
- [2] Borenstein, N. P. Johan, Li Qiang Feng, (1996) Where Am I? Sensors and methods for positioning a mobile robot vol. 119, 1996.
- [3] Chivarov N., Paunski Y., Ivanova V., Vladimirov V., Angelov G., Radev D., Shivarov N., (2012), Intelligent modular service mobile robot controllable via internet, *In: IFAC International Conference "SWISS 2012"*, June 11th -13th, Waterford, Ireland, pp 149-153. <https://doi.org/10.3182/20120611-3-IE-4029.00029>
- [4] Horváth, D., Červeňanská, Z. (2021) Controlling the movement of a small mobile 3PI robot in a maze through a neural network using a backpropagation method. Scientific Documents, Faculty of Materialology and Technology in Trnava, Slovenian Technological University of Bratislava, 2021, Volume 29, No 49.
- [5] Paunski Y., R.Zahariev, (2017), Service robots control system, based on "Arm cortex M" architecture microprocessor system", *Pr. TU Sofia, XXVI International Conference „ADP-2017“*, June, 2017, Sozopol, Bulgaria, pp. 300-304. <https://mf.tu-sofia.bg/MNTK%20ADP%20site/4%20Proceeding/2017/Materials/Napравlenie-7/4-7-R.Zahariev-2.pdf>
- [6] Probst, R., P. Kopacek (1996), Service Robots: Present Situation and Future Trends, *The Second ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems*, Vienna, Austria, 1996, pp.45-52. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017427376>
- [7] Khatib O., P. Moore (1997), Sensor Based Control of Robots. *Stanford University Publ*, USA, 1997.
- [8] [8] Serpanos, D., (2018), The Cyber-Physical Systems Revolution. *J. Computer*, V.51(3), (2018), pp.70-73. DOI: <https://doi.org/10.1109/MC2018.1731058>
- [9] Siegwart IRN Roland, (2004) Introduction to Autonomous Mobile Robots. London, England: MIT Press, 2004.
- [10] Valchkova N., R. Zahariev (2019) Optimization of Model Operator for Service Robot, Intended to Service Persons with Disability. *Pr. "TECIS-19" IFAC Conference on International Stability, Technology and Culture, 26-28 September, Sozopol, Bulgaria*. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.468>
- [11] Zahariev R, N. Valchkova, G. Angelov, Y. Paunski, and A. Krastev. (2019), Robots for Help in Pedagogy and Rehabilitation. *In Pr. 20-th International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'19), ACM, New York, NY, USA, 1-7*. DOI: <https://doi.org/10.1145/3345252.3345253>.



## РАЗРАБОТВАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РОБОТИ С ПАРАЛЕЛНА КИНЕМАТИКА

Станислав Цолов  
МФ, кат. АДП, ТУ - София  
София, България  
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

**Резюме:** В настоящата статия е предложена методика за проектиране на роботи с паралелна кинематика. Дефинирани са характерни етапи на проектирането и връзките между тях. Методиката предлага използване на оптимални изчислителни алгоритми, основани на задълбочен анализ на съществуващи такива за всеки отделен етап. Предложената методика може да се използва в развойната дейност при конструирането на такъв тип работи.

**Ключови думи:** методика, проектиране, робот, паралелна кинематика, алгоритми.

### I. УВОД

Във съвременната индустрия, роботите с антропоморфна (последователна) структура, са едни от основно използваните звена във автоматизацията, когато се търси висока производителност, качество и ниска себестойност на произвежданото изделие. Те могат да бъдат използвани в изключително голямо разнообразие от задачи, включително и в среди опасни за човека. Недостатък на роботите с последователна конструкция е че всяко следващо звено се носи от предходното. Това повишава масата на задвижвания товар, което от своя страна ограничава възможностите им, когато се изисква висока скорост, точност и товароносимост. От друга страна роботите с паралелна кинематика представляват интересна алтернатива. Със своята конструкция, съставена от няколко паралелно свързани кинематични вериги, се постига повишена коравина, товароносимост и точност на позициониране спрямо тези с последователна структура. Паралелните работи намират приложение в задачи изискващи високи скорости, микрометрична прецизност или висока товароносимост, като цената за постигането на тези показатели е усложнената им конструкция. Сложността на конструкцията предопределя основния им недостатък изключително комплексно не генерализирано математическо моделиране и анализ, касаещо тяхната кинематика, статика и динамика, както и наличие на няколко типа сингулярности. Неслучайно въпреки, че първият индустриален паралелен робот е създаден през 50-те години на 20-ти век, мнозинството научни разработки, описващи алгоритми за анализ, се появяват след края на 90-те. Това вероятно е породено от повишаването на възможностите на изчислителната техника.

Въпреки това поради високия интерес, в следствие на добрите характеристики, към днешна дата са налице

голям брой изследвания целящи създаването на алгоритми за анализ на работи с паралелна кинематика.

Основната идея на тези алгоритми е да подпомогнат изборът на технически параметри при конструирането на такъв тип работи. Някои алгоритми са сравнително опростени, други по-комплексни, а изборът по какъв алгоритъм да се подходи при анализ на даден елемент по време на конструиране на робот далеч не е лесно решение. Това е така, тъй като различните алгоритми дават различни качествени резултати спрямо входните параметри (тип на конструкцията, товароносимост, работно поле и др.). Например ако се цели създаването на робот за металообработка, то е подходящо при статичния анализ да се използва алгоритъм който показва изменението на коравината в работната зона на робота, анализ който е комплексен и времеемък, но необходим за постигането на точност при обработка. Когато роботът ще се използва за прости „pick and place“ операции би било подходящо да се използва по-прост алгоритъм за статичен анализ с което да се съкрати времето за създаване на конструкция. Най-общо казано конструкторът трябва сам да подбере тези алгоритми, които са оптимални спрямо целите за които ще бъде създаван роботът.

### II. МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РОБОТ С ПАРАЛЕЛНА КИНЕМАТИКА

На фиг.1 е представена блок схема на методика за проектиране на работи с паралелна кинематика. За всеки един от етапите е предложен оптимален алгоритъм от съществуващите такива, характеризиращ се със специфични особености.

#### A. Анализ, създаване и оптимизация на заданието

Първи етап е създаване на задание. Добре дефинираното задание може значително да намали времето и средствата отделени за конструиране. Също така може да спести трудности на конструктора за постигане на ненужни параметри и функционалности при проектиране на изделието. Доброто задание включва подробна дефиниция на всеки параметър на системата. Подходящо е изискванията за параметрите да се разделят в групи спрямо тяхната необходимост както следва:

- Задължителни - трябва да бъдат изпълнени при всеки един вариант на изделието - брой степени свобода, работно поле, товароносимост, скорост, точност на позициониране.



Фиг. 1. Методика за проектиране на роботи с паралелна кинематика

- Оптимални - представени са с индекс, с който се характеризират и се търси максимална стойност на този индекс.
- Първични - те са посочени в заданието, но техните стойности могат да бъдат променени до известна степен, ако няма конструктивно решение.
- Вторични - тези изисквания може да не фигурират в заданието, но може да се използват за избор между решения, които удовлетворяват задължителните.

В практиката заданията се изготвят от специалисти с необходимите познания, сътрудничейки си с конструкторите разработващи изделието с цел постигане на оптимално задание.

### В. Структурен синтез

В този етап се генерират възможните структури на робота спрямо желаните степени на свобода. От тях се избира най-подходящата за целите на робота. Ключов проблем при паралелните роботи е голямото разнообразие от възможни структури, за разлика от последователните роботи. Характерна черта за паралелните роботи е, че тяхната производителност се влияе значително от организацията на тяхната структура. Препоръчва се при изготвяне на структура, тя да бъде съставена от идентични паралелно свързани кинематични вериги. Разходите за поддръжка и производство може да са по-високи, ако веригите на робота включват различни задвижващи механизми и сензори.

### С. Размерен синтез

Оразмеряването е един от най-важните етапи при проектирането на паралелен робот, тъй като неговата производителност до голяма степен зависи от тях. „Паралелен робот с добре проектирани размери ще покаже като цяло по-добра производителност в сравнение с друг, чиято структура изглежда по-подходяща, но чиито размери са били зле избрани.“ [1]. Като се има предвид, че броят на конструктивните параметри при паралелните роботи е голям - **36** кинематични параметъра, за да се определи геометрията на робота и още **12** за дефиниране на минималната и максималната дължина на звената за анализ на работното пространство, точността, статиката и скоростта. Синтезът на размерите може да бъде изключително комплексен.

### Д. Кинематичен анализ

Състои се в решаването на права и обратна кинематична задача.

Обратната задача се състои в установяване на координатите на кинематичните връзки  $q$  спрямо  $x$  (генерализиран параметър за положението на КИЗ (Крайно изпълнително звено)  $x=(x \ y \ z \ \alpha \ \beta \ \gamma)^T$  представляващ  $6$  мерен вектор), където  $q$  е генерализиран параметър съдържащ променливите на всички кинематични връзки, например за **6-PPTC**

фиг.2 кинематичните връзки се делят на задвижвани  $q_a$  и пасивни  $q_{na}$  (1). Ходът на линейните актуатори е представен като  $l_i$  а  $\theta$  и  $\varphi$  са ъглите на завъртане на двете ротационни кинематични двоици разположени на неподвижната платформа заедно образуващи универсално съединение (PP кинематична двоица).

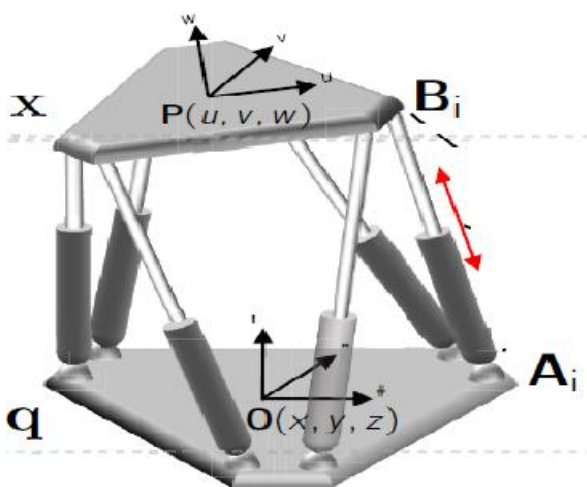
$$q = \begin{bmatrix} q_a \\ q_{na} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{18} \quad (1)$$

$$q_a = [ l_1 \ l_2 \ l_3 \ l_4 \ l_5 \ l_6 ]^T \quad (2)$$

Където:  $q_{na} = \begin{bmatrix} \theta \\ \varphi \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{12} \quad (3)$

$$\theta = [ \theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6 ]^T$$

$$\varphi = [ \varphi_1 \ \varphi_2 \ \varphi_3 \ \varphi_4 \ \varphi_5 \ \varphi_6 ]^T$$



Фиг. 2. Координатни системи [11]

Правата кинематика е по-трудна, тъй като няма аналитично решение и се състои в намирането на  $X(p_x, \Psi)$  спрямо координатите на кинематичните вериги. Задача която е от изключителна важност за това системата да знае къде се намира КИЗ във всеки един момент.

#### E. Анализ на скорости и ускорения

Този етап е от съществено значение за статичния анализ. Той показва какви ускорения влияят на звената за постигане на зададени скорости на КИЗ.

#### F. Анализ за сингулярности

Сингулярните конфигурации са пози на КИЗ при които се губи коравина и се появяват нежелани неконтролируеми степени на свобода на крайния ефектор, което се явява като наличие на скорости при спрени актуатори и обратното. Липсата на контрол на позата КИЗ е една от основните причини за провеждането на този анализ. Друга причина са кинематичните сингулярности които се появяват когато силите на актуаторите действат едни срещу други, при което някои от звената могат да бъдат подложени на изключително големи сили, което да доведе до износване и счупване.

#### G. Статичен анализ

Този етап е от съществено значение за проектирането и подбора на елементите на робота в следващия етап. Статичния анализ дава зависимост между силите действащи върху КИЗ и силите в кинематичните двоици т.е. ако се знае необходимата максимална товароносимост на робота при зададени максимални скорости и ускорения могат да се изчислят силите действащи в кинематичните двоици.

#### H. Проектиране на структурните единици на робота

На този етап след като са известни силите действащи върху звената се пристъпва към тяхното конструктивно проектиране, което се извършва в CAD среда. Според структурата на робота може да се подходи чрез различна последователност при конструирането на елементите. Преди започване на проектирането е подходящо да се направи анализ на това как реализацията на отделните елементи се влияят едни от други. Трябва добре да се прецени от кои елементи да се започне проектирането. Например електро двигателите трябва да са избрани преди да се конструира предавателен механизъм или редуктор. Добра практика е системата да се раздели на отделни независими модули, които могат да бъдат проектирани едновременно.

Избира се тип на конструкция на отделните звена според натоварванията, избира се начин на реализация на кинематичните двоици, избират се лагеруващи елементи, избират се изпълнение на подвижната и неподвижната платформа; избират се актуатори, сензори и тяхното разположение. Разположението и чувствителността на сензорите влияят значително на производителността на робота [11]. При самото проектиране на детайлите трябва да се осигури тяхната технологичност и монтажопригодност. Организацията на сглобките трябва да бъде така осигурена, че неточностите от изработката на детайлите да имат минимално влияние върху точността на робота. На този етап трябва да се помисли и за алгоритъм по който роботът ще се самокалибрира. По време на проектиране на звената е необходимо да се извършват силови анализи за да се гарантира, че ще издържат на натоварванията.

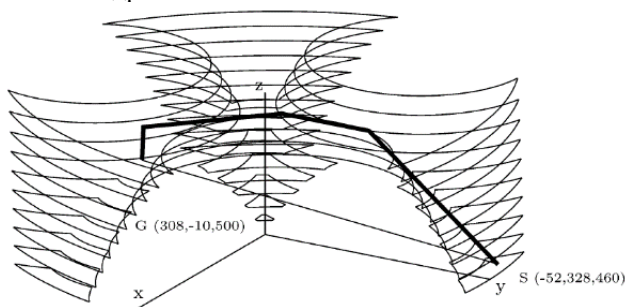
При липса на технологичност и монтажопригодност в следствие геометрията на робота, съставена в етапа на синтез на размерите, е възможно да се наложи нейното коригиране.

#### I. Съставяне на динамичен модел

Създаването на динамичен модел е възможно когато се знае кинематиката на робота, скоростите, ускоренията, центровете на тежест и теглото на звената и актуаторите, за да може да бъде изчислена кинематичната и потенциална енергия на звената. Съставянето на този модел е необходимо когато за контрол на робота се използва схема на управление по динамичен модел.

### J. Създаване на управляващ софтуер

На този етап посредством програмни езици се създава алгоритъм за управление на база на динамичния модел. Създават се алгоритми за управление на актуатори, алгоритми за калибриране, алгоритми за генериране на траектории спрямо работното пространство и избягващи сингулярни пози фиг.3, създава се интерфейс за въвеждане на входни параметри за изпълнение на определена интерполация на КИЗ и др.



Фиг. 3. Траектория в работно пространство [1]

### K. Технологични изследвания и валидация

На този етап след като е създаден прототип на робота и управляващ софтуер се извършват изследвания целящи проверка на възможностите на робота, дали отговарят на тези представени в заданието. Изпитва се неговото работно поле, товароносимост, максимални скорости, наличие на сингулярности, коравина, както и функционалността на управляващия софтуер.

### L. Внедряване и експлоатация

Това е последния етап от конструирането на робота. В него, ако роботът е предвиден за комерсиални цели, системата се интегрира в производствена линия за изпълнение на конкретни задачи. Това включва монтаж и програмиране на робота според спецификите на целите.

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложената методика е унифицирана, но в зависимост от целите на робота, в процеса на проектиране, може да се отдели повече внимание и средства на определени етапи в сравнение с други,

което да повлияе на производителността на робота в дадено направление.

Паралелните роботи будят все повече интерес у инженерите и изследователите поради предимствата им спрямо роботите с последователна структура.

Развитието на изчислителната техника, системите за проектиране както и растежът на научните дейности касаещи роботите с паралелна кинематика, е основна предпоставка за тяхното бъдещо, все по-обширно интегриране в системите за автоматизация.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] J.-P. MERLET Parallel Robots, second edition, 2006 ISBN-10 1-4020-4133-0
- [2] Доц. В. И. Павлов, Проектиране на промишлени роботи, 1993
- [3] Herv'e J.M. Group mathematics and parallel link mechanisms. In 9th. World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, pages 2079–2082, Milan, August 30- September 2, 1995 ISBN: 978-1-4471-0765-1
- [4] Frisoli A. and others . Synthesis by screw algebra of translating in parallel actuated mechanisms. In ARK, Piran, June, 25-29, 2000 ISBN: 978-94-011-4120-8
- [5] Erdman A.G. Modern Kinematics. Wiley, New-York, 1993 ISBN-13: 978-0471554592
- [6] Merlet J-P. Articular velocities of parallel manipulators, Part II: Finding all the robots with fixed extremal articular velocity for performing a fixed cartesian velocity over a whole workspace. In IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 3262–3267, Albuquerque, April, 21-28, 1997 ISBN: 0-7803-3612-7
- [7] Bhattacharya S., Hatwal H., and Ghosh A. On the optimum design of a Stewart platform type parallel manipulators. Robotica, 13(2):133 - 140, March - April, 1995
- [8] Claudinon B. and Lievre J. Test facility for rendez-vous and docking. In 36th Congress of the IAF, pages 1–6, Stockholm, October, 7-12, 1985.
- [9] Stoughton R. and Kokkinis T. Some properties of a new kinematic structure for robot manipulators. In ASME Design Automation Conf., pages 73–79, Boston, June, 28, 1987. ISBN: 978-0-7918-9774-4
- [10] J-P. Merlet Designing a parallel manipulator for a specific workspace INRIA Sophia-Antipolis, april 1995 ISSN 0249-6399
- [11] Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Marga Marcos, Charles Pinto, Javier Corral and Pablo Bengoa. Redundant dynamic modelling procedure based on extra sensors for parallel robot control, Parallel manipulators design, applications and dynamic analysis, 2016, pages 41-81, ISBN 978-1-63485-953-0
- [12] Nanua P. and Waldron K.J. Direct kinematic solution of a Stewart platform. IEEE Trans. on Robotics and Automation, 6(4):438–444 ISSN: 1042-296X
- [13] Dimitrov S., L. Dimitrov, R. Dimitrova, S. Nikolov, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps, ICIT-2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, pp. (502-514).

# DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DESIGNING ROBOTS WITH PARALLEL KINEMATICS

Stanislav Tsolov  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

**Abstract:** This paper proposes a methodology for designing robots with parallel kinematics. Characteristic stages of the design and the connections between them are defined. The methodology offers the use of optimal computational algorithms based on in-depth analysis of existing ones for each stage.

# СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА АЛГОРИТМИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РОБОТИ С ПАРАЛЕЛНА КИНЕМАТИКА

Станислав Цолов  
 МФ, кат. АДП, ТУ - София  
 София, България  
 e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Ренета Димитрова  
 МФ, кат. АДП, ТУ - София  
 София, България  
 e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Стилиан Николов  
 МФ, кат. АДП, ТУ - София  
 София, България  
 e-mail: st\_nikolov2@tu-sofia.bg

**Резюме:** В настоящата статия е направен сравнителен анализ на съществуващи алгоритми за проектиране на работи с паралелна кинематика. Анализът включва разглеждането на ключови похвати и изчислителни алгоритми, подпомагащи развойната дейност при конструирането на такъв тип работи. Определени са предимствата и недостатъците на съществуващите алгоритми използвани при проектиране на работи с паралелна кинематика.

**Ключови думи:** сравнителен анализ, проектиране, робот, паралелна кинематика, алгоритми

## I. УВОД

Процеса на проектиране на работи е свързан с използването на алгоритми за анализ на тяхната структура, кинематика, динамика, статика и сингулярност. Наличието на голямо разнообразие на алгоритми за анализ на роботите с паралелна кинематика е породено от високия интерес към тях, вследствие на предимствата им спрямо роботите с последователна структура. Въпреки постоянно увеличаващия се брой научни трудове описващи нови алгоритми, повечето от тях са сравнително сложни и трудоемки, до голяма степен породено от сложната архитектура характерна за този тип работи. Изборът, с кои алгоритми да се подходи в процеса на проектиране, зависи най-вече от целите за които ще бъде създаден роботът. Различните алгоритми дават различен по точност и качество на резултата спрямо входните параметри. Например ако се цели създаването на робот за металообработка, то е подходящо да се използва по-комплексен и прецизен алгоритъм за статичния анализ, тъй като точността на обработката зависи до голяма степен от коравината на конструкцията.

## II. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА АЛГОРИТМИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РОБОТ С ПАРАЛЕЛНА КИНЕМАТИКА

Всеки един от разгледаните алгоритми се характеризира със специфични особености. В направения анализ са представени техните предимства и недостатъци.

### A. Алгоритми за структурен синтез

При работи с паралелна кинематика се използват следните алгоритми за структурен синтез:

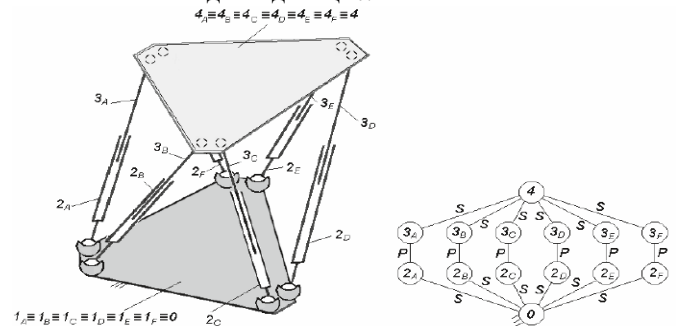
#### 1) *Посредством графи*

Структурата се изобразява посредством граф фиг.1, като ребрата са звената на механизма, а възлите са кинематичните двоици. Използвайки теория на графите могат да бъдат генерирани различни варианти.

Алгоритъмът се основава на екстензивното използване на формулата на Грублер (1) [1]:

$$m = 6(l - n - 1) + \sum_{i=1}^n d_i \quad (1)$$

Където:  $l$  са броят звена включително неподвижната платформа,  $n$  е броят кинематични двоици,  $d_i$  е броят степени на свобода на двоица  $i$ .



Фиг. 1. Структура посредством граф [1]

#### 2) *Посредством групова теория*

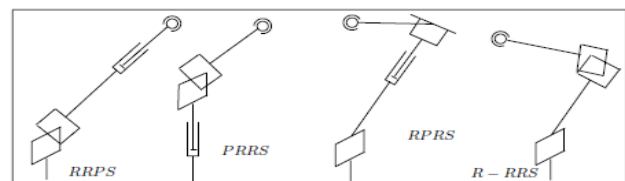
Движението на тяло в пространството в роботиката се описва чрез групи на Лиe  $SE(3)$  (2).

$$SE(3) = \left\{ \begin{pmatrix} R & p \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\} \quad (2)$$

Където:  $R$  е ротационна матрица отговаряща за ориентацията на тялото, а  $p$  е тримерен вектор отговарящ за транслацията на тялото спрямо  $3^{me}$  координати  $x, y, z$ . Съществуват субгрупи подобни на тази които играят съществена роля в структурния синтез. Такива субгрупи са например:

- $\{T(u)\}$  – транслация паралелна на вектор  $u$
- $\{T\}$  – всички пространствени транслации
- $\{X(w)\}$  – всички ротационни и транслационни движения около всички оси които са паралелни на вектор  $w$ .

Друго съществено за синтеза е, че движенията описани от субгрупи на Лиe се осъществяват от кинематични вериги наречени генератори на движение фиг. 2.



Фиг. 2. Основни типове генератори за работи със 6 СНС [3]

Групата описваща движението на тяло е резултатна от кръстосването на групите на всички генератори на движение свързани към това тяло. Самият синтез се извършва в следните стъпки:

- Определяне към коя субгрупа трябва да принадлежи крайния ефектор за да се постигне желаната подвижност.
- Определяне от кои субгрупи трябва да са кинематичните вериги, така че при кръстосването им да се получи желаната група на крайния ефектор.
- Определяне на всички генератори на движение (конструкциите на кинематичните вериги).

Подробно описание на алгоритъма е представено от Херве [3].

Съществува и още един алгоритъм за синтез представен от Фризоли [4], който е разновидност на груповия и се нарича „Винтов подход“. Този алгоритъм се основава на това че групите на Лие са диференцируеми математически множества и използвайки тангенциалното пространство при неутралния елемент на множеството (скорости и ускорения) се генерират структурни разновидности.

### 3) Използване на вече съществуващи структури

Броят на възможните структури генериран от изследователите посредством споменатите алгоритми е значително голям. Във времето едва малка част от възможните варианти, генерирани от споменатите методи, са се наложили като подходящи и са стигнали до създаването на прототип и дори до комерсиален продукт. Използването на вече утвърдена конструкция също може да се приеме като добър подход при проектирането на робот.

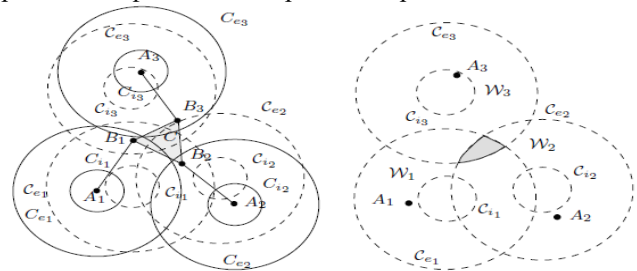
### В. Алгоритми за размерен синтез

Съществуват разработени различни методики: използващи тегловни коефициенти [5], по зададени скорости [6], алгоритъма атлас предложен от Бхатачаря [7], Клаудинон използва числени алгоритми за намиране на оптималните стойности на проектираните параметри [8], Стоутън използва числени алгоритми за оптимизиране на работното пространство на робот на който са зададени ограничения в размера на звената, Мерлет [12] разработва алгоритъм който дефинира размерите на платформа на Гоф със **6 С.Н.С** (Степени на свобода). Друг подход е оразмеряването на робота по геометричен алгоритъм, спрямо зададеното необходимо работно пространство. Този алгоритъм е значително прост, бърз, нагледен и с лесна имплементация за дадена структура.

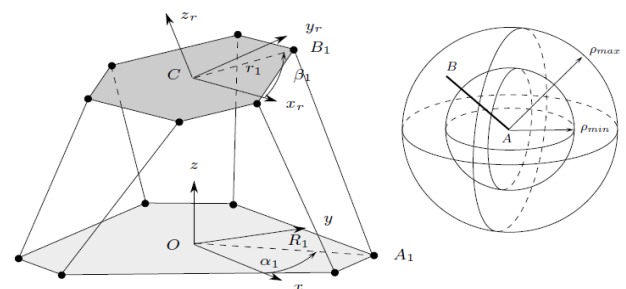
Пълното работно пространство със всички възможни ориентации може да бъде лесно анализирано на по-късен етап след създаване на модели в CAD система, след което могат да бъдат въведени промени в размерите. Имено за това използването на прост алгоритъм като графичния на този етап е напълно достатъчно за създаване на първоначалната геометрия на робота. Използването на по-комплексен алгоритъм, който води до оптимални

параметри спрямо работното пространство не дава гаранция, че по време на етапа на моделиране може да се наложи промяна или при анализът на сингулярностите на робота да е необходима корекция поради липса на технологичност. Нещо повече, графичния алгоритъм за оразмеряване може да бъде подпомогнат от CAD система което допълнително да ускори процеса.

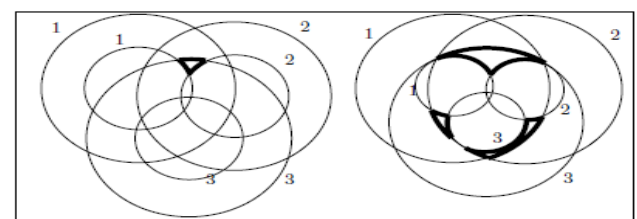
Графичното представяне на работното пространство се състои в съставяне на геометричен обект  $W_i$  за всяко едно от звената спрямо техните ограничения представляващ всички възможни положения на  $x$  (генерализиран параметър за положението на КИЗ (Крайно Изпълнително Звено)  $x = (x \ y \ z \ \alpha \ \beta \ \gamma)^T$  представляващ **6** мерен вектор), които удовлетворяват ограниченията на звеното. Съставяйки такъв обект  $W_i$  за всеки един крак на робота, работната зона (PЗ) представлява пресечната зона между всички обекти  $W_i$ . На фиг.5 е представена PЗ за равнинен **3-PTP** робот (използващ транслационен актуатор), където точките  $B_i$  са разположени в пръстеновидната зона с център  $A_i$ , обозначена с плътна линия изградена от максималния и минималния ход на линейния актуатор, а точките  $C_i$  са разположени в зоните с пунктир и център  $S_i$  получен от трансферирането на  $A_i$  чрез вектора  $BC_i$ . На фиг.3 е представена PЗ за пространствен **6-PPTC** робот (платформа на Гоф), където обектите вече са сфери, а на фиг.4 е представена примерна PЗ в равнина на такъв робот и на фиг.6 как се променя спрямо  $z$ .



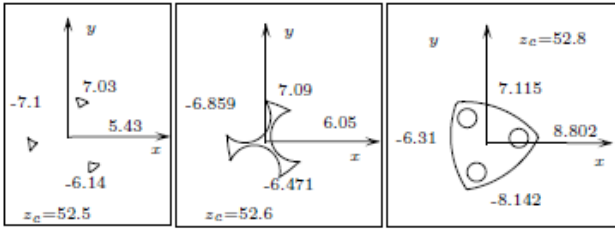
Фиг. 3. Геометрични елементи за дефиниране на PЗ [1]



Фиг. 4. Съставяне на обекти на транслационните звена на 6-PPTC робот [1]



Фиг. 5. Работните зони представени чрез удебелени линии [1]



Фиг. 6. РЗ като сечение в определена координата (z) [1]

С. Алгоритми за кинематичен анализ

1) Обратна кинематична задача

Състои се в установяване на координатите на кинематичните връзки  $q$  спрямо  $x$ , където  $q$  е генерализиран параметър съдържащ променливите на всички кинематични връзки, например за **6-PPTC** кинематичните връзки се делят на задвижвани  $q_a$  и пасивни  $q_{na}$  (3). Ходът на линейните актуатори е представен като  $l_i$ , а  $\theta$  и  $\varphi$  са ъглите на завъртане на двете ротационни кинематични двойци разположени на неподвижната платформа заедно образуващи универсално съединение (PP кинематична двойца).

$$q = \begin{bmatrix} q_a \\ q_{na} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{18} \quad (3)$$

$$q_a = [l_1 \ l_2 \ l_3 \ l_4 \ l_5 \ l_6]^T \quad (4)$$

$$q_{na} = \begin{bmatrix} \theta \\ \varphi \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{12} \quad (5)$$

Където:  $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6]^T$

$$\varphi = [\varphi_1 \ \varphi_2 \ \varphi_3 \ \varphi_4 \ \varphi_5 \ \varphi_6]^T$$

Обратната кинематика на паралелните роботи е значително по-проста в сравнение с роботите с последователна конструкция и се свежда до просто векторно уравнение. За целта се въвеждат две координатни системи  $O$  на неподвижната платформа и  $P$  на КИЗ фиг.7. С векторът  $p_x = [x \ y \ z]^T$  дава позицията на КИЗ, а с  $\Psi = [\alpha \ \beta \ \gamma]^T$  (ъгли на Ойлер) ориентацията спрямо основната координатна система  $O$ . Векторите  $a_i$  и  $d_i$  са известни от геометрията на робота съставена в размерния синтез, а  $l_i$  е вектор представляващ релативната позиция на  $A_i$  спрямо  $B_i$  и може да бъде свързан с променливите на кинематичните съединения които свързват звеното с двете платформи  $q_i = [l_i \ \theta_i \ \varphi_i]^T$  фиг.10. Тогава може да се запише следното уравнение:

$$a_i + l_i - p_x - d_i^O = 0 \quad i = 1, \dots, 6 \quad (6)$$

Където:  $d_i^O$  е векторът  $d_i$  прожектиран към  $O$  и се дефинира посредством ротиращата матрица  $R$  зависеща от ъглите на ориентация на подвижната платформа  $\Psi = [\alpha \ \beta \ \gamma]$ .

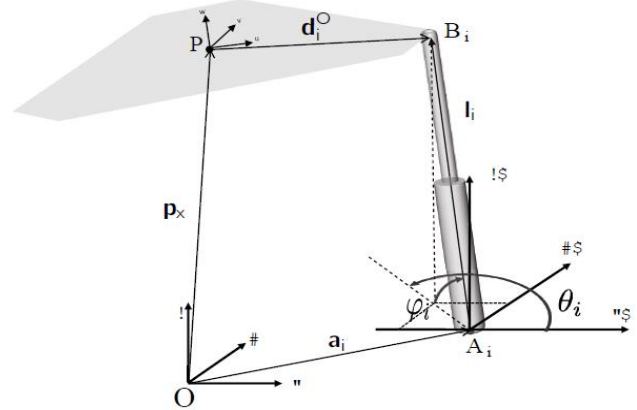
$$d_i^O = R(\alpha, \beta, \gamma) d_i \quad (7)$$

Където:

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{bmatrix} c\gamma c\beta & c\gamma s\beta s\alpha - s\gamma c\alpha & s\gamma s\alpha + c\gamma s\beta c\alpha \\ s\gamma c\beta & c\gamma c\alpha + s\gamma s\beta s\alpha & s\gamma s\beta c\alpha - c\gamma s\alpha \\ -s\beta & c\beta s\alpha & c\beta c\alpha \end{bmatrix}$$

За  $l_i$  може да се запише:

$$l_i = l_i \begin{bmatrix} \cos\theta_i \cos\varphi_i \\ \sin\theta_i \cos\varphi_i \\ \sin\varphi_i \end{bmatrix} \quad (8)$$



Фиг. 7. Обратна кинематична задача [11]

Така ако са известни  $p_x$  и  $\Psi$  с (6) за всяка кинематична верига може да се намери  $l_i$  и съответно дължината на транслационното звено  $l_i$ .

$$l_i = p_x - a_i + R(\alpha, \beta, \gamma) d_i = \begin{bmatrix} l_i \cos\theta_i \cos\varphi_i \\ l_i \sin\theta_i \cos\varphi_i \\ l_i \sin\varphi_i \end{bmatrix} \quad (9)$$

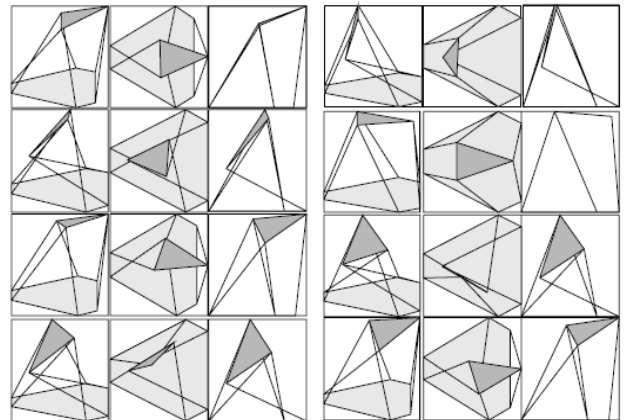
От където може да се запише:

$$\varphi_i = \text{atan2}(l_{iz}, \sqrt{l_{ix}^2 + l_{iy}^2}) \quad \theta_i = \text{atan2}(l_{iy}, l_{ix}) \quad (10)$$

2) Права кинематична задача

Правата кинематика е по-трудна, тъй като няма аналитично решение и се състои в намирането на  $X(p_x, \Psi)$  спрямо координатите на кинематичните вериги. Задача която е от изключителна важност за това системата да знае къде се намира КИЗ във всеки един момент. В най-общия случай правата кинематика се свежда до решаването на многостепенни полиноми даващи няколко решения, например за **6-TPPC** са възможни **16** решения, това е така защото зависят от начина по който е сглобен робота фиг.8. Такъв тип решение е представен от Нануа и Лалдрон [12].

Алгоритми за оптимизация на изчислителния процес са схема на Нютон и интервален анализ [1].



Фиг. 8. Възможни решения на 6-TPPC [1]

Друг алгоритъм, чрез използване на допълнителни сензори в пасивните връзки на веригите се предлага в [11], като подаването на данни от  $q_c$  (следени параметри на връзките) значително опростява процеса. Така например за **6-PPTC** робот за (9) и (10) приравнени на  $\theta$  посредством  $l_i$  се получава :

$$F(x, q) = \begin{bmatrix} [||l_i|| - l_i^2]_{i=1...6} \\ [l_{ix} \tan \theta_i - l_{iy}]_{i=1...6} \\ [\sqrt{l_{ix}^2 + l_{iy}^2} \tan \phi_i - l_{iz}]_{i=1...6} \end{bmatrix} = \mathbf{0}_{18 \times 1} \quad (11)$$

Ако се дефинира  $I_c$  генерализиран параметър показващ кои съединения са следени  $q_c = [q]I_c$  се получава:

$$F_c(q_c, x) = [F(q, x)]_{I_c} = \mathbf{0} \quad (12)$$

#### D. Алгоритми за анализ на скорости и ускорения

Намирането на скоростите на звената спрямо скоростта на КИЗ се свежда до съставянето на обратната матрица на Якоб за дадения механизъм, като това се реализира чрез диференциране на (6). За целта трябва да се отбележи, че в най-общия случай производната  $\dot{x}$  ( $x = [x \ y \ z \ \alpha \ \beta \ \gamma]^T$ ) има физическо значение само за транслационните движения, но  $\dot{\Psi} \neq \omega$  ( $\Psi = [\alpha \ \beta \ \gamma]^T$ ). Тъй като ориентацията е представена чрез ъгли на Ойлер може да се представи следната зависимост:

$$\dot{\omega} = \dot{R}R^T \quad (13)$$

Където:

$$\dot{\omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \omega = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T \quad (14)$$

В зависимост от избора на конвенцията на Ойлеровите ъгли (13) може да се запише:

$$\omega = E\dot{\psi} = E \begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Където  $E$  зависи от избраните ъгли на Ойлер.

$$E = R \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin \beta \\ 0 & \cos \alpha & \cos \beta \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \beta \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (16)$$

Така скоростите могат да бъдат представени в векторна форма:

$$v = \begin{bmatrix} \dot{p}_x \\ \omega \end{bmatrix} \quad (17)$$

А връзката им с  $\dot{x}$ :

$$v = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix} \dot{x} = T_R \dot{x} \quad (18)$$

А за ускоренията се диференцира (18):

$$a = \dot{v} = \begin{bmatrix} \dot{p}_x \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = T_R \ddot{x} + \dot{T}_R \dot{x} \quad (19)$$

За да се изведат матриците на Якоб трябва да се диференцира (9) като вземе предвид (7):

$$\dot{l}_i = \dot{p}_x + \dot{R}d_i = \dot{p}_x + \omega \times R d_i = \dot{p}_x - R d_i \times \omega \quad (20)$$

Можем да се презапише (20) спрямо скоростта  $v$  на КИЗ:

$$\dot{l}_i = \dot{p}_x - R \tilde{d}_i R^T \omega = [I_{3 \times 3} \quad -R \tilde{d}_i R^T] v \quad (21)$$

Като се вземе предвид (17) и (16) се получава:

$$\dot{l}_i = \underbrace{[I_{3 \times 3} \quad -R \tilde{d}_i R^T]}_{J_{x_i}} T_R \dot{x} = - \underbrace{\begin{bmatrix} -c \phi_i c \theta_i & l_i c \phi_i s \theta_i & l_i c \theta_i s \phi_i \\ -c \phi_i s \theta_i & -l_i c \phi_i c \theta_i & l_i s \phi_i s \theta_i \\ -s \phi_i & 0 & -l_i c \phi_i \end{bmatrix}}_{J_{\phi_i}} \dot{\phi}_i \quad (22)$$

Или по-опростено:

$$J_{x_i} \dot{x} = -J_{\phi_i} \dot{\phi}_i \quad (23)$$

Където:

$$\dot{\phi}_i = [\dot{l}_i \quad \dot{\theta}_i \quad \dot{\phi}_i]^T$$

От където обратната матрицата на Якоб за всяка една кинематична верига се получава:

$$-J_{\phi_i} \dot{\phi}_i = J_{x_i} \dot{x} \rightarrow \dot{\phi}_i = - \underbrace{J_{\phi_i}^{-1}}_{3 \times 3} \underbrace{J_{x_i}}_{3 \times 6} \dot{x} = \underbrace{J_i}_{3 \times 6} \dot{x} \quad (24)$$

Така се получава зависимостта между скоростите на кинематичните връзки и скоростта на КИЗ.

За ускоренията се диференцира (24) като (19):

$$\ddot{q} = J_q \ddot{x} + \dot{J}_q \dot{x} \quad (25)$$

#### E. Алгоритми за анализ за сингулярности

Сингулярните конфигурации са пози на КИЗ при които се губи стабилността и при което се появяват нежелани неконтролируеми степени на свобода на крайния ефектор, реализирани под формата на наличие на скорости при спрени актуатори и обратното. Липсата на контрол на позата КИЗ е една от основните причини за провеждането на този анализ. Друга причина са статичните сингулярности които се появяват когато матрицата на Якоб в уравнението за механично равновесие (26) е сингулярна. Тогава някои от звената могат да бъдат подложени на изключително големи сили, което да доведе до износване и счупване. Справянето със сингулярностите се осъществява по 4 начина: промяна на геометрията и размерите на звената; добавяне на допълнителни задвижвани кинематични вериги които не повишават С.Н.С на работата, а се задействат само при сингулярни пози; изключване на сингулярните пози когато са по периферията на работното пространство, тогава при необходимост да се спазва зададеното работно пространство се променят геометричните параметри отговорни за него; коригиране на траектории минаващи през сингулярни позиции посредством алгоритми дефинирани в управляващия софтуер. Изследването на сингулярностите се основава на анализ на обратната матрица на Якоб получена при анализът на скоростите. Анализът се състои в намиране на детерминантата на тази матрица, задача която е значително комплексна и възможна обикновено за работи с не повече от **3 С.Н.С** [13, 14]. За работи с **6 С.Н.С** е доста по-трудно, но възможно за някои специфични структури Майер [15]. Проф. Златанов [16] предлага интересна методика при анализа на зависимостта на сингулярностите и скоростите. Проф. Танев [17] използва геометрична алгебра за анализ на сингулярностите на работи с лимитирана мобилност до **5 С.Н.С**. Интересен подход използваш геометрията на Грасман е описан в [18] при който геометричните условия на Грасман позволяват да се проектира алгоритъм за намиране на конфигурации за всеки тип паралелни работи, при които обратната матрица на Якоб съдържа вектори изразени с координати



на Плюкер. За да бъдат изключени сингулярните пози от работната зона Сефриуи [19] предлага алгоритъм за представяне на работното пространство заедно със сингулярните локации.

*F. Алгоритми за статичен анализ*

Статичния анализ дава зависимост между силите действащи върху КИЗ  $\mathcal{F} = [F, M]^T$  (представляваща **6** мерен вектор съдържаща силите и моментите спрямо всяка ос) и силите в кинематичните двоици  $\tau$ , т.е. ако се знае необходимата максимална товарносимост на робота при зададени максимални скорости и ускорения могат да се изчислят силите действащи в кинематичните двоици. Това е от съществено значение за проектирането и подбора на елементите на робота в следващия етап. Тъй като до този етап няма създадена конструкция на КИЗ, за негово тегло трябва да се приеме примерна преоразмерена стойност от проектанта. Уравнението за механично равновесие е както при роботите със последователна конструкция и е следната :

$$\mathcal{F} = J^{-T} \tau \tag{26}$$

или

$$\tau = J^T \mathcal{F} \tag{27}$$

Матрицата на Якоб трябва да се изчисли от нейната обратна, получена при кинематичния анализ. Подробен алгоритъм за намирането на екстремум на силите в кинематичните двоици е предложен от Мерлет [20] за **6-PPTC** робот в определено транслационно работно пространство.

*G. Алгоритми за управление на робота*

Повечето от разработките свързани с контрола на позицията при паралелните роботи са разделени на две групи: контрол с локална обратна връзка и контрол основан на динамичния модел на робота. От първата група най-известен е ПИД контролера. От друга страна контрола основан на динамичен модел предлага по добра производителност. Използването на данните от допълнителни сензори разположени при не задвижваните кинематични двоици може значително да намали пресмятанията и времето за тях, като с това и да се подобри точността на изчислената позиция като се намали необходимата изчислителна мощ за управление. Такъв алгоритъм е представен в [11] за **6-PPTC** робот, който се основава на използването на формулировката на Лагранж за динамичен модел (28) и разделянето на робота на две системи: система на подвижната платформа и система на кинематичните вериги.

$$\tau = D(q) \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \dot{q} + G(q) \tag{28}$$

Където:  $\tau$  е векторът на силите (моментите) на актуаторите,  $D$  е инерционната матрица,  $C$  е кориолисва матрица, а  $G$  е матрица описваща ефекта на гравитацията.

Така когато роботът се раздели на две системи за (28) се получава:

$$\tau_{q_a} = T^T D_s \ddot{q} + [J_{q_a}^{-1}]^T D_x \ddot{x} + T^T C_s \dot{q} + [J_{q_a}^{-1}]^T C_x \dot{x} + T^T G_s + [J_{q_a}^{-1}]^T G_x \tag{29}$$

Където:  $\tau_{q_a}$  са силите на задвижваните звена,  $D_x$ ,  $C_x$  и  $G_x$  са инерционни, кориолосови и гравитационни сили свързани с подвижната платформа дефинирани според параметъра  $x$ , а  $D_s$ ,  $C_s$  и  $G_s$  са инерционни, кориолосови и гравитационни сили свързани с кинематичните вериги и дефинирани според параметъра  $q$ ,  $q_a$  са параметрите на задвижваните звена  $q_c$  са параметрите на следените със сензор звена. Ако се добавят данните от допълнителните сензори  $q_c$  (29) се получава:

$$\tau_{q_a} = D \ddot{q}_c + C \dot{q}_c + G \tag{30}$$

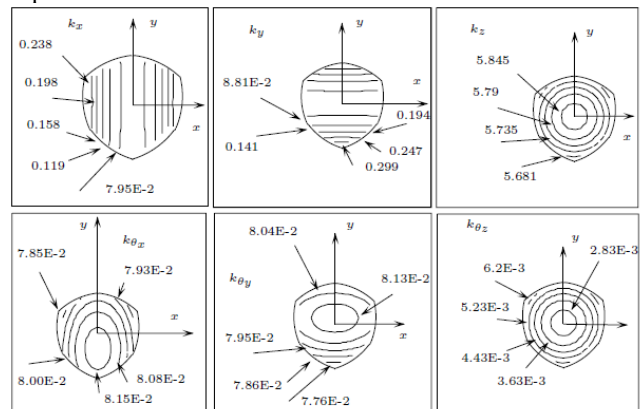
Където:

$$\begin{aligned} D &= T^T D_q T_q + [J_{q_a}^{-1}]^T D_x J_p \\ C &= T^T (D_q \dot{T}_q + C_q T_q) + [J_{q_a}^{-1}]^T (D_x \dot{J}_p + C_x J_p) \\ G &= T^T G_q + [J_{q_a}^{-1}]^T G_x \end{aligned} \tag{31}$$

Трябва да се отбележи, че броят на сензорите както и на кои кинематични двоици са разположени оказва съществено влияние на производителността на робота.

*H. Алгоритъм за анализ на коравината*

Възможно е съставянето на карта на коравината на робота в различните области на работното поле. Такъв анализ е предложен от Госелин [21] фиг.9. Използването му е подходящо за металообработващи роботи, където коравината е от значителна важност за точността на обработката.



Фиг. 9. Анализ на Госелин [21]

III. ПРОБЛЕМИ ПРИ ИЗПОЛЗВАНЕТО НА РАЗГЛЕДАНИТЕ АЛГОРИТМИ

A. Проблеми при използването на алгоритми за структурен синтез

1) Използване на графи

- изоморфизъм – дадена структура може да бъде представена чрез различни графи;
- алгоритъма се основава на екстензивното използване на формулата на Грублер за мобилността, която не важи за всички пространствени механизми.

2) Използване на групов теория

- Не отчитат фактори като технологичност на конструкцията.

3) Използване на вече съществуващи структури

- Наследяват всички слабости на съществуващата структура, с които проектантът трябва да се справи;
  - Недостатъци на алгоритми за размерен синтез;
  - Всичките тези алгоритми дават добри резултати, но са сравнително сложни, а някои от тях не са използвани за различни типове конструкции което допълнително може да усложни използването им;
  - При оразмеряване конструкторът трябва да вземе предвид технологичността на конструкцията, необходими габаритни размери за поставяне на актуатори;
  - Трябва да има някаква първоначална идея за това как ще бъдат реализирани връзките между отделните звена както и каква ще бъде тяхната подвижност, анализ за възможни кулизии между отделните звена при движение в работното пространство;
  - Проблем, който важи за всички алгоритми основаващи се на работното пространство е, че не може да се вземе под внимание ориентацията на КИЗ. Това е така, тъй като за паралелните работи с повече от 3 С.Н.С е графично невъзможно да бъде представено работното пространство защото ограниченията на кинематичните вериги са свързани. При това за различни точки от работното пространство обхващат на възможните ориентации на КИЗ е различен. За това при тези алгоритми се приема ориентацията на КИЗ за фиксирана. За да се намали влиянието на този проблем се прилагат следните два метода:
    - работното пространство се преоформява, за да е сигурно че желаната ориентация ще попадне в зададеното работно пространство;
    - всички кинематични връзки се конструират с максимална подвижност или използване на конструкция при която се избягват кулизии между отделните звена и кинематичните вериги се движат свободно по подвижната платформа.
- V. Проблеми при използването на алгоритми за кинематичен анализ*
- 1) *Използване на права кинематична задача*
- Недостатък на този алгоритъм е, че изчисленията са твърде сложни и се изисква значителна изчислителна мощ, а в процеса на управление на робота е важно правата кинематика да се решава колкото се може повече пъти.
- C. Проблеми при използването на алгоритми за анализ на скорости и ускорения*
- Ъгловата скорост не може да се намери директно чрез диференциране на  $\Psi = [\alpha \ \beta \ \gamma]^T$ ;
  - Начинът по който се изчислява ъгловата скорост на КИЗ зависи от избраната конфигурация на ъглите на Ойлер  $[\alpha \ \beta \ \gamma]$  т. е. поредността на извършване на ротации около осите  $x, y, z$  на  $P$  за да се постигне дадена ориентация на КИЗ;
- D. Проблеми при използването на алгоритми за анализ за сингулярности*
- Липса на генерализиран метод за всички типове работи с паралелна кинематика породено от факта че намирането на детерминантата на обратната матрица на Якоб е много трудно и в някой случай невъзможно;
  - Анализът на сингулярности посредством геометрията на Грасман е възможен само когато обратната матрица на Якоб съдържа вектори дефинирани чрез координати на Плюкер;
  - Използването на геометрична алгебра за работи с повече от 3 С.Н.С е комплексно и времеемко.
- E. Проблеми при използването на алгоритми за статичен анализ*
- Необходимост от изчисляване на матрицата на Якоб от нейната обратна дефинирана при анализът на скоростите и ускоренията;
  - До момента алгоритъмът за намирането на екстремум на силите в кинематичните двоици предложен от Мерлет [20] е имплементиран само за 6-РРТС робот. При използването му за други типове работи могат да се появят неочаквани неопределености.
- F. Проблеми при използването на алгоритми за управление на робота*
- Повечето от алгоритмите за контрол на паралелни работи взети от роботите с последователна конструкция, не са съобразени със спецификите като това, че положението на КИЗ не може да бъде измерено директно със сензор, а трябва да бъде изчислено чрез правата кинематична задача, използвайки комплексни числени алгоритми като схема на Нютон. Освен това в паралелните работи някои от кинематичните двоици не са задвижвани и тяхното движение също трябва да бъде изчислено;
  - Управлението основано на ПИД контролер не взема предвид динамичните връзки между отделните звена на робота и не доставя добър контрол когато са необходими висока скорост и точност;
  - Контрола основан на динамичен модел изисква създаването на динамичен модел на робота, което е възможно когато се знае кинематиката на робота, скоростите, ускоренията, центровете на тежест и теглото на звената и актуаторите, за да може да бъде изчислена кинематичната и потенциална енергия на звената;
  - Управляващия софтуер се съставя специфично според съставения динамичен модел.
- G. Проблеми при използването на алгоритъм за анализ на коравината*
- Комплексен и времеемък анализ;
  - Изисква наличието на структурен модел на робота;

- Изисква създаването на специфичен изчислителен софтуер.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледани са алгоритми използвани при проектиране на роботи с паралелна кинематика.

Определени са основните проблеми при използване на разгледаните алгоритми.

Въпреки сложната си конструкция и още по комплексни алгоритми за анализ, предимствата които предоставят паралелните роботи спрямо тези с последователна конструкция, са предпоставка за създаване на високопроизводителни и опростени алгоритми за изследването им, подпомагащи процеса на проектиране.

С развитието на компютърните изчислителните технологии се наблюдава и повишаване на интереса към роботите с паралелна кинематика, които имат потенциала да бъдат в основата на бъдещата роботика.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Тази работа е извършена с финансова подкрепа от гранта № BG05M2OP001-1.002-0011 „MIRACle (мехатроника, иновации, роботика, автоматизация, чисти технологии)“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“ (2014 - 2020 г.) и съфинансирани от Европейския съюз чрез европейските структурни и инвестиционни фондове.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] J.-P. MERLET Parallel Robots, second edition, 2006 ISBN-10 1-4020-4133-0
- [2] Доц. В. И. Павлов, Проектиране на промишлени роботи, 1993
- [3] Hervé J.M. Group mathematics and parallel link mechanisms. In 9th. World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, pages 2079–2082, Milan, August 30- September 2, 1995 ISBN: 978-1-4471-0765-1
- [4] Frisoli A. and others . Synthesis by screw algebra of translating in parallel actuated mechanisms. In ARK, Piran, June, 25-29, 2000 ISBN: 978-94-011-4120-8
- [5] Erdman A.G. Modern Kinematics. Wiley, New-York, 1993 ISBN-13: 978-0471554592
- [6] Merlet J-P. Articular velocities of parallel manipulators, Part II: Finding all the robots with fixed extremal articular velocity for performing a fixed cartesian velocity over a whole workspace. In IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 3262–3267, Albuquerque, April, 21-28, 1997 ISBN:0-7803-3612-7
- [7] Bhattacharya S., Hatwal H., and Ghosh A. On the optimum design of a Stewart platform type parallel manipulators. Robotica, 13(2):133 - 140, March - April , 1995
- [8] Claudinon B. and Lievre J. Test facility for rendez-vous and docking. In 36th Congress of the IAF, pages 1–6, Stockholm, October, 7-12, 1985.
- [9] Stoughton R. and Kokkinis T. Some properties of a new kinematic structure for robot manipulators. In ASME Design Automation Conf., pages 73–79, Boston, June, 28, 1987. ISBN: 978-0-7918-9774-4
- [10] J-P. Merlet Designing a parallel manipulator for a specific workspace INRIA Sophia-Antipolis, april 1995 ISSN 0249-6399
- [11] Asier Zubizarreta, Itziar Cabanes, Marga Marcos, Charles Pinto, Javier Corral and Pablo Bengoa. Redundant dynamic modelling procedure based on extra sensors for parallel robot control, PARALLEL MANIPULATORS DESIGN, APPLICATIONS AND DYNAMIC ANALYSIS, 2016, pages 41-81, ISBN 978-1-63485-953-0
- [12] Nanua P. and Waldron K.J. Direct kinematic solution of a Stewart platform. IEEE Trans. on Robotics and Automation, 6(4):438–444 ISSN: 1042-296X
- [13] Sefrioui J. and Gosselin C. Singularity analysis and representation of planar parallel manipulators. Robotics and Autonomous Systems 1992 Vol. 10 Pages 209-224
- [14] Sefrioui J. and Gosselin C. Etude et représentation des lieux de singularités des manipulateurs parallèles sphériques à trois degrés de liberté avec actionneurs prismatiques. Mechanism and Machine Theory 1994 pages 559-579
- [15] Mayer St-Onge B. and Gosselin C.M. Singularity analysis and representation of the general Gough-Stewart platform. Int. J. of Robotics Research, 19(3):271–288, March 2000 ISSN: 1741-3176
- [16] Zlatanov D., Fenton R.G., and Benhabib B. A unifying framework for classification and interpretation of mechanism singularities. ASME J of Mechanical Design, 117(4):566–572, December 1995
- [17] Tanio K. Tanev Geometric Algebra Approach to Singularity of Parallel Manipulators with Limited Mobility - Advances in Robot Kinematics, 2008 pages 39 -49 ISBN-13: 978-1-4020-8599-4
- [18] Collins C.L. and Long G.L. The singularity analysis of an in-parallel hand controller for force-reflected teleoperation. IEEE Trans. on Robotics and Automation, 11(5):661–669, October 1995
- [19] Sefrioui J. and Gosselin C.M. On the quadratic nature of the singularity curves of planar three-degree-of-freedom parallel manipulators, Mechanism and Machine Theory, 30(4):533–551, May 1995
- [20] Merlet J-P. Efficient estimation of the extremal articular forces of a parallel manipulator in a translation workspace. In IEEE Int. Conf on Robotics and Automation, pages 1982–1987, Louvain, May, 18-20
- [21] Gosselin C. Stiffness mapping for parallel manipulators. IEEE Trans on Robotics and Automation, 6(3):377–382, June 1990. ISSN: 2374-958X
- [22] <https://www.metrom-mobil.com/en-au/home>

## COMPARATIVE ANALYSIS OF ALGORITHMS FOR DESIGNING ROBOTS WITH PARALLEL KINEMATICS

Stanislav Tsolov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Reneta Dimtirova  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Stilyan Nikolov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: st\_nikolov2@tu-sofia.bg

**Abstract:** In the present article a comparative analysis of existing algorithms for designing robots with parallel kinematics is made. The analysis includes the consideration of key techniques and computational algorithms that support development activities in the construction of this type of robots. The advantages and disadvantages of the existing algorithms used in the design of robots with parallel kinematics are determined.

## МЕТОДИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ВИБРАЦИИТЕ В РОБОТИЗИРАНИТЕ СИСТЕМИ

Ванеса Чавушян  
МФ, катедра АДП  
Технически университет  
София, България  
e-mail: vchavushqn@gmail.com

Ваня Георгиева  
МФ, катедра АДП  
Технически университет  
София, България  
e-mail: vgeorgieva@tu-sofia.bg

Стилиян Николов  
МФ, катедра АДП  
Технически университет  
София, България  
e-mail: st\_nikolov2@tu-sofia.bg

**Резюме:** В работата са разгледани основните източници на вибрации, възникващи при работата на роботизирани производствени системи и причиняваните от тях проблеми.

Определени са основните методи, използвани за намаляване на влиянието на вибрациите, върху работата на роботизирани производствени системи.

**Ключови думи:** роботизирани системи, промишлени работи, вибрации

### I. УВОД

Вибрациите са вид механични колебания. По същество те представляват трептения в механични динамични системи. Прието е, че едно тяло вибрира, ако трепти спрямо еталонно равновесно положение. Броят на пълните цикли на движение на тялото за единица време, се нарича честота и се изразява в единици Hz (херц).

Роботизираните системи намират приложение все по-често във всеки аспект на индустриалното производство, за осъществяване на различни видове технологични операции: по сглобяване, контрол и други.

Скоростите и ускоренията, появяващи се при работата на промишлените работи, в съчетание с недостатъчна стабилност на някои от елементите им и влиянието на другите компоненти на производствената система, са предпоставка за възникване на вибрации, които оказват влияние в определена степен, върху извършваните от промишления работ движение.

Влиянието на вибрациите, върху работата на роботизираните системи, се изразява във влошаване на точността на позициониране (поява на случайни грешки от позициониране) на крайните звена и ограничаване на възможностите на методите и средствата за управление на точността като цяло.

Всичко това налага търсене на пътища за борба с вибрациите в роботизираните системи и гарантиране на тяхната дълготрайна работоспособност и прецизност.

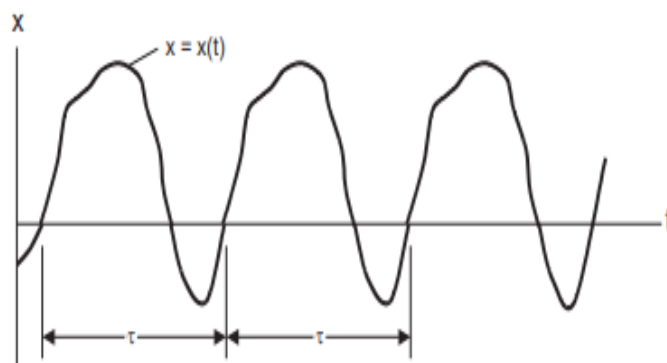
### II. ВИБРАЦИИ В РОБОТИЗИРАНИТЕ СИСТЕМИ

Прегледът на литература, свързана с вибрациите в роботизираните системи показва, че основен акцент в тях се поставя на първо място върху класифицирането им.

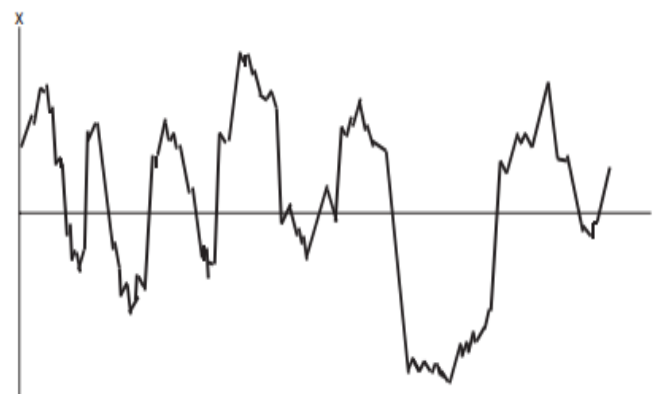
Според [1], вибрациите могат да се класифицират по различни признаци спрямо техните характеристики за дефиниран период от време. Според този признак те могат да се разделят на:

- хармонични - чийто сигнал може да бъде описан със синусова или косинусова функция спрямо времето;
- периодични - които се повтарят след определен интервал от време;
- детерминирани - имащи характеристики, които могат да бъдат описани като функционална зависимост между времето и моментната стойност;
- стохастични - които могат да бъдат описани с функционална зависимост между независима променлива и зависима такава [1].

На фиг.1 е показана детерминирана вибрация, а на фиг. 2 случайна [8].



Фиг. 1. Детерминирана (периодична) вибрация



Фиг. 2. Случайна вибрация

В допълнение авторите предлагат и класификация на вибрациите според начина им на възникване, като по този критерий ги разделят на:

- автономни вибрации - определят от вибриращата система и се подразделят на:
  - свободни, които губят част от енергията си след прекъсването на пораждащия ги външен източник, т.е. затихват;
  - самовъзбуждащи се.
- хетерономни вибрации - получават се от външно влияние върху системата.

Измерването на вибрации е другият въпрос, поставян на разглеждане в литературата, предимно на базата на конкретни примери като измерването на параметрите на вибрациите с помощта на индуктивен преобразувател, както и на функциите за преобразуване [2].

В други научни трудове акцентът е върху познатите методи и решения за намаляване на вибрациите [3], както и върху защитата срещу вибрации при процесите на рязане [5].

Анализът на методите за борба с вибрациите при тези процеси показва, че е необходимо по-нататъшното им изследване поради различната ефективност, увеличаването на разходите, ограничената гъвкавост и универсалност на отделните подходи.

### III. ИЗМЕРВАНЕ НА ВИБРАЦИИТЕ В РОБОТИЗИРАНИТЕ СИСТЕМИ

Един от най-разпространените и достъпни методи на техническа диагностика е вибродиагностиката. При нея се изследват и се анализират вибрациите на компонентите на системата.

Диагностиката на машините се извършва чрез регистрация и анализ на комплекс параметри, които най-пълно отразяват техническото състояние на конкретния тип машина, което се използва за определяне състоянието на изследваните системи.

Вибрационната диагностика се извършва на 3 етапа:

- Описание на вибрационното състояние на обекта;
- Избор на изследвани характеристики и параметри;
- Вземане на решение за намаляване на вибрациите

Комплексът изследвани параметри включва: температура, налягане и степен на сгъстяване, съпротивление, мощност, скорост, шум и вибрации, сила и напрежение на тока и др. Тъй като повечето от тези параметри са взаимосвързани, необходимо е техният анализ също да се извършва съвместно. Честотният анализ е основният диагностичен метод, използван при изследване на механичните вибрации.

Предимствата на вибрационната диагностика са:

- Възможност за откриване на скрити дефекти;

- Получаване на информация за състоянието на механизмите от системата, разположени на труднодостъпни места;
- Наблюдение и получаване на информация за възникването на вибрациите;
- Кратко време за диагностициране

Вибрациите в роботизираните системи могат да се измерват с:

- виброметри - измерват механичните трептения;
- акселерометри - измерват ускоренията;
- вибрографи - записват измервания процес.

Тези измервателни устройства имат сходен принцип на работа, но и съществени разлики.

Към тези устройства се предявяват изискванията да не увеличават масата на измервания обект или процес, както и да не изменят неговата собствена честота на трептене.

Виброметрите намират приложение не само за измерването на параметрите на вибрациите, но и за тяхното записване и контрол. Най-често срещаният вид виброметър е този, основаващ се на пиезоелектричния ефект. Основният му недостатък е, че за да се получат точни измервания, виброметърът трябва да е поставен върху измервания обект, което да доведе до промяна в стойностите на измерванията. Друг недостатък е малкият честотен диапазон на измерване.

Изборът на акселерометър се определя от очаквания диапазон на амплитудите на вибрациите, честотния диапазон, физическите характеристики на повърхността, върху която ще бъде инсталиран, и условията на околната среда. Предимствата на акселерометрите са, че имат сравнително голям честотен диапазон и малки размери.

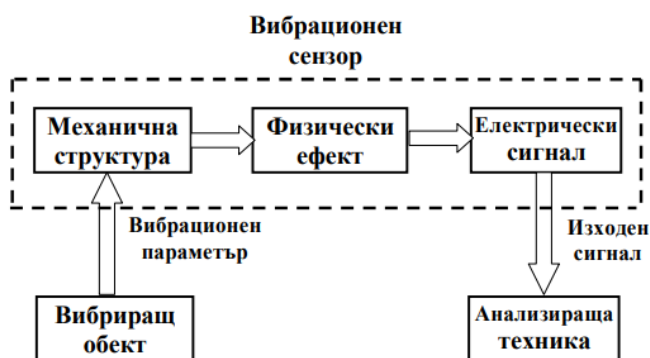
За измерване и следене на вибрациите могат да се използват и различни видове сензори, като най-разпространеният метод е чрез индуктивни сензори.

Всички устройства за измерване на вибрации изискват специфични условия за монтаж и експлоатация. Създаването им осигурява висока точност на измерените параметри. Подборът на правилно устройство изисква добро познаване освен на принципа на работа на устройството, също и на дизайна на механизмите, влизащи структурата на съответната роботизирана система.

Основният принцип на действие на вибросензор е представен на фиг.3.

Сензорите преобразуват параметрите на вибрацията в електрически сигнали. Съгласно измервания параметър, те се делят на такива, които измерват:

- амплитудата;
- скоростта;
- ускорението на вибрацията.



Фиг. 3. Схема на основния принцип на измерване с вибрационен сензор

Физичният характер на вибрациите прави възможно преобразуването на амплитудата, скоростта и ускорението посредством елементарни физични формули. Това качество дава възможност позволява да се използват различни видове сензори, базирани на различни физични характеристики.

#### IV. МЕТОДИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ВИБРАЦИИТЕ В РОБОТИЗИРАНИТЕ СИСТЕМИ

##### A. Източници на вибрации в роботизираните системи

Основните причини за поява на вибрации, при работа на роботизираните системи са:

- резонанс - честотата на въртене на подвижните елементи съвпадне с резонансната честота на системата; (тука нещо не е ясно в обяснението на резонанса, изчисти го)
- небалансираност - центърът на тежестта на въртящия се обект, не е точно в централната линия на механизма, това което причинява дисбаланс на системата, а следователно води и до появата на вибрации;
- несъосност между осите на въртене на свързаните компонентите;
- наличие на хлабини – липса отсъствие на необходимата стегнатост между компонентите на системата.

Механизмите, част от конструкцията на различни компоненти от роботизираните системи, които най-често предизвикват появата на вибрации, са:

- задвижвания на компонентите - вибрациите се получават в резултат на разбалансиране на въртящи се с висока скорост детайли и възли;
- предавки със зъбна рейка - вибрациите в този вид задвижвания се пораждат от лоши контактни условия между зъбните колела с малък брой зъби и рейките;
- зъбни предавки - вибрациите в този вид задвижвания се пораждат когато има некачествено изработени зъбните колела или при зацепването се включат износени зъби;

- лагерни възли - търкалящите лагери могат да се монтират неправилно, което води до прилагане на несиметрични натоварвания, които причиняват вибрации, водещи до ускоряване на износването на лагерите.

##### B. Проблеми, предизвиквани от появата на вибрации в роботизираните системи

При продължителна работа, съпроводена с вибрации, в роботизираните системи се наблюдават следните проблеми:

- повишено износване - води до промени в първоначалните сглобки между детайлите и възлите на компонентите на роботизираните системи, в резултат на което се променя геометричната форма, размерите и се нарушават покритията на контактните повърхнини, водещи до цялостна промяна и нарушаване на геометричната точност на роботизираната система.
- поява на шум - води до замърсяване на работната среда, влошаване на условията за работа и налага въвеждането на допълнителни мерки за ограничаването му.
- увеличаване на триенето - води до отделяне на фини микрочастици, които при производства в условия на чисти стаи, нарушават технологичните процесите и могат да компрометират работата на цялата система;
- намаляване трайността на използваните от роботизираната система инструменти, поради влошаване на работните условия.

На практика при наличието на вибрации не е възможно да се работи в оптимален режим, в резултат на което се нарушават заложените при проектирането на роботизираните системи параметри.

##### C. Намаляване на вибрации в роботизираните системи

Въз основа на направения обзор, основните методи за защитата от вибрации, в роботизираните производствени системи могат да бъдат разделени на следните групи:

- намаляване интензивността на генерираните при работата на компонентите на системата вибрации;
- използване на вибропоглъщащи покрития, които разсейват енергията на механичните вибрации;
- използване на виброизолация, поставяна на вибриращия компонент или между източника на вибрации и защитавания обект;
- монтиране на компонентите на системата на виброизолирани фундаменти;
- динамично затихване на вибрациите - използване на допълнителна механична система (виброгасител) към роботизираната система;
- активно затихване на вибрациите - използване на допълнителен източник, сравняващ амплитудата

на източника на вибрации и генериращ трептения със същата амплитуда, но с противоположна фаза.

Разгледаните методи за намаляване на вибрациите, включват премахване на вибрациите при източника и по пътя на тяхното разпространение.

За да се намалят вибрациите при източника, на етапа на проектиране и производство на роботизираните системи е необходимо да се осигурят благоприятни вибрационни условия на работа: замяна на ударните процеси с безударни; използването на пластмасови части, ремъчни задвижвания вместо верижни; избор на оптимални режими на работа; внимателно балансиране на въртящите се части; повишаване на точността на изработката и качеството на контактните повърхнини.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определени са механизмите, част от конструкцията на различни компоненти в роботизираните системи, които най-често предизвикват появата на вибрации.

Разгледани са проблемите, породени от възникващите по време на работа, на роботизираните системи вибрации.

Определени са основните методи, използвани за намаляване на влиянието на вибрациите, върху работата на роботизирани производствени системи.

Предлаганите от производителите на различни възли и машини, решения за намаляване на вибрациите и тяхното влияние, върху работата, на роботизираните производствени системи, в които се влагат, се характеризират с редица ограничения, по отношение на ефективността и универсалността им.

Потребителите не разполагат с критерии за подходяща оценка, сравнение и методика или препоръки за избор на

решение, с отчитане на особеностите на роботизираните системи.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

*Тази работа е извършена с финансова подкрепа от гранта № BG05M2OP001-1.002-0011 „MIRACle (мехатроника, иновации, роботика, автоматизация, чисти технологии)“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“ (2014-2020 г.) и съфинансирани от Европейския съюз чрез европейските структурни и инвестиционни фондове.*

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Джуджев Б., В. Иванчева, Класификация и параметри на вибрациите. Годишник на ТУ-София, том 62, брой 2, стр. 411-418, България, София, ТУ-София, ISSN 1311-0829, 2012
- [2] Иванчева, В., Б. Джуджев, Измерване на вибрации с индуктивни преобразуватели, Втората научна конференция с международно участие, АВТОМАТИКА'2013, България, Созопол, 2013
- [3] Романченко, М. К., Защита от вибрации, Технически науки в Русия и в чужбина: материали от II Международна научен конференция, стр. 131-133, Москва: Буки-Веди, 2012
- [4] Димитров Д., Експериментално изследване влиянието на топлинните деформации върху точността на установяване на конусен инструментален държач ISO40 във вретеното, Nauchna konferentsiya - RU&SU'13 v Balgariya, Mehanika i mashinostroitelni tehnologii, Ruse, стр. 57-60, 2013
- [5] Nikolov N., Analysis of the known solutions in engineering to reduce the vibrations that occur when processing parts by cutting, Proceedings of university of Ruse, volume 56, book 2, 2017
- [6] S. Graham Kelly, Fundamentals of Mechanical Vibrations, 2000
- [7] Bird John, Carl Ross, Mechanical Engineering Principles 3rd Edition Routledge, 2014
- [8] <https://www.newagepublishers.com/samplechapter/001413.pdf>

## METHODS FOR REDUCING VIBRATIONS IN ROBOTIC SYSTEMS

Vanesa B. Chavushyan  
Automation of Discrete Production  
Engineering Department  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: vchavushqn@gmail.com

Vanya Georgieva  
Automation of Discrete Production  
Engineering Department  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: vgeorgieva@tu-sofia.bg

Stilyan Nikolov  
Automation of Discrete Production  
Engineering Department  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: st\_nikolov2@tu-sofia.bg

**Abstract:** The paper examines the main sources of vibrations arising from the operation of robotic manufacturing systems and the problems they cause.

The main methods used to reduce the impact of vibration on the operation of robotic manufacturing systems are determined.

# ОСНОВНИ ПРОБЛЕМИ ПРИ ИНТЕГРАЦИЯТА НА СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМИ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ И ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА КОНЦЕПЦИЯТА „ИНДУСТРИЯ 4.0“

Димитър Тотев  
Технически университет  
София, България  
e-mail: dkt@tu-sofia.bg

**Резюме:** В статията са разгледани основните цели и изисквания на концепцията „Индустрия 4.0“, а също така и основните проблеми свързани с интеграцията на съществуващи системи за автоматизация и управление на индустриални и производствени процеси към изискванията на концепцията.

**Ключови думи:** системи за управление, автоматизация, управление, интеграция, индустриални процеси, производствени процеси, индустриална революция, Индустрия 4.0, умно производство, кибер-физични системи.

## I. Увод

През цялата си история човечеството винаги се е стремяло да подобри начина си на живот и да постигне възможно най-добра ефективност при набавянето на необходимите му блага и ресурси. Именно това е послужило като основен двигател на еволюцията и развитието му – от изобретяването и използването на първите сечива и инструменти до почти неограничените възможности на съвременните технологии, използвани в бита и индустрията.

Един от най-бурните периоди на развитие на човечеството е така наречената „индустриална революция“, за чието начало условно се приема края на 18-ти и началото на 19-ти век. Индустриалната революция, чийто процеси продължават и до днес, се характеризира със значителни промени в организацията и начина на работа и производство, като тя поставя на преден план използването на машините, технологиите, автоматизацията и иновациите.

В зависимост от протичащите процеси и концептуални изменения до момента, ясно могат да бъдат разграничени четири основни етапа на индустриалната революция.

Първата индустриална революция се датира условно в края на 18-ти и началото на 19-ти век и се характеризира с прехода от ръчно към машинно производство, като се използват машини и механизми, задвижвани с вода и пара.

Втората индустриална революция е в края на 19-ти и началото на 20-ти век. Известна още като технологичната

революция, тя се характеризира основно с изобретяването на поточната линия, която се превръща в основа на масовото производство, въвеждането на електричеството като основна задвижваща сила на машините и механизмите, а също така и изграждането на мащабни комуникационни и транспортни мрежи, което спомага бързия обмен на стоки, хора и идеи, което пък от своя страна води до огромен икономически растеж и увеличение на ефективността на производството и индустрията.

Трета индустриална революция е периодът в края на 20-ти век, който се характеризира с въвеждането и налагането на компютрите, микропроцесорната техника, информационните технологии и автоматизацията като основни елементи в управлението на производствените процеси, което води до минимизиране на необходимостта от човешка намеса и усъвършенстване на организацията и ефективността им. Характерно за този период е и появата на интернет, който значително улеснява обмяната на информация, данни, експертиза и знания, което служи като катализатор на бурното развитие на технологиите в наши дни.

Четвърта индустриална революция е обявена концептуално през 2011 година, тя дефинира най-новите тенденции в автоматизацията и дигитализацията. Наричана още „Индустрия 4.0“, тя е базирана на взаимно свързаността и обмяна на данни между различните нива, елементи, процеси и системи в производството и индустрията. В основата и са високи технологии като интернет на нещата (обектите), изкуствен интелект и облачни изчисления. „Индустрия 4.0“ поставя идеята за така нареченото „умно производство“, в което кибер физичните системи, които управляват производствените процеси, комуникират и се синхронизират по между си в реално време и са способни да взимат автономни децентрализирани решения без нужда от човешка намеса.

В заключение може да се каже, че съвременното производство и индустрия са немислими без автоматизация. Тя е в основата на високата ефективност и качество на производствените процеси като същевременно минимизира нуждата от човешки труд. В световен мащаб над 70% от всички производствени процеси са автоматизирани, като с развитието на



съвременните технологии, в т.ч. колаборативни работи и умни машини и устройства, както и повишаването на тяхната свързаност и автономност, се очаква този процент да се повиши значително в следващите години.

1-ва индустриална революция	2-ра индустриална революция	3-та индустриална революция	4-та индустриална революция
машини и механизми, водно и парно задвижване	поточни линии, електрическо задвижване, масово производство	компютри и процесори, автоматизация, интернет	кибер-физични системи

Фид. 1. Основни етапи на индустриалната революция

## II. ОСНОВНИ ТИПОВЕ СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ И ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ

В зависимост от степента на интеграция и реализираните функции за управление на производствените процеси, се различават следните основни типове системи за управление:

### A. PLC (Programmable logic controller) системи

Програмируемите логически контролери (PLC) в самостоятелно приложение обикновено се използват за локално управление на малки технологични възли, реализиращи определени производствени процеси, за които не е необходима операторска намеса и сложни алгоритми за управление. Обикновено те се използват за малки приложения от няколко до няколко десетки входно-изходни сигнала, като обикновено работят в изолиран режим. При необходимост от задаване на коригиращи параметри и задания е възможно да бъдат предвидени локални човеко-машинни интерфейси като операторски панели или пултове за управление.



Фид. 2. Система за управление базирана на програмируем логически контролер (PLC)

### B. SCADA (Supervisory control and data acquisition) системи

SCADA системите са едни от най-разпространените типове системи, използвани за управление на производствени системи и индустриални процеси. Характерното при тях е, че съчетават в една архитектура контролно и операторско ниво. Контролното ниво е базирано на програмируеми логически контролери, в които се реализират необходимите алгоритми за

управление на технологичните процеси. Те осигуряват събирането и обработката на полевите входно-изходни сигнали, изработват управляващи въздействия, а също така се използват и за комуникация с интелигентни полеве устройства като честотни преобразуватели и други. Събраната и обработена информация се предава към операторското ниво, което се състои от операторски станции, базирани на компютри със специално разработен потребителски софтуер, който визуализира данните в графичен вид удобен за наблюдение на производствения процес и осигурява възможност за задаване на коригиращи действия, задания и параметри към технологичния процес. Обикновено в операторското ниво се реализира и алармената подсистема, а също така и архивиране на процесните данни под формата на трендове и масиви от стойности. SCADA системите се отличават с високо ниво на интеграция и разполагаемост и обикновено се използват за средни приложения от няколко до няколко хиляди сигнала. Те са подходящи за управление на взаимосвързани технологични възли или за цял производствен процес. Основен недостатък на SCADA системите е централизираната им архитектура, което при възникване на функционални или системни проблеми води до проблеми във функционирането на цялата система, което от своя страна компроментира целия производствен процес.



Фид. 3. Пример за архитектура на SCADA система

### C. DCS (Distributed control system) системи

За централизирано управление на големи и комплексни индустриални и производствени процеси, в това число и цели фабрики и заводи, се използват така наречените разпределени системи за управление. Те са подходящи за приложения от няколко хиляди до няколко десетки хиляди сигнали. Основна тяхна характеристика е разпределената архитектура на системата, която гарантира висока разполагаемост и функционална независимост на отделните подсистеми и елементи. Самата разпределеност като концепция е заложена във всеки един елемент от системата – хардуерен и софтуерен. В DCS системите полево и контролното ниво са разделени с цел по-голяма надеждност, като полево ниво е базирано на изнесени входно-изходни модули. Това позволява събирането и обработката на сигналите да става непосредствено до процеса, а също така и управление на отделни технологични възли раздалечени на големи разстояния. Предаването на данни между полево и контролното ниво се осъществява посредством високоскоростна системна комуникация, като за носеща среда може да се използват включително

и оптични линии при по-големи разстояния. Контролното ниво е реализирано чрез процесни станции, в които се изпълнява приложното програмно осигуряване обезпечаващо необходимите алгоритми за управление на технологичните процеси. Процесните станции са базирани на индустриални компютри, работещи под real-time операционни системи, което гарантира необходимата изчислителна мощност за реализиране на управлението на сложни технологични процеси, логически операции и последователности. Чрез процесните станции се осъществява и комуникацията с интелигентни полеви устройства и локални контролери за управление на изнесени технологични възли и съоръжения.

Следвайки принципа на разпределеността, операторското ниво се състои от операторски станции, алармени и архивни сървъри. Операторските станции служат за визуализация и наблюдение на информацията от процеса, а също така и за задаване на коригиращи действия, задания и параметри към технологичния процес. Алармените сървъри обезпечават работата на алармената подсистема, а архивните сървъри служат за архивиране на процесните данни под формата на трендове и масиви от стойности.

При необходимост от комуникация с по-високо ниво информационно-управляващи системи, като MES и ERP системи, в операторското ниво може да бъде предвиден и комуникационен сървър, който да се грижи за предаването на данните и физическото разделяне на външната от системната комуникационна инфраструктура.

Друга основна характеристика на DCS системите е възможността за резервираност във всяка една точка на системата – от резервирани входно-изходни модули, процесни станции и системна комуникация до резервираност на системните функции, операторския интерфейс и архивиране на процесните величини.

Самото приложно програмно осигуряване се проектира така, че да бъде фрагментирано на отделни функционални слоеве, които се зареждат и изпълняват само в определените за това елементи на системата, което гарантира бързодействие и сигурност.

Всичко това води до една много голяма надежност и разполагемост на системата, което гарантира безпроблемното и функциониране дори и при локални проблеми в някоя от подсистемите и елементите и.



Фид. 4. DCS система за управление

### III. ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КОНЦЕПЦИЯТА „ИНДУСТРИЯ 4.0“

Понятието „Индустрия 4.0“ за първи път е споменато от германското правителство през 2011 година и описва рамка от мерки, приоритети и изисквания за технологични промени, които да подобрят конкурентността на германската индустрия в световен мащаб. Тя е представена като стратегия за цялостна трансформация чрез дигитализация и автоматизация на всяка една част от производствените и индустриални процеси, която трябва доведе до революция в производството и да постави началото на една нова ера, в която хората и машините комуникират и работят заедно, за да подобрят ефективността и да създадат устойчиви вериги на добавена стойност във всеки един аспект на производството.

Още при представянето си концепцията предизвиква широк интерес и поставя началото на световна тенденция за оптимизация на производствените и индустриални процеси посредством иновации, в основата на които са взаимосвързаността и обмяната на данни между различните нива, елементи, процеси и системи, както и използването на съвременни високи технологии като интернет на нещата, изкуствен интелект и автономни роботи.

Една от основните идеи на концепцията е създаването на така нареченото умно производство, базирано на киберфизични системи, които управляват производствените процеси, комуникират и се синхронизират помежду си в реално време и са способни да взимат автономни децентрализирани решения без необходимост от човешка намеса.

Основните фактори, които катализират тази идея са бурното развитие на информационните технологии през последните две десетилетия, все по-широкото използване на роботите в производствените системи и не на последно място появата и развитието на интернет, който коренно променя начина на свързаност и обмяна на информация и данни.

Две са основните стъпки, които всяко едно предприятие трябва да предприеме, за да е готово за концептуалните промените заложи в „Индустрия 4.0“:

#### A. *Хоризонтална интеграция*

За да се създаде устойчиво производство в глобален мащаб, всички предприятия, произвеждащи едни и същи или сходни по характеристика продукти, трябва да си сътрудничат и да споделят знания и технологично ноу-хау. Всичко това би довело до нови бизнес модели и стратегии.

#### B. *Вертикална интеграция*

Вертикалната интеграция предполага взаимосвързаност и обмен на данни между всички нива, елементи, процеси и системи в производството. Това би гарантирало децентрализирано, адаптивно и автономно управление, базирано на умни машини и самообучаващи се системи за управление с минимална или без човешка намеса. Всичко това би довело до повишаване на

ефективността и качеството и същевременно намаляне на разходите на производствените процеси.

В концепцията също така е дефиниран основен набор от съвременни високи технологии, необходими за осъществяване на основните цели и стратегии за оптимизация и дигитализация, а именно:

- Кибер-физични системи
- Интернет на нещата
- Интернет на услугите
- Анализ на големи масиви от данни
- Добавена реалност
- Автономни работи
- 3D принтиране
- Облачни изчисления
- Симулации и цифрови двойници

#### IV. ИНТЕГРАЦИЯ НА СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМИ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА КОНЦЕПЦИЯТА „ИНДУСТРИЯ 4.0“. ОСНОВНИ ПРОБЛЕМИ ПРИ ИНТЕГРАЦИЯТА.

От казаното дотук е видно, че концепцията „Индустрия 4.0“ чертае бъдещето на производството и индустрията и дефинира основните тенденции в автоматизацията и дигитализацията на производствените процеси.

Както вече беше споменато, над 70% от всички производствени процеси в световен мащаб са автоматизирани през последните 30 години, като внедрените системи са разнородни както по вид, така и по степен на автоматизация и се намират в различен етап от жизнения си цикъл. Всичко това прави интеграцията им към изискванията на концепция „Индустрия 4.0“ изключително сложна и инвариантна като решения задача.

За да отговорят на поставените изисквания и имайки предвид основните принципи, заложили в тази концепция като взаимосвързаност и обмен на данни между всички нива, елементи, процеси и подсистеми, както и използването на съвременни високи технологии, следва като първа крачка да се намери общ метод от критерии, по които да се оцени текущото състояние и готовността на различните системи за интеграция. На база на така изготвената оценка следва да се набележат съответните технически мерки и решения, които трябва да се приложат, както и да се оцени потенциалния технико-икономически ефект от прилагането им към конкретното производство.

Различното ниво на автоматизация и интеграция, както и различните класове внедрени системи и полеви устройства, би довело до различни по обем и комплексност решения. В някои от случаите подобна интеграция би била неефективна и безсмислена спрямо реализиране на изцяло ново решение. При други системи обаче би могло да бъде въпрос само на минимална

пренастройка и адаптация на съществуващото оборудване.

Като основни проблеми, които биха направили интеграцията невъзможна, могат да бъдат определени следните:

- Остаряла системна и комуникационна инфраструктура неподлежаща на разширение
- Невъзможност за промяна на съществуващата конфигурация на внедрените системи и полеви устройства
- Невъзможност за промяна и актуализация на приложното програмно осигуряване и потребителския софтуер
- Ниска степен на интеграция на съществуващите системи и несъвместимост със съвременните методи за комуникация
- Технологична невъзможност от гледна точка на производствения процес системата да бъде интегрирана към изискванията на „Индустрия 4.0“

За останалата част от системите, които биха могли да отговорят на изискванията или на част от тях, при интеграцията им следва да се имат предвид следните основни насоки:

- Функционална реорганизация на нивата на управление от вертикален йерархичен модел в хоризонтален и сливането им в едно общо ниво на управление
- Свързването на всички полеви устройства, контролери, операторски станции, машини и механизми в една обща комуникационна мрежа, базирана на Industrial Ethernet
- Надграждане и настройка на комуникационните възможности на всички полеви устройства, контролери, операторски станции, машини и механизми и подготовката им за внедряване в интернет на нещата
- Подмяна на всички полеви устройства, контролери, операторски станции, машини и механизми, които не могат да отговорят на изискванията на концепцията
- Промяна и надграждане на приложното програмно осигуряване и потребителския софтуер, както и адаптация на алгоритмите за управление спрямо новия организационен и комуникационен модел

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграцията на съществуващите системи за автоматизация и управление към изискванията на концепцията „Индустрия 4.0“ е критичен етап в преминаване от конвенционално към умно производство и дигитализацията на производствените процеси. Поради разнородността на съществуващите системи е необходимо да се разработи единен подход за оценка на способността за интеграция а също така и технико-икономическият ефект от интеграцията им спрямо

разработването на изцяло нови системи. Също така е необходимо да се предложи методология за интеграция като се отчетат всички възможни проблеми и съответния набор от инструменти и мерки за решаването им.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mehta B.R., Y. Jaganmohan Reddy. Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation. Elsevier Science, 2014
- [2] Colin Koh, Michael Deng. Smart Factory: Transforming Manufacturing for Industry 4.0. ISBN139798583886425, 2020
- [3] Dimitrov S., L. Dimitrov, R. Dimitrova, S. Nikolov, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps, International Conference on Information Technologies ICIT-2019: Information and Communication Technologies for Industry and Research, 7-8.02.2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, ISBN 9783030120726 (online), 9783030120719 (print), pp. (502-514).
- [4] Dimitrov S., R. Dimitrova, T. Bankov, A. Banchev, S. Tsolov, Engineering research a mobile robot with hybrid drive, XXX "ADP – 2021", Sozopol, 29.06 – 02.07.2021, Magazine "Automation of Discrete Production Engineering", 3/ July 2021 г., ISSN: 2682-9584, (122-125).
- [5] Dimitrova R., M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX МНТК „АДП – 2020“, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство“, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [6] Kambushev M., S. Bilyderov, R. Dimitrova, S. Nikolov, Optimizing the selection of the weighting matrices q and r in lqr, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTech 2019, 10 - 11 November 2019, Scopus, 9128263
- [7] Nikolov S., R. Dimitrova, I. Topov, New approach at mechanical engraving of details with large sizes, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTech 2019, 10 - 11 November 2019, Scopus, (9128261).
- [8] Raymond Foster. Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing. Larsen and Keller Education, 2019
- [9] Vikalp Joshi, Manoj Singh Adhikari, Raju Patel, Rajesh Singh, Anita Gehlot. Industrial Automation. BPB, 2019
- [10] <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- [11] [https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM\\_Industrie%204.0\\_DE.pdf](https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%204.0_DE.pdf)
- [12] <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Dossier/industrie-40.html>

## MAIN PROBLEMS WITH THE INTEGRATION OF EXISTING SYSTEMS FOR AUTOMATION AND CONTROL OF INDUSTRIAL AND MANUFACTURING PROCESSES TO THE REQUIREMENTS OF THE CONCEPT "INDUSTRY 4.0"

Dimitar Totev  
Technical University  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: dkt@tu-sofia.bg

**Abstract:** This article reviews the main goals and requirements of the concept "Industry 4.0", as well as the main problems related to the integration of existing systems for automation and control of industrial and manufacturing processes to the requirements of the concept.

# ОСНОВНИ ВИДОВЕ ЗАДВИЖВАНИЯ В ИНДУСТРИАЛНИ РОБОТИ ЗА АСЕМБЛИРАНЕ НА СКРЕПИТЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ

Генади Цветанов  
ТУ-Габрово  
катедра „Машиностроене и  
уредостроене“  
Габрово, България  
e-mail: gencvet@tugab.bg

Николай Петров  
ТУ-Габрово  
катедра „Машиностроене и  
уредостроене“  
Габрово, България  
e-mail: n.petrov@hamberger.de

**Резюме:** Направен е обзор на основните видове задвижвания в индустриалните роботи за асемблиране на скрепителни елементи-пневматични, хидравлични и електрически. Дадени са основните точностни и скоростни характеристики на роботите по отворена кинематична верига и по-важните конструктивни пресмятания.

**Ключови думи:** работи, асемблиране на скрепителни елементи.

## I. УВОД

Задвижванията в индустриалните роботи за скрепителни елементи включват двигател, система за управление, трансмисионни механизми, спирачни устройства, обратната връзка и комуникационни сензори. Комуникациите са необходими за пренасянето на енергия към задвижващите механизми и предаването на контролните сигнали, както и за изпълнението на обратната връзка.

Изборът на типа задвижване зависи от функционалната цел на робота. Основните фактори, определящи избора на типа задвижване, са: предназначението и работните условия, носещата способност и изискваните динамични характеристики на конструкцията, както и вида на системата за управление.

Общи изисквания към задвижването на индустриалните роботи за асемблиране на скрепителни елементи, са:

- минимални габаритни размери на високи енергийни показатели, осигуряващи голяма стойност на съотношението на изходната мощност към масата;
- възможност за работа в режим на автоматично управление и регулиране, осигуряваща оптимални закони за ускорение и спиране с минимално преходно време;
- изпълнение и прилагане на движения на задвижващи механизми с високи скорости и малка грешка при позициониране;
- ниска маса на задвижване елементи с висока ефективност на цялата структура;
- надеждност и дълготрайност на структурните елементи;

- удобство на монтажа, ремонта, поддръжката, пренастройка и безшумна работа.

## II. ИЗЛОЖЕНИЕ

В зависимост от вида на използваната енергия задвижванията на индустриални роботи за асемблиране на скрепителни елементи се разделят на хидравлични, пневматични, електрически и комбинирани [1,2,3,4].

### A. Пневматично управление

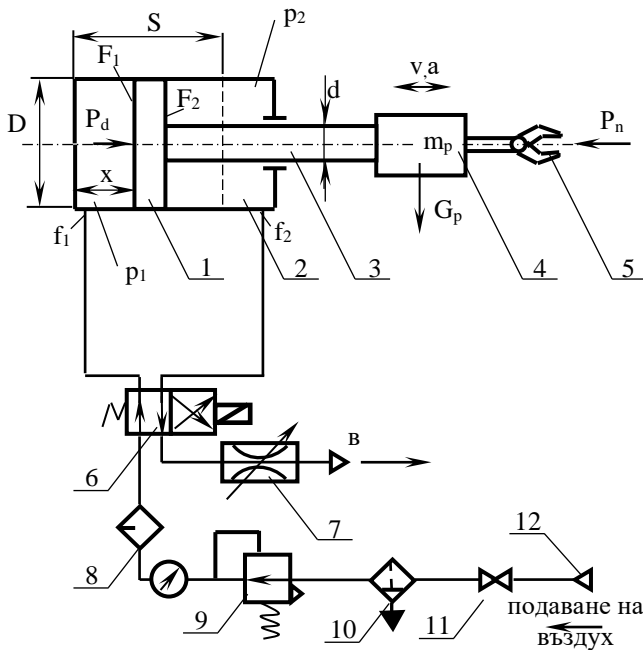
Пневматичният задвижващ механизъм се използва главно в индустриални роботи с циклично управление [2]. Функционално такова задвижване може да бъде разделено на следните възли:

- единица за подготовка на работната среда;
- разпределителна единица за сгъстен въздух;
- блок от задвижващи двигатели;
- система за предаване на сгъстен въздух между задвижващите устройства.

То се състои от входен щуцер 12, чрез който се подава сгъстен въздух при налягане 0,5...0,6 МПа от фабрична пневматична мрежа. Редуцир вентилът 11 включва задвижването в експлоатация. Дехидрататорът 10 се използва за приготвяне на сгъстения въздух и за отстраняване на водния кондензат от него, което причинява корозия и увеличава износването на триещите се части. Посредством подходящо регулиране на редуцирния клапан 9, налягането на сгъстения въздух, които навлиза в елементите на задвижващия механизъм, се регулира предварително. Това налягане е номинално и е зададено според спецификациите на работа. Маслената дюза 8 също осигурява впръскването на масло, необходимо за смазване на движещите се елементи на двигателя на задвижващия механизъм и разпределителя 6. Обикновено той се контролира от електромагнит. Дистрибуторите се използват за преразпределяне на потоците на работната среда, в този случай сгъстен въздух, в съответствие с програмата за контрол и изискванията на технологичния процес.

Сред основните параметри, характеризиращи пневматичния двигател, са: ефективната площ на буталото в работните F1 и изпускателните F2 повърхнини; работния ход на буталото S; текущата координата x; скорост v и ускорение a на буталото; маса

пр на задвижвания механизъм; въздушно налягане в работните  $p_1$  и изходните повърхнини  $p_2$ ; ефективни участъци на напречно сечение на тръбопроводите при вход  $f_1$  и изход  $f_2$ ; диаметри на буталото  $D$  и пръта  $d$ ; задвижваща сила  $P_d$  и натоварваща сила  $P_n$ .



Фиг. 1. Схема на пневматично задвижване от една степен на свобода

Дължината на цилиндъра се избира в зависимост от хода на буталото, а за двойно действащи цилиндри се препоръчва  $S = (8 \dots 10)D$ . При големи удари на буталото прътът се изчислява на устойчивост. В повечето промишлени работи, пневматичните цилиндри са с диаметър  $D = 32 \dots 80 \text{ mm}$  и ход  $S$  до  $1000 \text{ mm}$ .

Максималната стойност на натоварващата сила  $P_n$  се определя, от:

$$P_n = P_T + P_I \pm G_P \quad (1)$$

където  $P_T$  е силата на триене при плъзгане в низшата кинематична двойца, определена от Закона на Кулон.

$P_I$  – инерционната сила, съгласно принципа на Даламбер.

$G_P$  е силата на тежестта на всички движещи се части, ако цилиндърът се намира вертикално. Знакът "+" е при понижаване на буталото, знакът "-" - при повдигане.

Дебитът на въздуха за практически изчисления, като се вземе предвид турбулентността на потока му за политропния процес  $pV^n = \text{const}$  се определя, от:

$$Q = k f_1 p_1 \sqrt{\frac{2}{RT_2} \frac{p_2}{p_1} \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right)}, \quad (2)$$

където  $k$  е коефициентът на потока, определен от съотношението на реалния дебит към теоретичния;

$p_1$  и  $p_2$  - въздушно налягане съответно при прав и обратен ход на буталото;

$R$  е универсалната газова константа в зависимостта на Клапейрон-Менделеев за реален газ;

$T_2$  – температурата в работната повърхнина;

$f_1$  - площта на входния участък.

Критична е стойността на отношението  $p_2/p_1$ , което се търси за увеличаване на скоростта на изходното звено и тя е  $0,529$ . Тази стойност се постига чрез намаляване на въздушното налягане на изхода, докато общият дебит на въздуха практически не се променя.

Поради високите скорости на движение на буталото на пневматичния двигател е необходимо да се извърши спирането му в края на правия и обратния ход. Това увеличава точността на позициониране и намалява динамичните натоварвания в механичната конструкция.

Използват се два вида спиране: с помощта на допълнителни устройства за затихване или чрез дроселиране.

При използване на външни устройства спирането настъпва в малка зона в края на хода при приближаване до точката на позициониране. При използване на дроселиране се извършва ускорение и спиране за по-голяма част от работния ход, отколкото се постига с необходимият закон за промяна на кинематичните параметри по време на целия цикъл на движение.

Демпферното спиране се основава на затихването на енергията на движение. Най-широко използваните са хидравличните демпфери, а по-малко-механичните.

### В. Хидравлично управление

Делът на хидравличните двигатели за задвижване на промишлени работи е доста висок и се състои в 30% от серийно произвежданите средна и тежка серия. Грешката при позициониране в тези задвижвания е доста малка и не надвишава  $\pm 0,5 \text{ mm}$  при линейна скорост до  $0,8 \dots 1200 \text{ mm/s}$ .

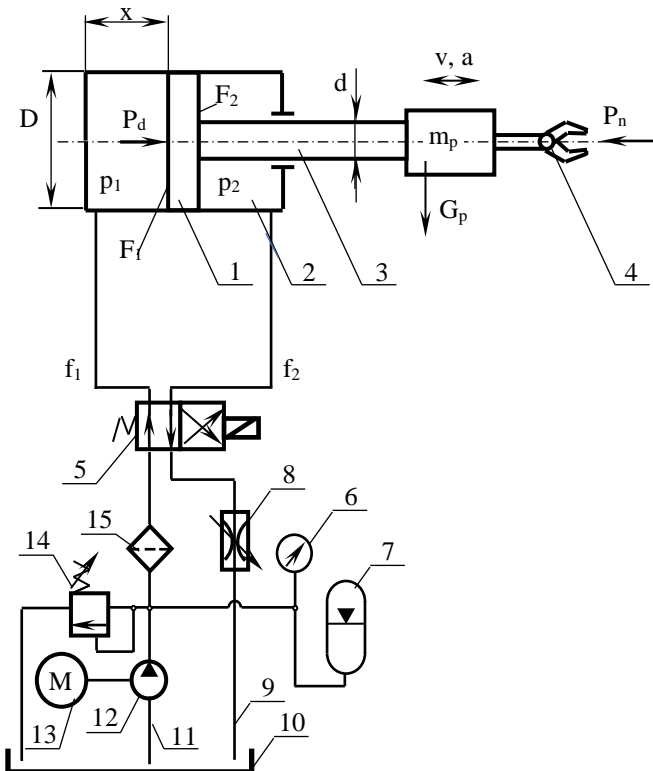
Такова широко приложение на хидравличното задвижване в проектирането на промишлени работи се обяснява първо с техните предимства [3]:

- висока енергийна ефективност;
- лесно и надеждно изпълнение;
- малки инерционни сили;
- ниско налягане на работната течност и поради това постоянност на статичните характеристики на натоварване;
- добра възможност за прилагане на автоматизиран контрол и контрол на скоростта на задвижващите механизми;
- надеждност на работата и експлоатацията.

Недостатък на тези задвижвания е сложният дизайн, високите разходи за производство и работа, както и възможност за течове и необходимост от охлаждане на работния флуид.

Следните основни видове хидравлични двигатели се използват в тези задвижвания, които понякога могат да се комбинират с различни механични трансмисионни елементи:

- линейни хидравлични цилиндри с транслационна движение на буталният прът;
- ротационни хидравлични мотори с ограничен ъгъл на въртене;
- хидравлични мотори.



Фиг. 2. Схема на хидравлично задвижване с една степен на свобода

За разлика от пневматичните двигатели, за хидравличните двигатели е необходим захранващ блок, който е част от роботизираната система. Схемите съдържат хидравлична помпа, филтри, регулатори на налягането и други устройства.

Основните параметри на хидравличното задвижване включват: ефективната площ на буталото в работните  $F_1$  и неработните  $F_2$  повърхнини; ходът на буталото  $S$ ; текущата  $x$  координата; скорост  $v$  и ускорение  $a$  на буталото; маса  $m_p$  на рамото; налягане на маслото в работните  $p_1$  и спомагателни  $p_2$  повърхнини; ефективни зони на напречно сечение на тръбопроводите в работните  $f_1$  и изпускателни линии  $f_2$ ; диаметри на буталото  $D$  и диаметър на пръта  $d$ ; двигателна сила на  $P_d$  и натоварваща сила  $P_n$ .

Хидравличното задвижване на работа включва бутало 1, двойнодействащ цилиндър 2, бутален прът 3 с ръка и захващащо устройство 4, манометър 6, хидравличен акумулатор 7, дроселиращ прът 8 отводнителния тръбопровод 9 и резервоара 10, както и всмуквателния тръбопровод 11, хидравличната помпа 12,

електродвигателят 13, предпазния клапан 14 и филтъра 15.

Силата на натоварване се определя подобно на пневматичното задвижване по зависимост (1), но с отчитане на течното триене в плъзгащата кинематична двоица.

Двигателната сила се състои от силата на съпротивление и товарната сила на работа:

$$P_d = P_n + P_c \quad (3)$$

където  $P_c$  е съпротивителната сила на маслото, определена от произведението на налягането на маслото и площта на буталото на хидравличния цилиндър:  $P_c = p_2 F_2$ .

При преместване на буталото в права посока размерите на хидравличния цилиндър са свързани чрез следната емпирична връзка:

$$F_1 = D^2 / 127, \quad F_2 = (D^2 - d^2) / 127 \quad (4)$$

Двигателната сила се определя от:

$$P_d = 100 k_t (p_1 F_1 - p_2 F_2)$$

където  $k_t$  е коефициентът, който отчита загубите от триене.

Консумацията на масло  $Q$  и скоростта на буталото  $V_1$  са свързани чрез:

$$Q_2 = V_1 (D^2 - d^2) / 1270; \quad Q_1 = V_1 D^2 / 1270 \quad (5)$$

При преместване на буталото в обратна посока консумацията на масло  $Q$  и скоростта на буталото  $V_2$  са свързани чрез:

$$Q_2 = V_2 (D^2 - d^2) / 1270; \quad Q_1 = V_2 D^2 / 1270 \quad (6)$$

При дадено съотношение на скоростите  $V_1$  и  $V_2$ , диаметърът на буталния прът се намира от:

$$d = D \sqrt{1 - (V_1 / V_2)} \quad (7)$$

Диаметърът на буталото  $D$  и дължината му  $L$  се избират от условията за оформлението на хидравличното задвижване. Обикновено се препоръчва съотношението  $L/D = 18 \dots 20$ , а за големи линейни премествания  $L/D \gg 18 \dots 20$ .

### С. Електрическо задвижване

Все по-голямо приложение в индустриалните работи намира електрическото задвижване. То не се използва само в работи, предназначени да работят в експлозивна атмосфера но и при машини, оборудвани с хидравлични системи, от съображения за унификация [4].

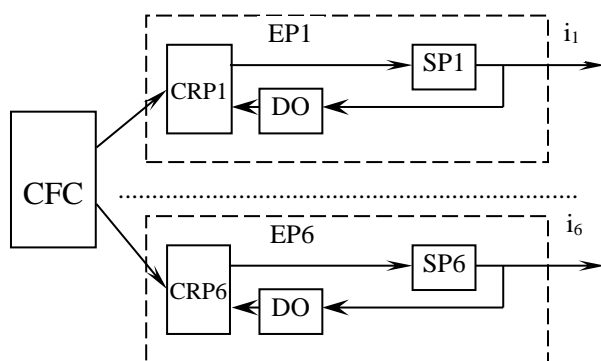
Електрически задвижвания на новите индустриални работи са задвижвания с високо въртящи се постояннотокови двигатели, стъпкови двигатели и по-рядко асинхронни двигатели.

Характеристиките на електрическите задвижвания за индустриални работи са с разширен диапазон от ниски въртящи моменти (общо до 0,05 Nm), повишена

максимална скорост на въртене (до  $15 \times 10^3$  rpm), намалено инерционно натоварване, Възможност за вграждане на електромагнитни спирачки и различни сензори, както и механични и вълнови предавки.

Основните предимства в използването на електрически задвижвания са:

- компактен дизайн на двигателите;
- висока производителност;
- равномерност на ротацията;
- висок въртящ момент при максимална скорост;
- висока степен на надеждност;
- широк спектър от контрол по отношение на скоростта и позиционирането, както и промените в моментите на натоварване;
- възможност за дългосрочна работа в спиращ режим;
- висока точност на работа, която се осигурява чрез използването на цифрова измерваща система и високопрецизни импулсни сензори;
- взаимозаменяемост на двигателите;
- компактен дизайн на различни преобразуватели;
- ниски нива на шум и вибрации и наличие на електроенергия.



Фиг. 3. Схема на електрическо задвижване с шест степени на свобода

Недостатъците при използването на електрически задвижвания в роботите, са:

- ограничено използване във взривоопасна атмосфера;
- зависимостта на скоростта на изходното звено от външната, което води до необходимостта от създаване на допълнителни контролни вериги на задвижването;
- наличието на допълнителна кинематична верига между електродвигателя и работното тяло.

Електрическото задвижване на съвременния индустриални работи е комплекс от задвижвания, всеки от които контролира отделна степен на свобода.

При електрическо задвижване индустриалният робот има шест степени на свобода. Всичките шест електрически задвижвания (EP1... EP6) се контролират от общото централно изчислително устройство на системата за контрол на софтуера. Централното изчислително устройство извежда сигнали към цифровите контролери за позиция (CRP1...CRP6) на отделните устройства. Цифровите контролери за позиция контролират сервозадвижванията (SP1... SP6) в съответствие със сигналите на CFC и ъгловите датчици (DO), които са фоторастерови преобразуватели.

Съвременните тенденции в развитието на роботиката са такива, че позволяват производството на серво задвижвания, които структурно съчетават мотора, конвертора, сензорите за скоростта и импулсните регулатори.

#### D. Комбинирано задвижване

Комбинираните задвижвания използват максимално от предимствата на отделните видове задвижвания. Най-често промишлените работи използват комбинация от пневматични и хидравлични задвижвания, както и електрически и хидравлични. При индустриалните работи дизайнът на пневмо-хидравлични задвижвания имат ограничена употреба. Те използват пневмоцилиндър като изпълнителен орган, а стабилизирането на неговата скорост и хидравлична фиксация се извършва от хидравличната система.

При хидропневматично задвижване хидравличните мотори се използват като задвижващи механизми, а пневматичната система се използва за създаване на необходимото налягане в хидравличната система, което дава възможност да не се използват хидравлични помпени инсталации.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] О. В. Подураев „Основы мехатроники“ Станкин, Москва, 2000.
- [2] Иванов П., Хр. Христов „Автоматични регулиране и управление“, Габрово, 2011.
- [3] Славчев Х., К. Орманджиев „Задвижващи хидравлични системи“ Университетско издателство „В. Априлов“ - Габрово, 2011.
- [4] Firoozian, R., Servo Motors and Industrial control theory. Springer Verlag London 2009.





## MAIN TYPES OF DRIVES IN INDUSTRIAL ROBOTS FOR ASSEMBLY OF FASTENERS

Genady Cvetanov  
Department of Mechanical and  
Precision Engineering  
Technical University of Gabrovo  
Gabrovo, Bulgaria  
e-mail: gencvet@tugab.bg

Nikolai Petrov  
Department of Mechanical and  
Precision Engineering  
Technical University of Gabrovo  
Gabrovo, Bulgaria  
e-mail: n.petrov@hamberger.de

**Abstract:** An overview of the main types of drives in industrial robots for assembly of fasteners- pneumatic, hydraulic and electric is carried out. The main accuracy and speed characteristics of robots in an open kinematic circuit and the more important design calculations are being set.

# АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНИЯ ПРОЦЕС ИЗПОЛЗВАН ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПИЦИ ОТ ИНОВАТИВНИ АМ И АЛ

Ваня Георгиева  
 Технически Университет – София  
 София, България  
 e-mail: vgeorgieva@tu-sofia.bg

Габриела Коцева  
 Технически Университет – София  
 София, България  
 e-mail: gkoceva@tu-sofia.bg

**Резюме:** В настоящата статията е направен анализ на технологичния процес, използван за производство на пици от иновативни АМ И АЛ. Обърнато е внимание на произхода и съвременното производство на пици, основните суровини за направата на продукта, как се извършва окачествването, разгледана е основната автоматична техника и най-често използвани опаковъчни материали.

**Ключови думи:** пица, продукция, автоматични машини, автоматични линии

## I. ВЪВЕДЕНИЕ

Автоматизацията на хранително - вкусовата промишленост е от стратегическо направление в дейността на развитите индустриални страни и водещи фирми. Стремешът е повишаване обема и качеството на произвежданите продукти, намаляване на нейната себестойност, елиминиране влиянието на субективния фактор върху технологичният процес, чрез внедряване в производствения процес на иновативни автоматични машини и линии[1].

Целта на настоящата статия е анализ на технологичния процес използван за производство на пици от иновативни автоматични машини и линии.

## II. ПРОИЗХОД И СЪВРЕМЕННО ПРОИЗВОДСТВО НА ПИЦИ

Първите сведения за приготвяне на пици съществуват още при древните гърци и римляни. През 1522г. в Неапол се появява първообраз на италианската пица приготвяна от италиански селяни, едновременно с пренасянето на домати в Европа. Занаятчийското производство се разпространява основно в Европа, САЩ и Китай, където започват да се създават специални ресторанти - "Пицария". Любима храна за възрастни, но особено обичана от деца и младежи. Ксееото и определение да й се даде, пицата си остава италианско национално ястие, едно от най-икономичните и засищащи ястия, любима храна на милиони хора по света [2].

## III. ОСНОВНИ СУРОВИНИ И МАТЕРИАЛИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПИЦИ

Пиците представляват питки от тесто с мая , гарнирани в комбинация от различни продукти. На фиг. 1 са представени необходимите суровини, които участват в направата на пици. Съобразно технологичните изисквания на последователно смесени производствени непрекъснати дискретни процеси, непрекъснати и дискретни, основни и спомагателни процеси, изискват предварителна специална обработка на суровините. Те са неразделна част от технологичния процес. Чрез нея се

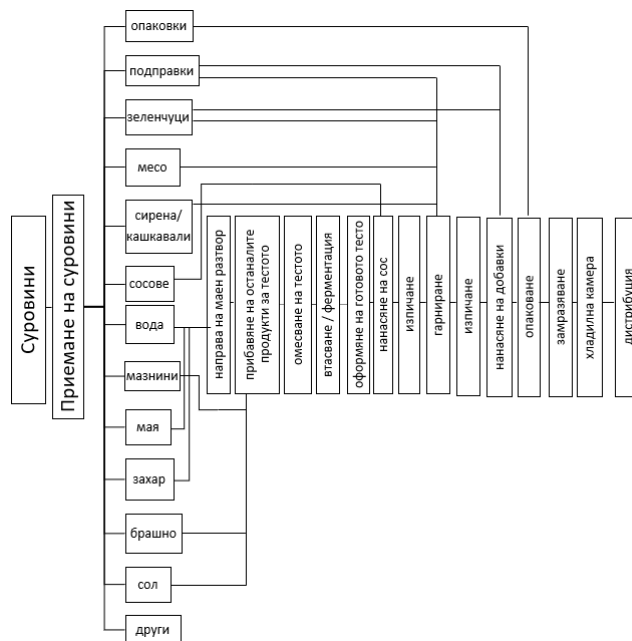
осигуряват високи органолептични качества на иновативния изработван автоматично полуфабрикат, при спазване на всички санитарно-хигиенни изисквания[3,4,5].

Суровините се разделят на три основни групи.

В пицата основно значение заема доброто тесто. Основните суровини, от които се замесва са пшеничено и царевично брашно ( Таблица 1).

На фиг.2 да показани видовете теста за пици и особено изготвянето от тайната на всеки майстор.

Маята, която се използва, е показана на фиг.3.



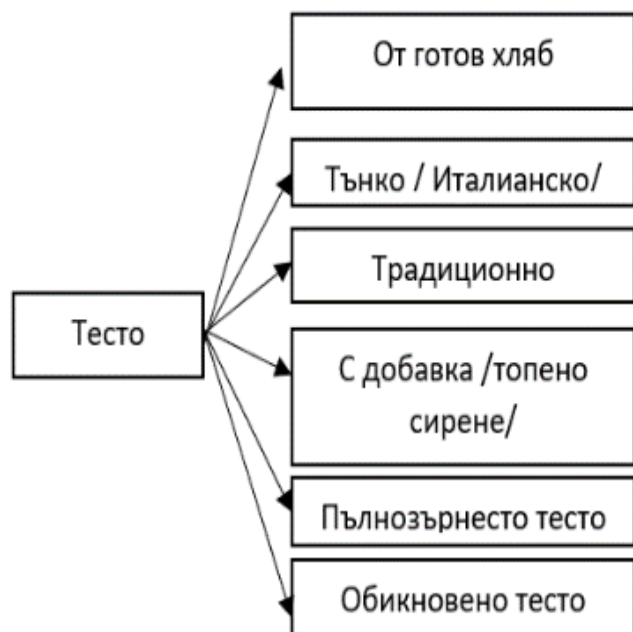
Фиг. 1. Алгоритъм на технологичния процес

ТАБЛИЦА 1 ОСНОВНИТЕ СУРОВИНИ ЗА ТЕСТОТО

№	Тесто	Размери	Суровини			
			Брашно	Сол	Вода	Мая
1	Пълнозърнесто	16кг	+	+	+	+
2	Пшенично	10кг	+	+	+	+
3	Лимец	0,100кг	+	+	+	+

Допълнителните суровини могат да бъдат: сосове (доматен, песто, сметана и др.); различни видове млечни продукти (сирене фета , моцарела, бейби моцарела, синьо сирене, чедър, кашкавал, пармезан и др.); месни полуфабрикати (пилешко месо, телешко месо, кайма, филе, шунка, пеперони, чоризо, вентричина, луканка и

др.); риба (риба тон, морски дарове и др.); зеленчуци (чушки, домати, лук, гъби, царевича, маслини и др.).



Фиг. 2. Видовете теста за пици

за замесване. Следва предварително разтваряне (маен разтвор) от сол, захар, мая, зехтин и др. суровини.

Продуктите участващи в гарнирането на пици са: доматиен сос, сирена, кашкавали, колбаси, шунки и др. Те също изискват предварителна обработка. Доматеният сос е без семки и обелки, премесен с подправки ( босилек, риган, сол и др.) който се зарежда директно в дозиращата автоматична машина. Млечните продукти (сирена и кашкавали), месата, колбасите и т.н., се рендосват, натрошават или нарязват от автоматични машини. Гарнирането също се извършва автоматично от автоматични машини за посипване.

#### IV. ОКАЧЕСТВЯВАНЕ НА ПИЦИ

Окачествяването се извършва в следната последователност [3,5]:

1. Органолептичен анализ на пици - Качествената оценка са сензорните показатели на кулинарните изделия: цвят, вкусови усещания, миризма, осезателно усещане, слухово усещане.

2. Показатели на качество за пици - За правилното окачествяване е необходимо познание на свойствата на продуктите, качествените показатели и методите за окачествяване, както и изисквания към продуктите за БДС и ЕС.

От закона за храните, производителите и търговците на храни са задължени да внедряват, прилагат и поддържат система за управление на безопасността на храните или система за анализ на опасностите и критични контролни точки — HACCP[6].

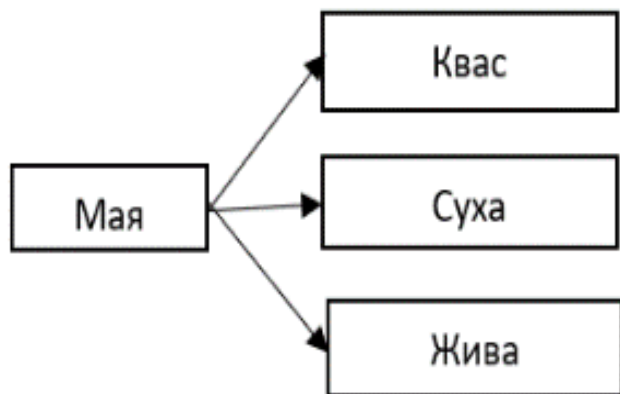
Качеството на произвежданите изделия зависи много от снабдяването с качествени продукти отговарящи на изискванията по БДС, ЕС, HACCP, НА"БСА" и особено на БАБХ, които отговарят за спазване на изискванията за качество на храните, мерките и условията за осигуряване на хигиената на храните и тяхната безопасност. Нейната задача е да следи непрекъснато за спазване на изискванията към всички етапи на производствения процес и дистрибуция на храни, срок на годност и т.н.

Безпроблемното протичане на производствения процес е тясно свързано с точното определяне на количеството суровини. За запазване специфичните качества на продуктите също е от значение правилното изчисляване на необходимите количества на всяка суровина влагана в производството. За осъществяване на технологичен, технокимичен и финансов контрол, спазване на стандартизирания грамаж на всеки отделен продукт [7].

Производството на пици се извършва спрямо рецептурни сборници (РС) и отраслови нормали (ОН).

Изданията " Сборник рецепти на кулинарни изделия приготвени в заведенията за обществено хранене" (София, 1991г.) включва: фири, разходни норми и добиви при преработка на продуктите в обществено хранене и подпомагат производствения процес на производителите[7].

Отрасловите норми са свързани с класификация, производствени и качествени изисквания, опаковка и



Фиг. 3. Видове мая

Спомагателни суровини са : питейна вода, сол, захар, мая, зехтин, подправки(риган, босилек, рукола и др.)

Подготовката на брашното се състои в смесването, контролно пресяване, магнитно улавяне на евентуално попаднали метални предмети и след това влиза в употреба

маркировка, правила за извършване на проби, методите за изпитване, съхранение и транспортиране в специални транспортни средства в хладилни агрегати[4].

Съгласно разходната норма на количеството е заявена продукцията[7]:

$$M_p = n \times m \text{ [kg]} \quad (1)$$

където:

$M_p$  - масата на партидата [kg];

$n$  - брой заявено количество;

$m$  - маса на един брой полуфабрикат.

А масата на една партида за един час е:

$$M_p = 1600 \times 0,330 = 528 \text{ [kg]} \quad (2)$$

Необходимото количество суровини се изчислява по следната формула[7]:

$$X = M \times m_p / 100 \text{ [g]} \quad (3)$$

където:

$X$  - масата на суровината ( тесто, моцарела, месо, кашкавали, сирена и т.н.) от произвеждания продукт;

$m_p$  - масата на същата суровина в рецептата;

$M$  - обща маса на заявеното количество за дадена рецепта останалите продукти за производство на дадения асортимент като показаните количества по рецепта се изчисляват са за 1 бр. пица от 330g. полуфабрикат за приготвяне на пица.

Тестото е най-важната част от пицата, а перфектната пица не трябва да съдържа повече от четири асортимента.

#### V. АВТОМАТИЧНА ТЕХНИКА ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПИЦИ

Автоматичната техника за производство на пици е сложна и разнообразна, изпълняваща разнообразните капризни технологични процеси и операции. Целесъобразно е да се анализират технико-икономическите критерии, при спазване на всички санитарно-хигиенни изисквания [1].

Тенденциите за развитие на асортимента е свързана с въвеждането на все повече автоматизация и автоматична техника осигуряваща високо качество и висока производителност на [1]:

- Апаратурата използвана за приемането, оценяването и съхранението на суровините;
- Автоматичната техника осигуряваща подготовката на суровините съобразно технологичния процес;
- АТ за дозиране на суровините, полуфабрикатите;
- АТ за интензивно замесване на тестото, междинна и окончателна ферментация;
- АТ за тестоокръгляване, тестоотделяне, тестоформоване, преминаващо през група валащи за линейно разтилане на транспортър с определени размери по ширина и дебелина;
- АТ осигуряваща разстилане на тестото предварително посипване отдолу и отгоре с брашно, придвижвано с определена линейна

скорост в непрекъснат поток от лентов транспортър, отмиращи излишното брашно четки, въртящ се вал с вградени шнекове набраздява тестото като по този начин се отстранява излишният въздух от блата;

- АМ за едновременно изрязване на блатове от оформеното тесто и отвеждане на останалото излишно тесто. Това е лимитиращата операция ;
- АП за изпичане на блатовете;
- АМ за дозиране на доматиен сос;
- АМ за размазване на соса;
- АМ за гарниране ( моцарела, салами и тн);
- АК за качеството;
- АМ за дозиране на 2-3 капки течен азот, следва фолирането, загряване на фолиото и запечатване;
- АМ за опаковане в кутия на която се нанася баркод, дата на производство, дата със срок на годност, фирма производител, адрес, имейл, страна производител, упътване за приготвяне и консумация според международните изисквания;
- АМ за подреждане в кашон по 8 или 12 бр. кутии, влизане във фризер за бързо замразяване до  $T = -31,6 \text{ C}^\circ$  за 20min.;
- Складиране в камери с подходяща температура;
- Следва дистрибуция;

#### VI. АНАЛИЗИРАНЕ НА ОПАКОВКИТЕ ЗА ХРАНИТЕЛНИ ПРОДУКТИ В ГОЛЕМИТЕ СУПЕРМАРКЕТИ И МОЛОВЕ

Все по- променящият се свят от появата на световните предизвикателства предлагани от нови иновативни решения на производители по разпространение на хранителните продукти в големите супермаркети, молове, рингове и т.н., препоръчват на производителите на храни да се опаковат в защитна атмосфера с утвърдени стандарти ( стара планина), сертификати от SGS-CODEX, VERIFEO VIENA, AVSTRIV и тн. Препоръчва се още от производителите на хранителни продукти в избрани от тях опаковки да притежава надпис БДС, баркод, кога са произведени, срок на годност, процентно участие на смесители,подправки, съдържание на Е-та, оцветители, палмово масло и др. Супермаркетите у нас залагат на свои търговски марки като немските вериги със сериозното присъствие на LIDL, Kaufland , BILLA предлага на своите клиенти различни марки като Pilos, Dunalo (млечни продукти).

Кауфланд предлага най-добро съотношение цена - качество, а сертификат Best Buy за най-добро съотношение цена-качество от данни от изследване на независимата Швейцарска организация ICERICAS.

Препоръчителни материали използвани за опаковане са както следва:

- разработена мека неабразивна хартия използвана като плосък слой за производство на вълнообразно

велпане, много слойно велпане и фин картон (фирма Smurfit Kappa)

- метализиран филм от PET Lumirror.MK61 (фирма Toray Plastics), които заместват алуминиевото фолио, осигуряващи високи бариерни характеристики. Има чудесна адхезия във влажна и разяждаща среда и едновременно с това е устойчив на разкъсване.
- Деметализираният материал DeMetPX на опаковката е предпочитан с възможност на потребителя да вижда съдържанието на опакования хранителен продукт може да се дефинират от друга марка същия продукт.
- Полиетилен терефталат (PET) е една от най – масово използваните пластмаси за опаковане на напитки и хранителни продукти, въпреки че е най-скъп. Полипропиленът (PP) е едно от вероятните решения откъм цена. Той е със същите характеристики като PET. Полистеренът (PS) е също много използван за опаковане, но се оказва, че е с ниска якост на удар. PET е наистина най-скъп, а PP осигурява балансирано качество като якост, прозрачност и цена.

Конкурентоспособност на опаковката и изискванията към автоматичната опаковъчна техника трябва да задоволяват потребностите на потребителя. Едно от условията за конкурентоспособността на готовото вече изделие е неговата опаковка, т.е. неговия външен “привлекателен” вид. Той пръв комуникира с потребителя и изпълнява рекламна функция на изделието. По тази причина външният вид на изделието, неговата опаковка е необходимо да отговаря на редица параметри и показатели.

## ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS USED FOR THE PRODUCTION OF PIZZAS BY INNOVATIVE AUTOMATIC MACHINES AND AUTOMATIC LINES

Vanq Georgieva  
Technical Univeristy of Sofia  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: vgeorgieva@tu-sofia.bg

Gabriela Kotseva  
Technical Univeristy of Sofia  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: gkoceva@tu-sofia.bg

### VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направеният анализ на състоянието на технологичния процес, може да се направи заключението, че поради високата конкуренция в хранително-вкусовата промишленост, вида и качеството на опаковката може да изиграе по-голяма роля от качеството на самият продукт. Поради тази причина конструкторите на тези АПМ трябва да се съобразяват с новостите в дизайна на опаковките, затова всеки производител прави внимателен анализ на пазара и избира най-подходящият за него вариант.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепата на Катедра „Автоматизация на дискретното производство, Технически Университет – София.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Г.Коцева, “Възможности за автоматизиране производството на пици”, Дипломна работа АДП 2021г.
- [2] История на пицата, <https://pizzabgblog.wordpress.com/about/> (последно посетен април 2022)
- [3] А. Андреев, Я. Калева, Д. Колев, Б. Цветкова, “Материалознание на хранителните продукти”
- [4] С. Шиваров, Г. Босева, “Технологично обзавеждане на заведената за хранене”
- [5] Г. Сомов, С. Стамов, Н. Краевска, “Технология на кулинарната продукция” част 2
- [6] КОНТРОЛ НА КАЧЕСТВОТО НА ХРАНАТА, Анализ на риска и критични контролни точки — НАССР, <http://kulinari.net/>
- [7] Колектив, “СБОРНИК РЕЦЕПТИ за кулинарни изделия,приготвяни в заведенията за обществено хранене”, София,1991г.

**Abstract:** In the presented paper an analysis of the technological process used for the production of pizzas by innovative AM and AL has been carried out. Attention is paid to the origin and modern production of pizzas, the main raw materials for making the product, how the grading is carried out, the main automatic technology and the most commonly used packaging materials are examined.

# CLOUD COMPUTING (ИЗЧИСЛЕНИЯ В ОБЛАК) - СЪЩНОСТ И ПРИЛОЖЕНИЕ

Кирил Недялков  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: nextbg@gmail.com

Мартин Камбушев  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: m\_kambushev@yahoo.com

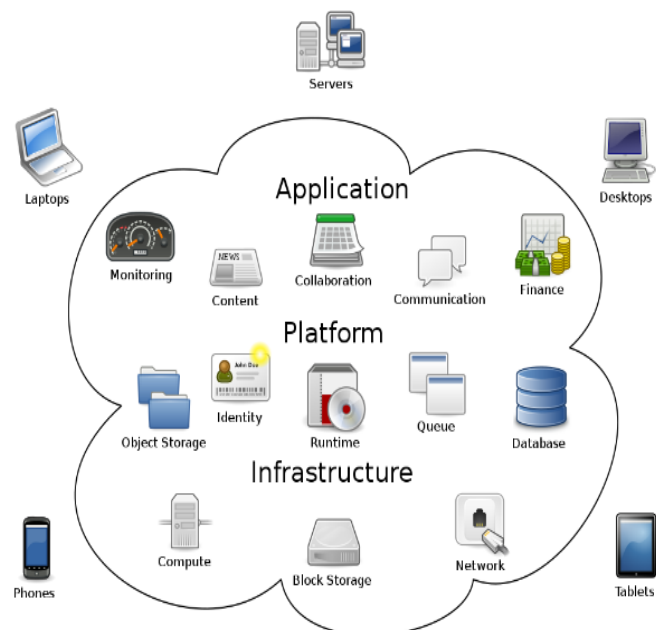
**Резюме:** Изчисленията в облак – cloud computing са услуги, предоставяни на потребител чрез отдалечен компютър, към който се свързва посредством интернет или чрез специална комуникационна линия. В тази статия се разглеждат видовете Cloud Computing и тяхното приложение.

**Ключови думи:** Cloud Computing, (изчисления в облак), информационна сигурност, интернет

## I. УВОД

Cloud Computing или изчисления в облак е термин от областа на информационните технологии, означаващ използването на споделени ресурси, софтуер и информация, като предоставяни на компютри и други устройства чрез интернет [1].

С други думи, понятието се отнася както до софтуерни приложения, предоставяни под формата на уеб услуги, така и до достъпа до хардуерните и системни ресурси на центъра за данни, които предлагат тези услуги. Всъщност комбинацията от достъпа до хардуера и софтуера на центъра е това, което е прието да се нарича „облак“. Смята се, че облакът е метафора за интернет, тъй като често се изобразява така в диаграмите на компютърни мрежи и като абстракция на сложната инфраструктура, която стои зад него, фигура 1.



Фиг. 1. Изчисление в облак – логическа диаграма

Смята се, че терминът „cloud computing“ е въведен от Ерик Шмидт от Google на 9 август 2006 г. на конференция, посветена на машините за търсене, на която обяснява един възможен подход към софтуера като услуга (SaaS).[7]

В настоящият доклад ще бъде разглеждана и оценена надеждността на най- популярните Cloud Computing, (изчисления в облак).

## II. ИЗЛОЖЕНИЕ

### A. Същност

IBM описват Cloud Computing като нов модел, чрез който потребителите могат да получат достъп до своите приложения от всяка точка на света, през всяко свързано с Интернет устройство, а ориентираният напълно към потребителя интерфейс прави средата в Cloud прозрачна за потребителите. Със своята динамичност Cloud позволява лесно организиране и споделяне на данните. Благодарение на мощната си платформа, дава възможност за значително намаляване на разходите за поддръжка, ако данните и приложенията бъдат изнесени в Cloud.

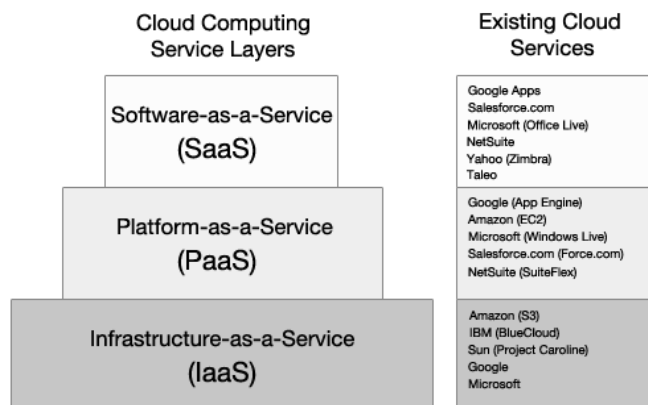
Архитектурата на Cloud включва няколко основни модула: потребителски интерфейс, система за управление на ресурсите с каталог на услугите, модул за обезпечаване на ресурсите. Системата за управление на ресурсите управлява масивна мрежа от сървъри, работещи паралелно един с друг. Често се използват виртуализационни техники за динамично разпределяне и преразпределяне на тези ресурси [4].

### B. Характеристики

- самообслужване при наличие на потребност (on-demand self-service);
- повсеместен мрежов достъп;
- ресурсите за обработка и съхранение на данните на всички потребители са балансирано разпределени в рамките на една обща инфраструктура, като за отделните потребители не се заделят точно определени ресурси и мощности;
- рязко променлива еластичност на търсенето;
- варираща според потреблението цена (pay-per-use). [5].

### C. Видове услуги в Cloud

Cloud предлага на потребителите си три основни услуги: Software-as-a-Service (SaaS), Platform-as-a-Service (PaaS) and Infrastructure-as-a-Service (IaaS) Фиг.2.[2]



Фиг. 2. Основни услуги в Cloud и някои от съществуващите продукти

### 1) Софтуер-като-Услуга Software as a Service (SaaS)

При този модел доставчикът предоставя на клиентите достъп до лицензирани софтуерни приложения, които са инсталирани на облака.

Потребителите могат да достъпват тези приложения през интернет чрез уеб браузър като се прилага модел на заплащане-при-употреба (pay-per-use).

Потребителите не се изисква да управляват или контролират елементи от инфраструктурата на облака като мрежа, сървър, операционна система или хранилище за данни.

Понастоящем Софтуер-като-Услуга (SaaS) е перфектно работещ модел за достъп до леки приложения като текстови редактори, аудио-видео софтуер, уеб базирани имейл програми и пр.

Когато става въпрос за ползване на тежки ресурсни приложения като 3D игри, качеството на услугата може да се понижи заради времето на предварителна подготовка на приложението (buffering time).

В общия случай доставчикът на услугата разполага и поддържа приложението, което се наема от клиентите на виртуална машина в облачната технологична среда.

SaaS се предлага от известни производители като Zoho Suite, Apple's MobileMe и Google Docs.

### 2) Платформа-като-Услуга Platform as a Service (PaaS)

Доставчиците предоставят на клиентите програмен език като платформа или софтуер - например Java, Python, Net, за да внедрят създадени собствени или приложения на трета страна в облачната инфраструктура и да ги направят достъпни през интернет с API (Application Program Interfaces) или уебсайт портали за своите клиенти. Доставчиците на платформа (PaaS) предоставят различни услуги на разработчиците на приложения като виртуална среда за разработка и предварително настроени за тази среда инструменти, стандартни за приложението, съобразени с изискванията на разработчика както и предварително изграден канал за разпространение, който се предоставя на разработчиците на публични приложения. Клиентите имат контрол над разработените приложения и до известна степен до настройките на средата, в която се хостват приложенията.

Както и при (SaaS) клиентите нямат контрол до базовата облачна инфраструктура като мрежа, сървъри, операционна система и дисково пространство. При Платформа-като-Услуга (PaaS) отговорност на доставчика на услугата е да се погрижи за сигурността на средата за разработване, докато отговорност на разработчика е сигурността на самото приложение.

Примери за доставчици на Платформа-като-Услуга (PaaS) са Google App Engine, Force.com и Microsoft Azure.

### 3) Инфраструктура-като-Услуга Infrastructure as a Service (IaaS)

Доставчиците на облачна инфраструктура като услуга предоставят на клиентите възможност да ползват изчислителна мощ, дисково пространство, интернет мрежа, оперативна памет и други основни технологични ресурси, които правят възможно внедряването и работата на различни софтуерни програми като операционни системи и приложения.

Инфраструктура-като-Услуга предоставя също виртуална среда като услуга, при която клиентите имат контрол да определят сами параметрите на оперативната памет, разход на процесорно време, брой IP адреси, операционна система, инсталиране на софтуерни приложения както и допълнителни мрежови компоненти като защитна стена -firewall, load balancers и др.

Клиентите нямат достъп до базовата инфраструктура на самия облак, а определят единствено параметрите на собствената виртуална машина.

Важно условие за доставчиците на Инфраструктура-като-услуга (IaaS) е да ползват услугите на надежден център за данни и да предоставят на потребителите богата на информация система за мониторинг на виртуалните машини.

Примери за доставчици на Инфраструктура-като-услуга (IaaS) в световен мащаб са Amazon EC2 and S3, Sun Microsystems и Dropbox [6].

### 4) Интеграция-като-Услуга Integration as a Service (IaaS)

Интеграция-като-Услуга (IaaS) представлява облачен модел който въвежда функционална системна интеграция в облачната система предоставяйки възможност за обмен на информация между системите на отделната организация и трети страни (доставчици или партньори) при поискване.

Малки и средни бизнес организации ползват Интеграция-като-услуга (IaaS) заради възможността от интеграция на всякакъв тип бизнес услуги на ниска цена, което им дава възможност да насочат ресурсите към техният основен бизнес вместо към закупуване и управление на скъпа IT инфраструктура.

Известни доставчици на Интеграция-като-услуга (IaaS) са Amazon SQS, OpSource Connect, Boomi и Mule On-Demand.

### 5) Бизнес-Процес-като-Услуга Business Process as a Service (BPaaS)

Бизнес-Процес-като-Услуга (BPaaS) се отнася за всеки бизнес процес в рамките на облачния технологичен

модел (самостоятелно обезпечаване на услуги, еластично мащабиране и измерване на потребление или ценообразуване, обработка на работни заплати или на човешките ресурси), достъпът до която се осъществява през интернет чрез уеб-ориентирани интерфейси и използване на уеб-ориентирана облачна архитектура.

#### 6) Тестване-като-Услуга *Testing as a Service (TaaS)*

Целта на този модел е да даде възможност на организациите да проведат тестове от вида доказване-на-концепцията (proof-of-concept) преди да решат дали да сменят настоящата инфраструктура с облачна такава чрез ползването на емулатори като iTinegy.

Този услуга ще позволи на клиентите да наблюдават влиянието на важни фактори върху мрежата като например загуба на пакети, трафик, латентност и време за реакция като условия за вземане на по-добри решения.

#### 7) Управление-като-Услуга *Management as a Service (MaaS)*

Предоставя възможността за управление на една или повече облачни услуги като топология, използването на ресурсите, виртуализация и управление на достъпност (uptime). Общата платформа за управление на облака (Cloud Management Platform CMP) съдържа набор от инструменти за бизнес и оперативно управление.

#### 8) Комуникация като услуга *Communication-as-a-Service (CaaS)*

Използва се в бизнеса, като доставчиците на този модел са отговорни за управлението на хардуера и софтуера, необходими за осигуряване на комуникационната система, осигуряваща предаване на речеви съобщения през интернет или други IP-базирани мрежи, обмен на мигновени съобщения (IM) и видеоконферентни връзки.

#### 9) Сигурност-като-Услуга *Security as a Service (SecaaS)*

Сигурност-като-Услуга (SecaaS) се отнася за доставка на сигурна платформа и приложения към клиентите при поискване (on demand).

Ако сигурността е изцяло под управлението на доставчика, клиентите ще чувстват липсата на контрол върху техните лични данни.

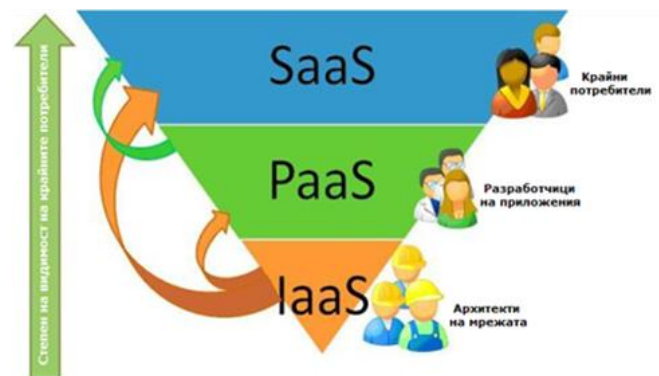
Сигурността е добре да бъде оформена като споразумение, поделящо отговорностите между клиента и доставчика.

Когато на клиентите се даде възможност да управляват сами инструментите за сигурност на собствената им информация, това ще изгради чувство на доверие към възможността за съхранение на техните поверителни данни на облака.

За да се гарантира безопасността на данните на клиента, доставчикът трябва да може да предложи като услуга редица приложения за сканиране на средата като антивирусна програма и приложения за откриване на вредни скриптове (всички форми на spyware, malware, trojan, sniffer scripts).

Много често тези три елемента на споделените изчисления работят в тясна връзка помежду си. IaaS може да бъде основата на PaaS, а от своя страна PaaS може да изиграе същата роля за SaaS. Стрелките на диаграмата на фиг. 3 показват тези взаимовръзки.

Тенденцията е SaaS да обслужва по-скоро онези потребители, които са свързани с някакъв бизнес процес, общ процес или дори забавление. PaaS най-вече взаимодейства с разработчиците на приложения и софтуерните компании, осигурявайки им инструментите да разработват бързо SaaS приложения. IaaS пък носи стойност за хората, които боравят с мрежите и ресурсите в тях – те са полезни за специалистите, които имат нужда да организират някакви специфични ресурси от най-ниско ниво, за да дадат възможност на PaaS и SaaS да се случват.



Фиг. 3. Взаимовръзка между основните облачни услуги

#### D. Модели за внедряване на Cloud Computing - фиг. 4[3]

##### 1) - Частен облак (private cloud):

Инфраструктурата на облака се притежава или наема от една организация и се използва само и единствено от нея. Характерно е намаляване цената на оборудването за сметка на неизползването или неефективното използване на ресурси.

По същество, капацитета нараства пропорционално на увеличаването на натовареността като цяло, а не в зависимост от всеки възникнал проблем.

##### 2) - Общностен облак (community cloud):

Инфраструктурата на облака се споделя от няколко организации и служи за поддържането на специфична общност от потребители, които споделят обща мисия, обща политика, общи изисквания към информационната сигурност и др.

##### 3) - Публичен облак (public cloud):

Инфраструктурата на облака се притежава от една организация, която продава „облачни“ услуги на поширока аудитория.

##### 4) - Хибриден облак (hybrid cloud):

Съчетава на два или повече облака (частен, общностен, публичен), които остават разграничени, въпреки че са свързани посредством стандартизирана или собствена технология.





Фиг. 4. Модели за внедряване на Cloud Computing

### III. Изводи

От направеното изследване може да се направят следните изводи:

Едно от основните предимства на облачните услуги е възможността да се осигури оптимално натоварване на използваните от сървъри и дискови масиви ресурси. Докато понастоящем повечето компании натоварват на около 20% ползваните от тях ресурси, с облачните услуги могат да увеличат тази стойност до 90%, като използват толкова ресурси колкото са им необходими към момента. Освен това, облачните технологии съкращават сроковете за осигуряване на ИТ ресурси от няколко седмици до минути.

Проблеми, свързани с възприемането на облачните изчислителни технологии:

- наличност на обслужването;
- сигурност и неприкосновеност на личните данни;
- поддръжка;
- оперативна съвместимост;
- съгласуваност.

Те произлизат от това, че данните, приложенията и изчислителните ресурси вече не са под прекия контрол на потребителите.

Тъй като облачните услуги не дава на потребителите възможност да разполагат с данните си физически (освен ако ползваната услуга не съдържа опция за запазване на твърдия диск на резервно копие, back-up) това прехвърля отговорността за съхраняването и контрола над данните в ръцете на доставчика.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ray, Partha Pratim (2018). "An Introduction to Dew Computing: Definition, Concept and Implications - IEEE Journals & Magazine". IEEE Access. 6: 723–737. doi:10.1109/ACCESS.2017.2775042. S2CID 3324933.
- [2] Kim, Won. Cloud Computing: Today and Tomorrow, Won, Journal of Object Technology, бр. 8/1, януари-февруари 2009
- [3] Mell Peter, Grance Timothy (September 2011). The NIST Definition of Cloud Computing (Technical report). National Institute of Standards and Technology: U.S. Department of Commerce. doi:10.6028/NIST.SP.800-145. Special publication 800-145.
- [4] Carlin, Sean. "Cloud Computing Technologies." Scribd. N.p., 30 Aug. 2012. Web. <<http://www.scribd.com/doc/104416019/Cloud-Computing-Technologies>>.
- [5] Spinola, Maria (2009) "Five Characteristics of Cloud Computing", Архив на оригинала от 2009-10-03 в Wayback Machine, 6 септември 2009
- [6] Seeding the Clouds: Key Infrastructure Elements for Cloud Computing. N.p.: IBM, 2009. N. pag. Scribd. Web. <<http://www.scribd.com/doc/13645384/Seeding-the-Clouds-Key-Infrastructure-Elements-for-Cloud-Computing>>.
- [7] Conversation with Eric Schmidt hosted by Danny Sullivan, Search Engine Strategies Conference. <https://www.google.com/press/podium/ses2006.html> -

## CLOUD COMPUTING - ESSENCE AND APPLICATION

Kiril Nedialkov  
Bulgarian Air Force Academy  
"Georgi Benkovski"  
Dolna Mitropolia, Bulgaria  
e-mail: nextbg@gmail.com

Martin Kambushev  
Bulgarian Air Force Academy  
"Georgi Benkovski"  
Dolna Mitropolia, Bulgaria  
e-mail: m\_kambushev@yahoo.com

**Abstract:** Cloud computing is a service provided to a user via a remote computer to which he connects via the Internet or a special communication line. This article discusses the types of Cloud Computing and their application.

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА МОДЕЛ НА АВИАЦИОНЕН ПОСТОЯННОТОКОВ ГЕНЕРАТОР

Кирил Камбушев  
Факултет "Авиационен"  
Висше Военно Въздушно Училище  
Долна Митрополия, България  
e-mail: k\_kambushev@mail.bg

**Резюме:** В настоящия доклад е изследван авиационен постоянен ток генератор с номинална мощност 12 kW. Създаден е модел на генератора в средата Matlab/Simulink, като модела не отчита насищането на магнитната система. Построени са характеристиките, описващи работата на генератора и е направена оценка за отклонението им от реалните стойности.

**Ключови думи:** Matlab, Simulink, авиационен, генератор, модел, характеристики

### I. УВОД

Използването на математически модели на различни устройства позволява да се извършват опити и изследвания невъзможни за осъществяване в реални условия или свързани с много трудности и средства [1, 2, 3].

MATLAB/Simulink и SimPowerSystems позволява моделиране и симулиране на постоянен ток и променливотокови електромеханични системи [4]. Това е много полезно, когато се изследват обекти и системи от авиацията, защото има възможност да се наблюдават протичащите процеси при промяна на факторите, влияещи на работата на изследвания обект.

Основните източници на електроенергия в малките и средни въздухоплавателни средства са постояннотоковите генератори. Широко разпространение са получили и постояннотоковите стартер-генератори, които използват обратимостта на постояннотоковите електрически машини, даваща възможност за значително намаляване на масата и обема на бордовото оборудване.

Към авиационните генератори за постоянен ток се предявяват редица специфични изисквания: висока надеждност, максимална механическа здравина, минимална маса и габарити, възможност за работа при променлива честота на въртене и др. За постигане на висока надеждност и максимална механическа здравина се използват специални топлоустойчиви материали и сплави. Масата на авиационните генератори се намалява благодарение на повишените електрически и топлинни натоварвания, а също и повишената честота на въртене.

Характерни особености на авиационните генератори са:

- широкият диапазон на честота на въртене на генератора (от 4000 до 9000 min<sup>-1</sup>);

- високата специфична мощност (мощността на единица маса), която е 6÷7 пъти по-голяма от тази на аналогичните промишлени генератори;
- голямо токово натоварване (плътността на тока достига 20 A.mm<sup>-2</sup> в намотките на котвата и 25÷30 A.mm<sup>-2</sup> под четките).

В настоящия доклад ще бъде създаден и изследван модел на авиационен постоянен ток генератор, като модела ще се оцени чрез съпоставяне с характеристики на реален генератор.

### II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

#### A. Постояннотоков генератор

Електрическите и магнитни свойства, както и работата на генераторите за постоянен ток се характеризират от следните основни величини: напрежение на клемите на генератора (U); ток в котвената намотка (товарен ток (I)); възбудителен ток (i<sub>b</sub>) и честота на въртене (n).

Електрическите характеристики представляват зависимостите между две от основните величини, при постоянни стойности на останалите [5]. Аналитично тези зависимости е трудно да бъдат представени, поради нелинейността на кривата на намагнитване на генератора. Затова те обикновено се представят в графична форма.

Характерна особеност на авиационните генератори, за разлика от промишлените, е широкият диапазон на изменение на честотата на въртене. По тази причина за всеки генератор се дава семейство характеристики, обхващащи целия диапазон на работни честоти. В практиката обикновено се използват три характеристики съответстващи на минималната, средната (номиналната) и максималната честоти на въртене.

Основните технически данни на избрания генератор са:

- номинално напрежение U<sub>n</sub>, V -----28,5;
- номинална мощност P<sub>n</sub>, kW -----12;
- номинален ток I<sub>n</sub>, A -----400;
- честота на въртене n, min<sup>-1</sup>-----4000...9000;
- ток на възбуждане i<sub>b</sub>, A -----1,9...15;
- Температура околната среда t<sup>o</sup>, C -----: -60...+60;
- Маса m, кг -----32.

За да се създаде модел на генератор в блок DC Machine\_G се въвеждат стойностите на индуктивните и активни съпротивления на възбудителната и котвената намотка, както и коефициента на взаимна индуктивност [6]. Конкретните стойности са получени чрез измерване и методика описана в [5].

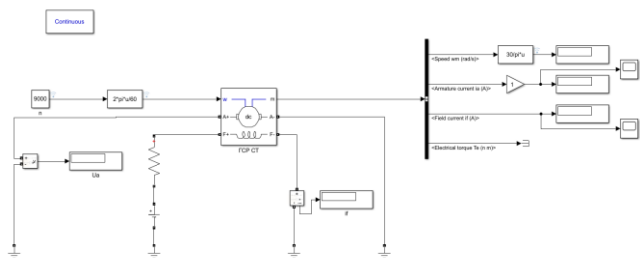
Изследването е извършено при ненаситена магнитна система на генератора.

### В. Характеристика на празен ход (ХПХ)

Това е зависимостта между индукираното е.д.н. и възбудителния ток при празен ход, при постоянна скорост на въртене.

$$U=f(i_b) \text{ при } \begin{cases} n = const \\ I = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Напрежението на изводите на генератор с паралелно възбуждане, каквито са авиационните генератори, при празен ход малко се различава от индукираното е.д.н., тъй като падението на напрежението, предизвикано от възбудителния ток в котвената намотка, е много малко. Ето защо практически получената крива на генераторите с паралелно възбуждане почти напълно съвпада с ХПХ  $E_a=f(i_b)$  при  $I=0$  и  $n=const$ , снета за същата машина, но при независимо възбуждане. За опростяване на модела се изследва генератор с независимо възбуждане “Фиг.1“. Получените и реалните стойности са показани в таблица 1 и “Фиг. 2“.

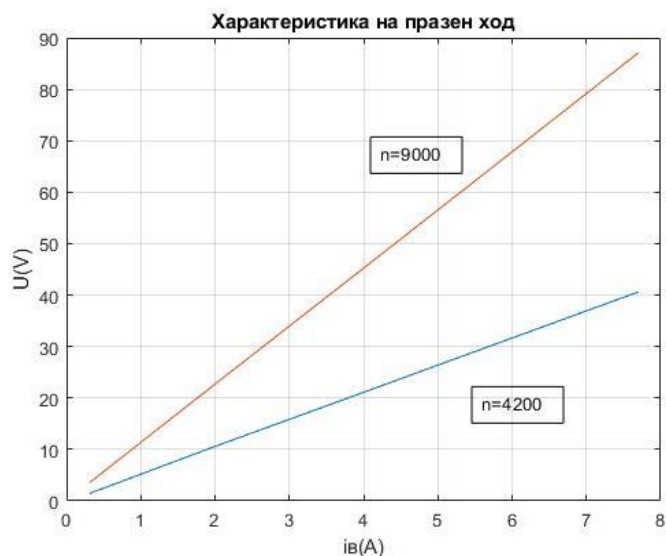


Фиг. 1. Модел на постояннотоков генератор

От таблицата се вижда, че грешката се нараства с увеличаване на възбудителния ток. В този случай това се дължи на насищане на магнитната система на реалния генератор. Максималната относителна грешка е 10% при  $n=9000 \text{ min}^{-1}$ , като стойностите за проверка са снети от характеристиките на генератора.

ТАБЛИЦА 1 ХПХ

n=4200					
$i_b$	0,3125	2	3,958	6,064	7,7
U(модел)	1,648	10,59	20,89	32	40,63
U(характ.)	1,6	11	22	31	42
n=9000					
U(модел)	3,56	22,7	44,76	68,57	87,1
U(характ.)	3,6	25	47	65	78



Фиг. 2. ХПХ на изследвания модел

### С. Характеристика на късо съединение (ХКС)

Изразява зависимостта, между тока в котвата и възбудителния ток при късо съединение и постоянна скорост на въртене

$$I_{ak}=f(i_b) \text{ при } \begin{cases} n = const \\ U = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Тъй като в областта на допустимите токове на котвата, магнитната система е ненаситена. ХКС на генератор с паралелно възбуждане може да се снесе само при захранване на възбудителната намотка от независим източник, тъй като при  $U=0$  и  $i_b=0$  - “Фиг. 3“ и таблица 2.

Тук Максималната относителна грешка е 5.2%.

### Д. Външна характеристика (ВХ)

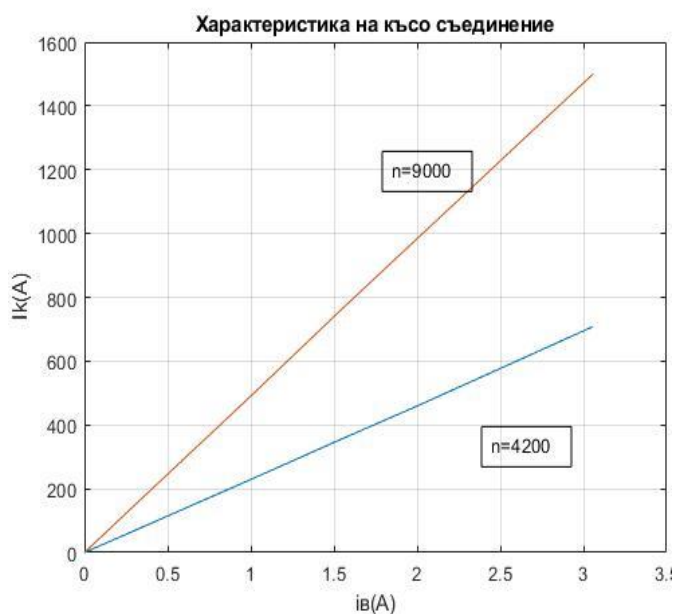
Тя представлява зависимостта на напрежението на изводите  $U$  и тока на котвата  $I_a$  при постоянна скорост на въртене и възбудителен ток.

$$U=f(I_a) \text{ при } \begin{cases} n = const \\ i_b = const \end{cases} \quad (3)$$

При генераторите с паралелно възбуждане пада на напрежение при увеличаване на  $I_a$  се получава поради реакцията на тока на котвата, а също така и  $i_b$  намалява с намаляване на напрежението - “Фиг. 4“ и таблица 3.

ТАБЛИЦА 2 ХКС

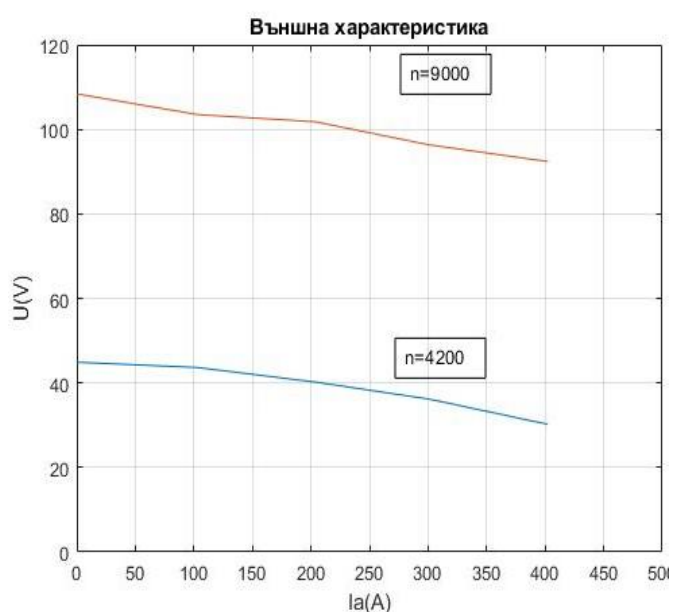
n=4200					
$i_b$	0,3125	1.01	1.556	2	3.058
$I_{ak}$ (модел)	71.48	231.5	358.2	459.3	708.5
$I_{ak}$ (характ.)	75	220	370	470	750
n=9000					
$I_{ak}$ (модел)	153.6	495.4	767.5	983.7	1500.3



Фиг. 3. ХПХ на изследвания модел

ТАБЛИЦА 3 ХПХ

n=4200					
$I_a$	0	103	203,6	301,4	402,3
U(модел)	44,9	43,65	40,2	36,15	30,2
n=9000					
U(модел)	108,4	103,5	101,8	96,3	92,39



Фиг. 4. ВХ на изследвания модел

### Е. Товарна характеристика (ТХ)

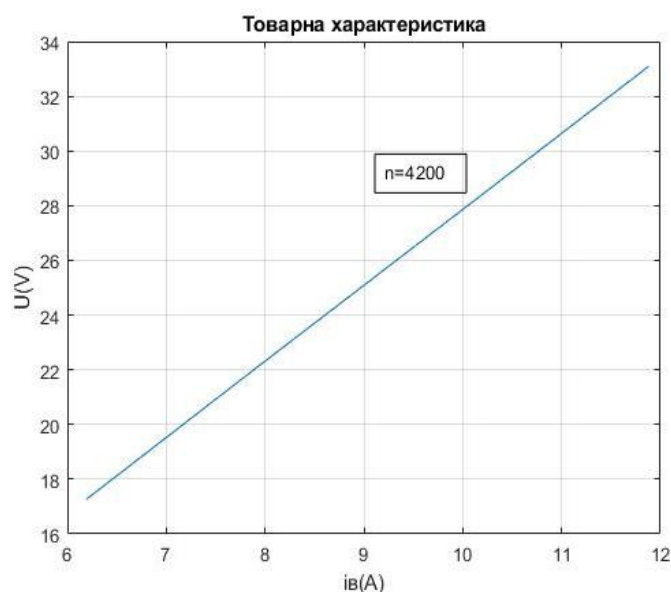
Тя представлява зависимостта на напрежението на изводите  $U$  и възбудителния ток при постоянна скорост на въртене и товарен ток - Фиг. 5 и таблица 4.

$$U=f(i_b) \text{ при } \begin{cases} n = const \\ I = const \end{cases} \quad (4)$$

При товарни токове  $I > 0$  товарните характеристики са аналогични на ХПХ, но са разположени по-ниско, поради влиянието на реакцията на котвата и падението на напрежението.

ТАБЛИЦА 4 ТХ

n=4200				
$i_b$	6,19	7,92	10,18	11,88
U(модел)	17,26	22,04	28,36	33,09



Фиг. 5. ТХ на изследвания модел

### Ф. Регулировъчна характеристика (РХ)

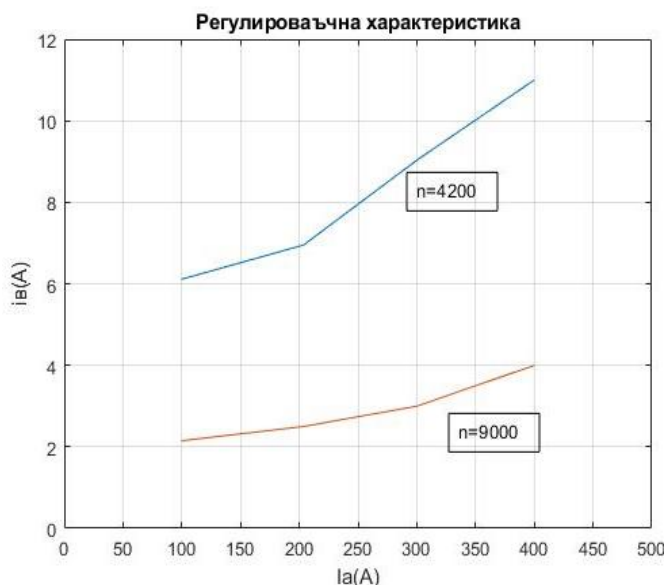
Това е зависимостта на възбудителния и товарния ток при постоянна скорост на въртене и напрежение - "Фиг. 6" и таблица 5.

$$i_b=f(I) \text{ при } \begin{cases} n = const \\ U = const \end{cases} \quad (5)$$

Чрез тази характеристика се определят границите на изменение на възбудителния ток, така че да се компенсира влиянието на реакцията на котвата и падението на напрежението във веригата на котвата, като по този начин се поддържа номиналното напрежение на генератора, при изменение на товара в определени граници.

ТАБЛИЦА 5 PX

n=4200				
$i_B$	99,7	203,6	300,4	400
I(модел)	6,11	6,95	9,04	11
n=9000				
I(модел)	2,15	2,5	3	4



Фиг. 6 PX на изследвания модел

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е създаден модел на авиационен постоянен ток генератор чрез използване на MATLAB/Simulink и SimPowerSystems, при който не се отчита насищането на магнитната система на машината. Модела е изследван и са построени неговите електрически характеристики. От характеристиките на празен ход и на късосъединените на реалния обект, в графичен вид, са свалени контролни стойности на параметрите.

Направена е оценка за точността на модела и е получена максималната относителна грешка 10% при характеристиката на празен ход. Това голямо отклонение на модела се получава при големи стойности на възбудителния ток, тъй като при тях се насища магнитната система на генератора, а модела не го отчита. За останалите стойности отклонението е  $\leq 5\%$ .

Създадения модел може да се използва за изследване на генератора с условието, че не се изследват режими, при които се достига насищане на магнитната система.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Камбушев, “Моделиране движението на квадрокоптер в турбулентна атмосфера моделиране движението на квадрокоптер в турбулентна атмосфера”, XXVIII МНТК „АДП-2019”, 2019, с.243-247, ISSN 1310-3946.
- [2] М. Камбушев, С. Билидеров, “Изследване в надлъжния канал на мини безпилотен летателен апарат тип лелящо крило”, XXVI МНТК „АДП-2017”, 2017, с. 251-256, ISSN: 1310 – 3946.
- [3] Й. Георгиев, “Авиационни акумулаторни батерии – тенденции и перспективи”, МНК ВВВУ “Георги Бенковски”, 2021, с.226-231, ISSN 2738 716X.
- [4] И. Черных, “Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink”, ДМК Пресс, Москва 2008, с. 288, ISBN 5-94074-395-1.
- [5] И. Копилов, Б. Клоков, В. Морозкин, Т. Федорович, “Проектирование электрических машин”, 4-е изд., перераб. и доп. – Москва, Издательство Юрайт, 2011, с. 767, ISBN 978-5-9916-0904-3.
- [6] С. Герман-Галкин, Г. Кардонов, “Электрические машины: Лабораторные работы на ПК.”, Крона принт, 2003, с. 256, ISBN 5-7931-0203-5.

## RESEARCH OF A MODEL AN AVIATION DC GENERATOR

Kiril Kambushev  
 Bulgarian Air Force Academy  
 “Georgi Benkovski”  
 Dolna Mitropolia, Bulgaria  
 e-mail: k\_kambushev@mail.bg

**Abstract:** This report examines an aviation DC generator with a nominal power of 12 kW. A model of the generator in the Matlab/Simulink environment has been created, and the model does not consider the saturation of the magnetic system. The characteristics describing the operation of the generator are constructed and their deviation from the actual values is evaluated.

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОБЛЕМИ НА АКТУАТОР ЗА АКТИВНА ЛАКЪТНА ОРТЕЗА

Емил Петров  
Институт по Роботика – БАН  
София, България  
e-mail: epetroff@abv.bg

Силвия Ангелова  
ИБФБМИ – БАН  
София, България  
e-mail: sis21@abv.bg

Пламен Райков  
Институт по роботика - БАН  
София, България  
e-mail: plamen.raykov@abv.bg

Росица Райкова  
ИБФБМИ - БАН  
София, България  
e-mail: rosi.raikova@biomed.bas.bg

**Резюме:** Настоящата работа разглежда проблеми с електрически актуатор Dynamixel ХН430-W350-T задвижващ активна лакътна ортеза, проявили се при експерименти с различни натоварвания, времена и профили на скоростта на флексия. Изследвана е информацията от сензорите на актуатора за достигане на зададена позиция и за стойностите на тока на двигателя в различните участъци от траекторията при различни профили на скоростта. Представени са мерки за текущо решение на тези проблеми, както и насоки за бъдеща работа по отстраняването им.

**Ключови думи:** активна лакътна ортеза, актуатор, флексия

### I. УВОД

В България няма статистически данни за броя на хората с двигателен дефицит в горните крайници вследствие водени мускулно-ставни проблеми, спортни и транспортни травми, инсулт и др. Последниците от такива увреждания са нарушение на мускулния тонус и намаляване на мускулната сила, значително намаляване на обхвата на ставните движения, нарушение на мускулната координация и като цяло – влошено качество на живот. Един от начините за преодоляване на ставните ограничения, мускулната контрактура и координация е рехабилитацията [1,2]. Тя се извършва първоначално в болниците, след това в рехабилитационни центрове и продължава ограничен брой седмици. В България, за разлика от други добре развити страни, рядко се използват технически средства за рехабилитация. Такива устройства като екзоскелети, роботи и ортези са скъпи и почти не се предлагат на нашия пазар.

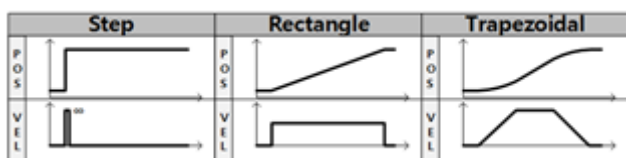
Съществуват множество технически устройства, помагачи на кинезитерапевтите и рехабилитаторите в процеса на рехабилитация на пациенти. Повечето от тях са пасивни [3,4,5], движенията в увредените стави се извършват ръчно и принудително. Предназначението на тези устройства е основно да поддържат желаната позиция и да намаляват спастичността на мускулатурата. По-модерни технически средства за рехабилитация са активните, които могат да бъдат с различни видове задвижване - електрически двигатели, изкуствени мускули задвижвани от сгъстен въздух, хидравлични системи [6,7]. Допълнително предимство на активните

ортези е, че могат да позволят управлението им да се осъществява от електромиографски сигнали от повърхностни мускули, което води до реорганизация на невронните връзки в мозъка [7].

Като се има предвид, че не всеки нуждаещ се от рехабилитация може да си позволи индивидуален терапевт, в Институт по биофизика – БАН е разработен прототип на активна лакътна ортеза (АЛО), описана в [8,9,10]. Тя е преносима, лека (1.2kg), с универсални размери, задвижвана от електрически актуатор Dynamixel ХН430-W350-T [11]. Трябва да се отбележи, че управлението на актуатора е супервайзорно, по сериен канал и се реализира чрез ограничен набор библиотечни функции, предоставени от производителя [8]. АЛО може да притежава автономно захранване и управление [12] и може да се използва от пациента за самостоятелна рехабилитация в домашни условия. Предприети са технически мерки за осигуряване на безопасност при прилагането ѝ - механични, електромеханични и програмни ограничители на ъгъла, момента и скоростта [9]. С цел повишаване на въртящия момент до достатъчните 7.5Nm [13] е използвана зъбно-ремъчна предавка с коефициент 2.182. В съответствие с медицинските и биофизични изисквания ъгловото преместване на подвижното рамо се управлява по време, като максималният размах на ъгъла на флексия е 120°. [14] С цел извършване на безударно движение за профил на траекторията (позицията) от възможните три, показани на фиг.1. [11], е избран S-крива (трапецовиден профил на скоростта).

### II. ВЪЗНИКНАЛИ ПРОБЛЕМИ

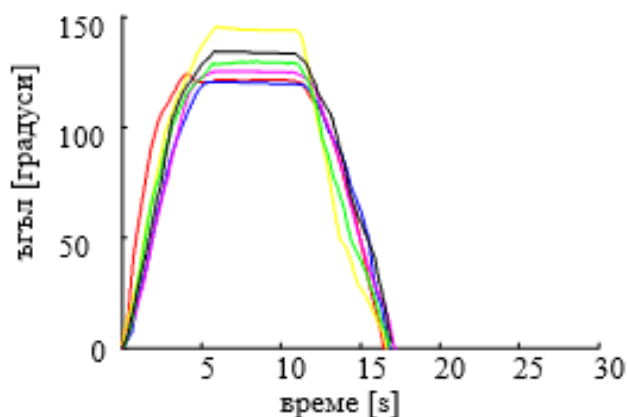
В предишна статия [10] беше представено сравнение между експерименти със здрави доброволци и с АЛО с различни натоварвания, като се следяха параметрите: ъглов размах, време на флексия, точност на позициониране, профилите на ъгловата позиция и скоростта в зависимост от времето. В табл. 1. са показани числените стойности при четири скорости на флексия, а на фиг. 2. - представителна извадка от графиките на функциите. От фиг. 2. се вижда, че има достатъчно добро съответствие между експериментите *in vivo* и тези с АЛО.



Фиг. 1. Възможни профили на траекторията и скоростта

ТАБЛИЦА 1 ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ

Експерименти Параметри	<i>in vivo</i>	АЛО
Максимален ъгъл на флексия	150°	120°
Точност на позициониране	~2 °	~0.5 °
Време на флексия/екстензия (сек)	2.5, 4.5, 6.5, 11.5	2.5, 4.5, 6.5, 11.5
Време почивка след флексия (сек)	5.0	5.0


 Фиг. 2. Профил на траекторията флексия – почивка – екстензия при експерименти *in vivo* на различни подопитни лица (цветни линии) и АЛО (черна линия)

Както бе споменато по-горе, управлението на актуатора е супервайзорно, по сериен канал, с S – профил на траекторията (фиг. 1.). То се осъществява чрез подаване на команди за запис, които променят данни в управляващия масив (Control Table [11]) на актуатора, както и команди за четене, които извличат информация от сензорите на актуатора. Използват се функции от API, предоставени от фирмата производител Robotis [15].

Задаваните параметри на движението при експериментите бяха:

- Време за флексия/екстензия (табл. 1.);
- Време за ускоряване/забавяне (използване на трапецовиден профил на скоростта), експертно фиксирано на 20% от времето за флексия/екстензия;
- Крайна позиция на флексия (КПФ) като абсолютна стойност на енкодера.

При експериментите с АЛО, описани в [10] се проявиха проблеми с информацията от индикатора за достигната позиция (ИДП) на актуатора (Moving\_Status(0)) [11] при товар 0.5кг и по-големите времена за флексия/екстензия – 6.5 и 11.5сек. Те се изразяваха в „зависване“ на ортезата в горно положение

(КПФ), като данните за зададена КПФ, достигане на позицията с и без ИДП са представени в табл. 2. Като се има предвид, че 1 импулс от енкодера (ИЕ) съответства на 0.04° на оста на ортезата [10], е видно, че ъгловата разлика между наличие и липса на ИДП е ~0.5°, каквато точност беше напълно достатъчна за целите на експеримента, а също така е достатъчна за реално ползване на АЛО.

ТАБЛИЦА 2 ЕКСПЕРИМЕНТИ С АЛО

Крайна позиция:	Достигната с ИДП	Достигната без ИДП	Неточност
4578			
Време на флексия, товар			
2.5сек, 0.0кг	4567	--	0.44°
4.5сек, 0.0кг	4567	--	0.44°
6.5сек, 0.0кг	4568	--	0.40°
11.5сек, 0.0кг	4566	--	0.48°
2.5сек, 0.5кг	4567	--	0.44°
4.5сек, 0.5кг	4566	--	0.48°
6.5сек, 0.5кг	--	4565	0.52°
11.5сек, 0.5кг	--	4564	0.56°

За да се оцени експертно отношението между момента на двигателя и неиздаването на „квитанция“ за достигната позиция, трябва да се отбележи, че КПФ, където се проявяват проблемите, е разположена на ~120° спрямо посоката на  $\vec{s}$  (земно ускорение). В крайна позиция на екстензия (~10° спрямо посоката на  $\vec{s}$ ) проблеми с ИДП не се наблюдаваха. В този смисъл предполагаемата причина е недостатъчен момент на двигателя в третия етап (деакселерация, забавяне) на S – кривата, където скоростта е малка и най-вероятно не достига ток, за да се „добута“ подвижното рамо до позиция, в която се активира ИДП. С цел завършване на експериментите в [10] проблемът бе заобиколен, като непрекъснато се следеше информацията от енкодера и при достигане на експертно определена позиция (<15 ИЕ от КПФ) движението се прекратяваше.

### III. ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА ПРОБЛЕМА

За уточняване на естеството и идентифициране на реалните причини за възникването на проблема с липсата на ИДП, с АЛО бяха проведени следните експерименти, като се изчисляваше усреднената стойност от 10 опита:

- Използване на трапецовиден профил на скоростта (ТПС) и задаване на време на флексия 11.5сек при натоварване на АЛО с тежести, симулиращи предмишница с тегло от 0.0кг до 1.5кг през 0.5кг. Следеше се КПФ с или без ИДП. По резултатите от тези експерименти, представени в табл. 3. може да се определи с колко достигнатата КПФ при липса на ИДП се отличава от зададената КПФ.
- Използване на правоъгълен профил на скоростта (ППС) при същите параметри, като при ТПС. Целта бе да се види разликата в наличие на ИДП между траектория по S-крива (такава с намаляващ ток във фазата на забавяне) и трапецовидна траектория. Резултатите са показани в табл. 3.

От табл. 3. се вижда, че разликата между достигната позиция с и без ИДП е максимално 2 ИЕ (0.08°), независимо от тежестта на подвижната част на ортезата и използвания профил на скоростта. Достигането на КПФ без ИДП се проявява при по-големи тежести.

**ТАБЛИЦА 3 ДОСТИГАНЕ КПФ С ТПС/ППС**

КПФ: 4578 Тежест към АЛО	КПФ с ИДП ТПС	КПФ без ИДП ТПС	КПФ с ИДП ППС	КПФ без ИДП ППС
0.0кг	4567	--	4568	--
0.5кг	--	4566	4567	--
1.0кг	--	4565	--	4566
1.5кг	--	4565	--	4566

Следваща стъпка при експериментите бе определянето на стойността на тока в различни позиции на АЛО, за да се потвърдят/избегнат съмненията за недостига му при „добутването“ до КПФ. Данните се вземаха от УМ на актуатора (Present\_Current). При време за флексия 11.5сек бяха избрани позиции, при които подвижното рамо на ортезата бе на 90° спрямо посоката на  $\vec{s}$  (3601 показание на енкодера) и КПФ (4578 показание на енкодера, съответстващо на 120° спрямо посоката на  $\vec{s}$ ). Бяха направени по 10 измервания за всяка тежест, с различни профили на скоростта, а усреднените резултати са представени в табл. 4.

От табл. 4. е видно, че токът при така проведените експерименти е далеч под допустимия за актуатора 1.36А [11]. Бе направен експеримент с тежест 1.5кг и профил на скоростта „единичен импулс“ (step – фиг. 1.). Измереният максимален ток от 452mA също е много под допустимия, а времето на флексия бе под 2сек. За да се разсеят съмненията за претоварване (прегриване) на актуатора, текущо бе измервана вътрешната му температура (Present\_Temperature). Максималната ѝ стойност бе 37° при околна температура 25°.

От проведените експерименти бе установено, че:

- Независимо от профила на скоростта, при тежести от 0.5кг и по-големи, се наблюдава „недобутване“ на подвижното рамо на АЛО до КПФ;
- Стойността на това „недобутване“ е максимално 2 ИЕ или 0.08° - пренебрежимо малко за целите на използването на АЛО;
- При увеличаване на натоварването на АЛО, очаквано токът на актуатора нараства, но е далеч под максимално допустимия, температурата също.

**ТАБЛИЦА 4 ЕКСПЕРИМЕНТИ С РАЗЛИЧНИ ТЕЖЕСТИ**

Ъгъл на рамото Тежест към АЛО	ток (mA) 90° ТПС	ток (mA) 90° ППС	ток (mA) 120° ТПС	ток (mA) 120° ППС
0.0кг	130	145	125	115
0.5кг	180	208	145	188
1.0кг	169	209	188	188
1.5кг	210	188	226	161

#### IV. РЕШАВАНЕ НА ПРОБЛЕМА

Както беше споменато по-горе, проблемът бе заобиколен, като вместо четене на вътрешния за актуатора ИДП бе следена абсолютната позиция на енкодера и при достигане на стойност с 15 ИЕ по-малка от зададената КПФ, движението бе спирано. В тази област ъгловата скорост е близка до нула, така че спирането реално е безударно. Независимо от получените добри резултати бе търсено “по-интелигентно” решение на проблема чрез използване на други вътрешни индикатори, както и евентуални настройки на коефициентите на вградения PID контролер (фиг. 3.). Първоначално бяха направени експерименти с използването на индикатор за завършен профил (ИЗП) (Moving\_Status (1)). Доколкото дефектът с ИДП се проявяваше при бавна скорост (голямо време за флексия) и голяма тежест, експериментите се проведоха с натоварване 1.5кг, времена на флексия 10, 15, 20 и 25сек и ТПС. Получените резултати са представени в табл. 5.

Вижда се, че максималната грешка между зададена и достигната КПФ е 21 ИЕ (0.84°), а разликата между минимална и максимална грешка е 2 ИЕ.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблемът с недостигане на позиция бе решен чрез използването на ИЗП (УМ: Moving\_Status (1)) вместо ИДП (УМ: Moving\_Status (0)). При ползване на ИЗП грешката за КПФ е еднопосочна, като разликата между най – голямата и най-малката грешка е 2 ИЕ, а абсолютната грешка е 21 ИЕ. Това позволява при реално приложение, ако е необходимо, тя да се компенсира на базата на знания за процеса (feed-forward control).

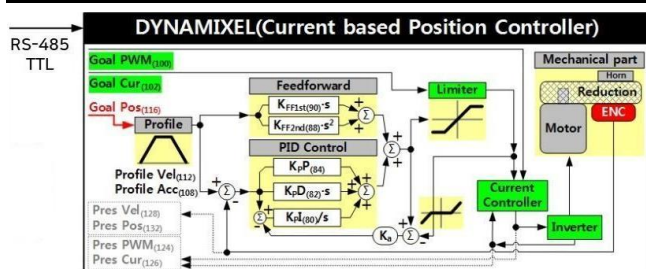
Буквално нищожната разлика на достигане КПФ с и без ИДП при различни скорости и натоварвания говори за проблеми с PID контролера (фиг. 3.), най вероятно с коефициентите му (Velocity\_I\_Gain, Velocity\_P\_Gain, Position\_I\_Gain, Position\_P\_Gain, Position\_D\_Gain). Също така е възможно неправилната му работа да се дължи на нерегламентирани времезакъснения и/или състезания.

Максималният ток на актуатора се оказва в пъти по-нисък от допустимия, температурата му също [11]. Това показва, че токът не оказва влияние за недостигането на КПФ.

Бъдещата работа по АЛО включва експерименти с настройката на съответните коефициенти на PID контролера, както и промяна на задвижването на АЛО. Предвижда се използването на по-мощен актуатор монтиран директно на оста на ортезата с цел премахване на зъбно-ремъчната предавка. Това ще олекоти конструкцията и ще премахне неточностите, предизвикани от хлабините между зъбния ремък и зъбните колела.

На фиг. 4. е представена графика с профили на позицията и скоростта при пълен цикъл на флексия и екстензия с използване на ИЗП. Както се вижда, графиките са близки до теоретичните.

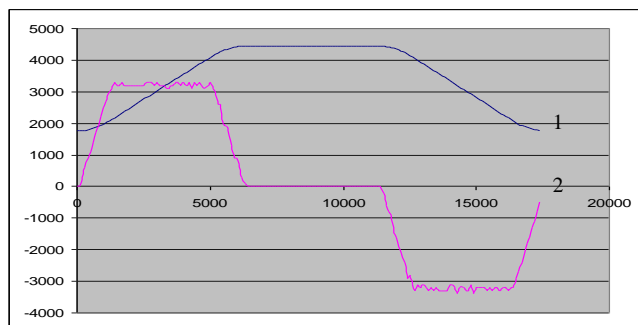




Фиг. 3. Структурна схема на вградения в XH430-W350-T PID контролер

ТАБЛИЦА 5 ДОСТИГАНЕ КПФ С ИЗП

Време на флексия	Зададена КПФ: 4578	Достигната КПФ с ИЗП
10сек		4558
15сек		4557
20сек		4557
25сек		4557



Фиг. 4. Графика на позицията и скоростта на подвижното звено с използване на ИЗП, 1 – профил на позицията, 2 – профил на скоростта (\*100). Абциса: време (миллисек), ордината: условни единици.

## БЛАГОДАРНОСТИ (Заглавие 5)

Дейностите, описани в настоящата работа, са финансирани от научноизследователски проект КП-06-M47/6 с тема „Теоретично изследване и експериментална верификация на активността на мускулите на горния човешки крайник без и с използване на активна лакътна мио-ортеза“ - Фонд Научни Изследвания “Конкурс за финансиране на фундаментални изследвания на млади учени и постдокторанти – 2020 г.”.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Buckwalter, J. A., “Effects of early motion on healing of musculoskeletal tissues”, *Hand Clinics* 12, pp. 13-24, 1996.
- [2] Bernhardt, J., Godecke, E., Johnson, L., Langhorne, P. “Early rehabilitation after stroke”, *Current Opinion in Neurology* 30, pp. 48-54, 2017.
- [3] Jensen, E., Raunsbæk, J., Lund, J., Rahman, T. Rasmussen, J., Castro M., “Development and simulation of a passive upper extremity orthosis for amyoplasia”, *Sage* 5, pp. 1–10, 2018.
- [4] Ates, S., Lobo-Prat, J., Lammertse, P., van der Kooij, H., Stienen, A., “Passive Orthosis: Design and technical evaluation of the wrist and hand orthosis for rehabilitation training at home”, In: *IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. Seattle, pp. 1-6, 2013.

- [5] Rahman, T., Sample, W., Jayakumar, S., King, M., Wee, J., Setikatar, R., Alexander, M., Scavina, M., Clark, A., “Passive exoskeletons for assisting limb movement”, *J. Rehabilitation Research & Development* 43, pp. 583-590, 2006.
- [6] McBean, J., Narendran, K., “Powered orthotic device”, US7396337B2, 8.7.2008.
- [7] McBean, J., Narendran, K., “Powered orthotic device and method of using same”, US8926534B2, 2015.
- [8] Петров, Е., Ангелова, С., Райков, П., “Управление на актуатор за активна лакътна ортеза”, Тридесета международна научно-техническа конференция “Автоматизация на дискретното производство АДП 2021”, 29 юни – 02 юли 2021, Созопол, Сп. Автоматизация на дискретното производство, бр. 3, юли 2021г., София, стр. 177-180.
- [9] Angelova, S., Raykov, P., Petrov, E., Raikova, R., “A prototype of an active elbow orthosis – problems of mechanical design and orthosis control”, *Series on Biomechanics*, 35(3), pp. 3-11, 2021.
- [10] Angelova, S., Petrov, E., Raykov, P., Raikova R., “Experimental testing of a prototype of an active elbow orthosis based on in vivo investigation of elbow flexion/extension of healthy subjects”, *Int. J. Bioautomation*, 26(2), 2022. (in press)
- [11] <https://emmanual.robotis.com/docs/en/dxl/x/xh430-w350>
- [12] <https://emmanual.robotis.com/docs/en/parts/controller/openmc904/>
- [13] Kyrylova, A., “Development of a wearable mechatronic elbow brace for postoperative motion rehabilitation”, Ph.D. Thesis. The University of Western Ontario, 2015.
- [14] Ribagin S., Raykova P., Raikova R., 2019. Mechanical design of an active elbow orthosis prototype. XXVIII МНТК “АДП-2019”, Сборник Доклади от Двадесет и Осмата Международна Научно-Техническа Конференция “Автоматизация на дискретното производство”, Созопол – юли 2019, 171-174.
- [15] <https://emmanual.robotis.com/docs/en/software/dynamixel/dynamixel-workbench/#function-list>



## EXPLORING SOME PROBLEMS OF AN ACTIVE ELBOW ORTHOSIS ACTUATOR

Emil Petrov  
Institute of Robotics - BAS  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: [epetroff@abv.bg](mailto:epetroff@abv.bg)

Silviya Angelova  
IBPhBME - BAS  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: [sis21@abv.bg](mailto:sis21@abv.bg)

Plamen Raykov  
Institute of Robotics - BAS  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: [plamen.raykov@abv.bg](mailto:plamen.raykov@abv.bg)

Rositsa Raikova  
IBPhBME - BAS  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: [rosi.raikova@biomed.bas.bg](mailto:rosi.raikova@biomed.bas.bg)

**Abstract:** The present paper explores problems with Dynamixel XH430-W350-T electrical actuator driving an active elbow orthosis. These problems appeared during experiments with different loads, flexion times and velocity profiles. The information from the actuator sensors for reaching the goal position and values of the motor current in the different sections of the trajectory at different speed profiles were examined. Measures for the current solution of these problems are presented, as well as guidelines for future work.

# ПРОЕКТИРАНЕ И КОНСТРУИРАНЕ НА КВАДРОКОПТЕР МИ-845

Ивайло Трифонов  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: iwcho9811@gmail.com

Иван Златев  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: Shmeker45@abv.bg

**Резюме:** В настоящата статия се разглеждат основните конструктивни елементи необходими за изграждането на квадрокоптер, както и основанията за изборът им.

**Ключови думи:** Квадрокоптер, витлото, електрически двигател, контролер, батерия, радиоуправление, рамка, математичен модел, диференциално уравнение.

## I. УВОД

Целта на доклада е запознаване с подхода за проектиране, конструиране и създаване на математичен модел на квадрокоптер. Разглеждат се основните елементи с техните особености и критериите при подборът им.

## II. АНАЛИЗ НА ФУНКЦИОНАЛНОСТТА И ЗАДАЧИТЕ ИЗПЪЛНЯВАНИ ОТ ОТДЕЛНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

### A. Основни конструктивни елементи на Квадрокоптер Ми-845.

#### 1) Витлата

Витлата на квадрокоптера (Фиг.1) са една важна част и същевременно най-подценявана част. Факт е, че квадрокоптерът лети благодарение на тях, от което следва, че трябва да се подходи внимателно при избора им. Витлата се обозначават чрез две числа по следния начин: 8x4,5 или 10x3,8 и т.н. Първото число показва диаметърът на витлото в инчове. Второто число показва стъпката на витлото, също в инчове.

За разработения дрон витлата са със следните параметри:

- Маса: 10 g (на витло);
- Диаметър: 8 инча;
- Стъпка: 4,5 инча.

#### 2) Какво е стъпка на витло?

Стъпка наричаме разстоянието, което ще измине витлото нагоре за един оборот. Стъпката се увеличава, когато се увеличава ъгълът, на който са усукани двете лопатки на витлото спрямо насрещния въздушен поток. Колкото по-голям е диаметърът на витлото и неговата стъпка, толкова по-голяма тяга създава то, но също и толкова по-голямо въздушно съпротивление изпитва.

Тягата на витлото може да се определи приблизително по формула (1):



Фиг. 1. Витла на квадрокоптер

$$T = \alpha \rho n^2 D^4 [N], \quad (1)$$

където:

$\alpha$ -е коефициент, зависещ от отношението на стъпката към диаметъра на витлото (0,075 при отношение 1:3; до 0,1 при отношение 1:2);

$\rho$ -е плътността на въздуха (1,22 kg/m<sup>3</sup> за морското равнище при стандартни условия);

$n$ -е броят обороти за секунда;

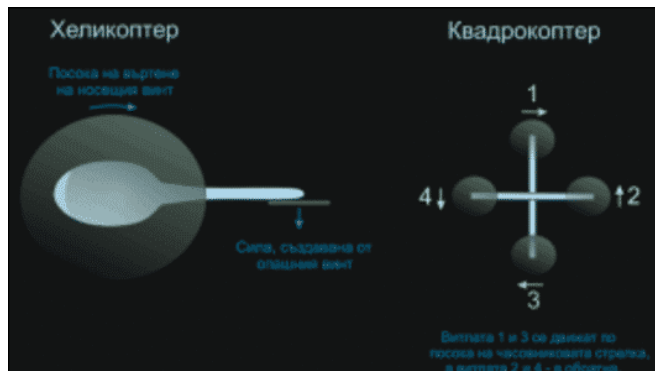
$D$ -е диаметърът на витлото в метри.

Когато витлото се върти, следва оборотите на двигателя да падат, тъй като той трябва да преодолява по-голям товар. Ако на двигател от 750 KV и се подаде 10 V, захранващо напрежение, той няма да се завърти със 7 500 оборота/минута, както би станало без товар, а с по-малко обороти. Максималната тяга, която ще създаде витлото при максималните обороти на двигателя в конфигурация с витлото, може да се определи най-лесно и най-вярно по емпиричен път. Трябва да се има предвид че при двигателите с висок KV трябва да се използват витлата с голям диаметър и стъпка. Докато оборотите намаляват, въртящият момент на двигателя расте и той може да се справи с по-големия товар[4,5].

#### 3) Управление на полета на квадрокоптера

Голямото предимство е, че всичките витла на квадрокоптера работят за създаване на подемна сила. Обикновено хеликоптера има на опашката си допълнително витло (опашен винт), чиято ос е перпендикулярна на оста на основното витло (носещия винт) и реално подемната сила, което то създава не е насочена нагоре, а настрани с цел да парира реактивния момент на носещото витло.

При квадрокоптера подобен проблем не съществува, тъй като витлата (2X2) се въртят в противоположни посоки.



Фиг. 2. Схема на вертолет и схема на квадрокоптер

Квадрокоптера се управлява, като се регулират оборотите на витлата му. Ако намалим скоростта на въртене на едно от четирите витла, квадрокоптерът Ми-845 ще се наклони и ще започне да се движи в посока към изоставащото витло. Ако се намалат оборотите на две витла с еднаква посока на въртене, Ми-845 ще се завърти около оста си в посока, съвпадаща с посоката им на въртене. Всичко това осигурява добре маневреност на квадрокоптера.

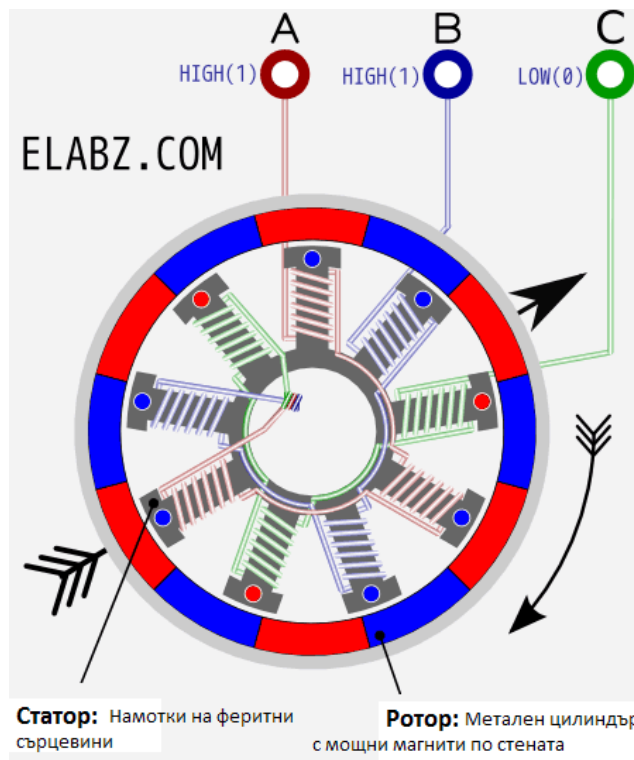
**В. Електродвигател**

Витлата на квадрокоптера се задвижват от четири електрически двигатели. Най-често използвани са безколекторните постояннотокови двигатели. Те са с външен ротор, на който са поставени силни неодимиеви магнити. В статора на двигателя се намира трифазна намотка, която последователно посредством електронен контролер се включват към източник на електричество, като в резултат се получава въртящо се магнитно поле, което завърта ротора. Витлото е закрепено към вала на ротора.

Параметрите на използваните двигатели са:

- Маса: 56 g (заедно с приставките);
- Големина на тока при максимална ефективност: 4 – 10 A;
- Максимален ток: 12 A за 60 s;
- Обороти/V: 1 000 KV;
- Размери:  $\varnothing$  27,5 x 27 mm;
- Диаметър на вала:  $\varnothing$  3,17 mm;

Те нямат четко-колекторен възел, който усложнява конструкцията на двигателя, намалява надеждността му и увеличава триенето на ротора. Безчетковите двигатели са с просто устройство, което обаче се компенсира с усложнената електроника, необходима за управлението им.



Фиг. 3. Схема на устройството на безчетков двигател

**С. Контролери .**

Двигателите на квадрокоптера се управляват от контролери. На брой те са толкова, колкото и двигателите – четири. Контролерът представлява електронна платка с програмируем микроконтролер. Два входни кабела свързани към плюса и минуса на батерията, която захранва квадрокоптера. Три изходни кабела свързани към трите фази на електродвигателя. Трите кабела служат за управление на контролера. Те се свързват към полетния контролер и го захранват – полетният контролер служи като борден компютър на квадрокоптера, който най-общо казано предава приетите от квадрокоптера управляващи радиосигнали, които се излъчват от дистанционното към контролерите на скоростта, така че да се постигне желаната маневра.



Фиг. 4. Контролер за оборотите на двигателите

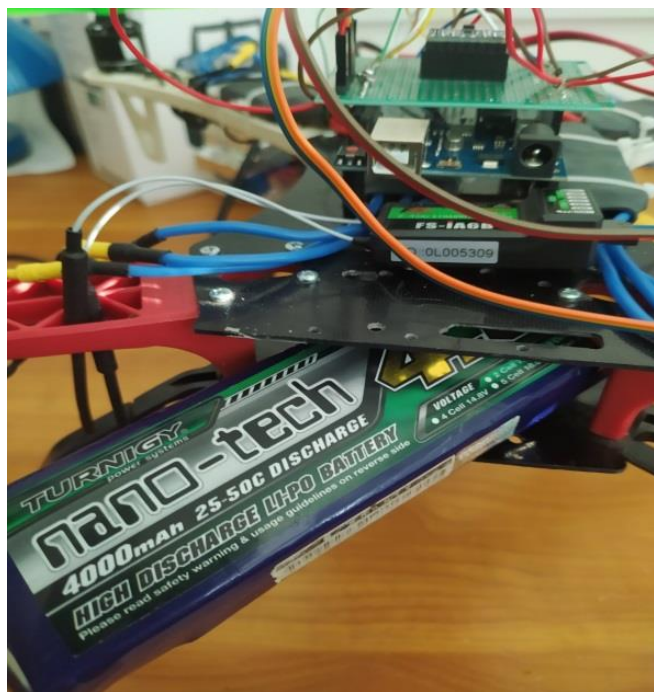
- Маса: 27 g
- Максимален ток: 30 A
- Максимален брой поддържани обороти: до 35 000 об/min при 12-полюсен двигател (нашия двигател)

При контролера е важна скоростта да е съобразена с максималния ток, който може да минава през него и максималния ток на електродвигателя. Максималният ток на електродвигателя трябва да бъде по-малък от максималния ток на контролера. Около 1,2 до 1,5 пъти.

#### D. Батерията (battery)

- Маса: 190 g
- Размери: 108 x 24 x 34 mm
- Конфигурация: 3S1P
- Напрежение: 11,1 V
- Капацитет 4000mAh
- Максимален темп на разряд: 50C

Типът батерии, които са намерили най-голямо разпространение са литиево-полимерните батерии. Те се състоят от няколко отделни клетки, които са свързани последователно и имат номинално напрежение 3,7 V. В зависимост от броя клетки в батерията е възможно тя да дава 3,7 V (една клетка), 7,4 V (две клетки), 11,1 V (три клетки) и 14,8 V (четири клетки). Броят клетки в батерията се указва с цифра, след която е написана буквата "S". Например 3S батерия ни дава 11,1 V. Волтажа трябва да е съобразен с двигателите, които ще се използват. Едина от най-универсалните е 3S батерия. Следващият параметър е капацитетът на батерията – колко mAh е. Батерия от 1 000 mAh е способна да снабдява с ток с големина 1 A в продължение на час. Има четири двигателя, следователно максималната консумация е  $4 \times 15 = 60$  A.



Фиг. 5. Батерия на квадрокоптер.

При батериите има още един важен параметър – максималният темп на разряд. Той е отбелязан с число и буквата „C” след него. Ако умножим това число по капацитета на батерията, ще се получи максималния ток,

който можем да черпим от батерията следователно този ток трябва да бъде по-висок от тока на максимална консумация. При Ми-845 двигателите консумират максимум 60 A. А батерията е от 4000mAh, това означава, че темпът ѝ на разряд трябва да бъде най-малко 50C.

#### E. Радиоуправление

За да се контролира полета на квадрокоптера, е необходимо наличието на предавател на управляващи сигнали – дистанционно – и приемник на тези сигнали, който се намира на борда на квадрокоптера. Радиоуправлението на квадрокоптера Ми-845 се осъществява на честота 2,4 GHz. При такава честота управлението на квадрокоптера се постига при пряка видимост между предавател и приемник до около 100 m максимално отстояние. За по-далечни разстояния (от порядъка на km) се използват друг вид радиоуправления на честота 433 MHz.

- Маса (приемник): 15 g;
- Захранване (дистанционно управление): 12 V;
- Използвана честота: 2,4 GHz;
- Канали: 6.

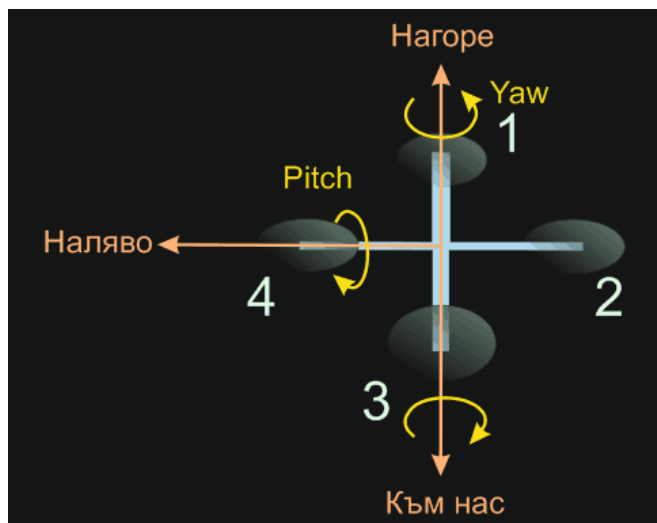


Фиг. 6. Радиоуправление

Каквото и радиоуправление да се използва има някои общи моменти при всички типове. За дронът, каналите са минимум четири както следва: Тяга, плъзгане(ризкаене), крен и тангаж. В този случай става дума за това да регулираме мощността на четирите двигателя на квадрокоптера. Съответно „курс”, „тангаж” и „крен” са ъгли, които квадрокоптерът сключва спрямо трите оси на координатната система, минаваща през центъра му. В следната схема фиг. 7 е показано нагледно какво представлява.

Управлявайки плъзгането, крена и тангажа, се управляват наклона на квадрокоптера и съответно пространственото движение в хоризонталната равнина; управлявайки тягата - съответно височината му. За управлението на четирите канала на дистанционното

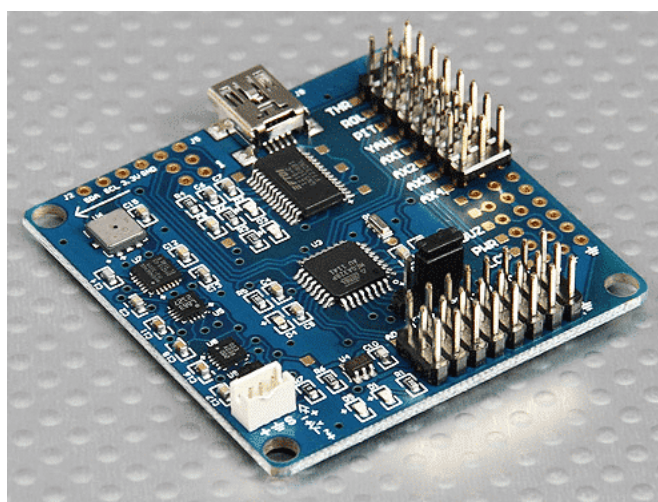
има два стика които се движат нагоре-надолу за два от каналите и наляво-надясно за другите два от каналите. От приемника, на квадрокоптера, излизат 12 проводника – по три на канал („5 V”, „маса” и „сигнал”), които отиват към полетния контролер.



Фиг. 7. Координатна система спрямо трите оси

#### Г. Полетен контролер

Управлява дрона и поддържа стабилността му в полет. За да се справи с това, Ми-845 трябва да разполага с данни, тези данни идват от различни сензори, вградени в електронната му платка. Основните сензори, без които не може, са: жирокопични датчици-показващи с каква ъглова скорост квадрокоптерът се върти спрямо трите оси, като след интегриране на тези данни се установяват и ъглите на курс, крен и тангаж. Изходите от тези сензори се обработват съвместно с данните от приемника на радиосигнали и съобразно тях компютърът изработва управляващи сигнали и ги подава към контролерите на скоростта.



Фиг. 8. Примерен полетен контролер

Контролерът има програмируем микроконтролер с връзка към персонален компютър, чрез който можете да се програмира собственооръчно.

#### Г. Рамка

Рамката е една от пренебрегваните части на квадрокоптера. Тя е важна, защото към нея са закрепени всички от гореописаните елементи и защото понася натоварванията на квадрокоптера. Най-често рамката е под формата +, като в четирите ѝ рамена за закрепени двигателите заедно с витлата и контролерите на скоростта, а на централна площадка са закрепени полетния контролер, батерията, радиоприемника и всичко останало. При рамката има две важни изисквания – да е здрава и да е лека.

Използваната рамка е със следните параметри:

- Маса: 280 g (F450); 300 g (ръчно изработена);
- Диагонал: 450 mm;
- Материал: стъклопласт (F450) и полимери.



Фиг. 9. Рамка

Тя е най-тежкият компонент на квадрокоптера, заемащ от 1/4 до 1/3 от теглото му. Най-популярните материали за изработка на този компонент са: балса, алуминий и карбонови полимери. Карбоновите полимери са най-добри и най-скъпи.

#### Н. Разчети

Емпиричното правило при проектирането на мултикоптер е двигателите и витлата му да се съобразени така, че да има възможност да се създаде два пъти повече тяга, отколкото е теглото му. В този случай теглото на квадрокоптера е 1 kg, има четири двигателя, което означава, че всеки двигател трябва да създава 500 g (5 N) теглителна сила. Ако се използва витло 9 x 4,5, което е близо до универсалния избор, и се въведат параметрите му в калкулатора за витла, се получава, че търсената тяга (5 N) се получава при 7 200 оборота в минута, следователно трябва двигател около 1 000 KV, който ненатоварен би постигнал максимално 11 000 оборота/минута при 11,1 V LiPo батерия, а при товар оборотите му ще паднат до 7 000 – 8 000.

След като се поставят двигателите, които отговарят на този критерий следва, че максималния ток, който може да протича през тях при максимални обороти, е от

порядъка на 10-15 А. Сумарно за четирите двигателя имат средно 50 А. Една батерия от 2 200 mAh ще се разрези при това положение за  $60/(50/2,2) = 2,64$  min. Това е по-малко от 5- минути, но полученото число е в сила при пълна тяга на двигателите.

Що се отнася до размера на рамката, тя се определя от големината на витлото. Диаметърът му е 8 инча или около 20,32 cm, а разстоянието между осите на двигателите трябва да е около 1,5 пъти по-голямо или в нашия случай 35 cm. Това означава, че ширината на „+“ът, който ще представлява рамката ни е около 50 cm.

III. СИСТЕМИ ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ ОПИСВАЩИ ДВИЖЕНИЕТО НА ТЪВРДО ТЯЛО.

За извеждането на изразите за силите и моментите действащи върху квадрокоптера Ми-845 трябва да се направят следните допускания:

- че летателния апарат е абсолютно твърдо тяло, което означава;
- че разстоянието между две произволно избрани негови точки остава постоянно по време на полета;
- масата на летателния апарат не се изменя по време на полета.

Също така трябва да се вземе предвид, че масата на летателния апарат е симетрично разпределена спрямо равнината  $Mx1y1$ :

$$I_{xz} = I_{zx} = 0; I_{yz} = I_{zy} = 0.$$

От определението за свързана координатна система следва, че осите ѝ съвпадат с главните инерционни оси на летателния апарат. В такъв случай може да се приеме, че:

$$I_{xy} = I_{yx} = 0.$$

След направените допускания движението на летателния апарат може да се опише като движение на абсолютно твърдо тяло с шест степени на свобода. За точно описание на движението на твърдо тяло с шест степени на свобода се използват уравненията на Ойлер. Те могат да се получат, от известните теореми за изменение на количеството на движение и за изменение на кинетичния момент. По този начин, свободното движение на абсолютно твърдо тяло може да се раздели на две движения[1]:

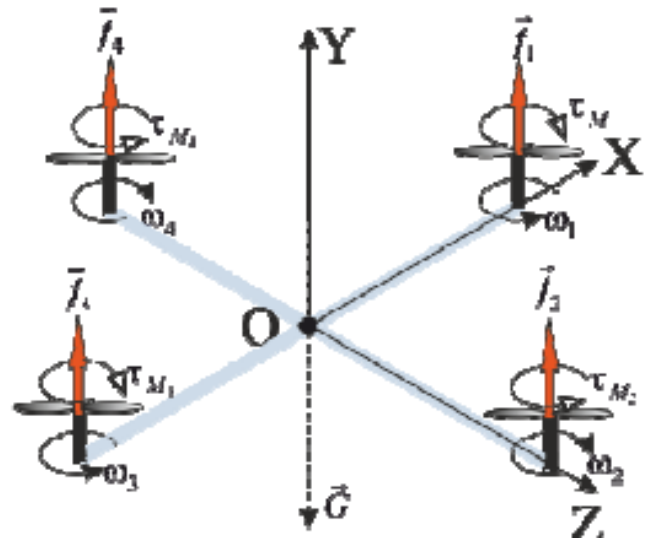
- постъпателно движение на центъра на масата.
- въртене около центъра на маса.

Основният проблем е наличието на реактивен момент, създаван от носещите витла. При Ми-845 с четен брой двигатели, реактивния момент се уравновесява от срещуположно въртящите се витла.

A. Математичен модел на Ми-845

Ми-845 е симетричен летателен апарат при който подемната сила се създава от две двойки двигатели, въртящи се в противоположни посоки, а проблема с

реактивния момент създаван от въртенето на витлата липсва.



Фиг. 10. Диаграма на силите и моментите действащи на четирикоптера Ми-845

Външните сили, действащи по осите на свързаната координатна система на четирикоптера са:

$$\begin{bmatrix} \sum F_x \\ \sum F_y \\ \sum F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G \cdot \sin(\vartheta) \\ (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2)k - G \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\vartheta) \\ G \cdot \sin(\gamma) \cdot \cos(\vartheta) \end{bmatrix},$$

където  $f_i = k\omega^2$  е силата(тягата) създавана от i-тия двигател; G е силата на тежестта, насочена по местната вертикала. Уравненията на моментите по осите X, Y, Z на свързаната с четирикоптера координатна система се получават в следния вид:

$$\begin{bmatrix} \sum M_x \\ \sum M_y \\ \sum M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} hk(\omega_4^2 - \omega_2^2) \\ \tau_{M_1} - \tau_{M_2} + \tau_{M_3} - \tau_{M_4} \\ hk(\omega_1^2 - \omega_3^2) \end{bmatrix},$$

където - h е разстоянието между ротора и съответната ос на свързаната координатна система.

Проектирайки уравненията по осите на свързаната с четирикоптера координатна система се получават диференциалните уравнения на движението му, от които се намират линейните и ъглови скорости в тази координатна система.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_y \\ \dot{V}_z \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} \sum F_x \\ \sum F_y \\ \sum F_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}$$

Квадрокоптерът има симетрична структура с четири витла. Следователно кръстосаните инерционни моменти са много малки и може да се пренебрегнат. Ъгловото положение на квадрокоптера спрямо земната координатна система  $Oxyz$  се задава чрез три ъгъла:  $\psi -$

ъгъл на курс,  $\gamma$  - ъгъл по крен,  $\vartheta$  - ъгъл по тангаж. Връзката между тези ъгли и ъгловите скорости около осите на свързаната с летателния апарат координатна система се дава от [2]:

$$\dot{\psi} = \frac{\omega_y \cos \gamma + \omega_z \sin \gamma}{\cos \vartheta},$$

$$\dot{\gamma} = \omega_x + \operatorname{tg} \vartheta (\omega_y \cos \gamma + \omega_z \sin \gamma) = \omega_x + \dot{\psi} \sin \vartheta,$$

$$\dot{\vartheta} = \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma.$$

Полученият по този начин математичен модел е използван за определяне на коефициентите на ПИД регулаторите използвани при управлението на квадрокоптера [3].

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаден е реален квадрокоптер. Направени са необходимите измервания и изчисления за получаване на пълен нелинеен модел на дрона. Моделът е използван в средата на SIMULINK за настройка на коефициентите на ПИД регулаторите.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гешев Д., Узунов П., Основи на аеродинамиката и динамиката на полетата на самолета. "Военно издателство", 422стр.
- [2] Димитров С., Р. Димитрова, Т. Банков, А. Банчев, С. Цолов, Проектиране на мобилен робот с хибридно задвижване, XXX МНТК „АДП – 2021”, Созопол, 29.06 – 02.07.2021 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.3/юли 2021 г., ISSN: 2682-9584, (114-121).
- [3] Камбушев М. М., ИЗСЛЕДВАНЕ НА КВАДРОКОПТЕР. Сборник Доклади от двадесет и седма международна научно-техническа конференция АДП 2018 ISSN 1310-3946.
- [4] Dimitrov S., R. Dimitrova, T. Bankov, A. Banchev, S. Tsolov, Engineering research a mobile robot with hybrid drive, XXX “ADP – 2021”, Sozopol, 29.06 – 02.07.2021, Magazine “Automation of Discrete Production Engineering”, 3/ July 2021 г., ISSN: 2682-9584, (122-125).
- [5] Stevens B.L., Lewis F. L. Aircraft control and simulation. John Wiley&Sons,2003
- [6] <https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/how-to-calculate-motor-poles-and-brushless-motor-kv>
- [7] <https://calculator.academy/blcdc-motor-power-calculator/>

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF QUADROCOPTER MI-845

Ivaylo Trifonov  
Cadet  
Bulgarian Air Force Academy  
“Georgi Benkovski”  
Dolna Mitropolia, Bulgaria  
e-mail: iwcho9811@gmail.com

Ivan Zlatev  
Cadet  
Bulgarian Air Force Academy  
“Georgi Benkovski”  
Dolna Mitropolia, Bulgaria  
e-mail: Shmeker45@abv.bg

**Abstract:** This article discusses the main structural elements needed to build a quadcopter, as well as the reasons for their choice.



## КОМБИНИРАНИ ХИБРИДНИ СОЛАРНИ СИСТЕМИ

Росен Петров  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии - БАН  
София, България  
e-mail: rosen\_p@yahoo.com

Денис Чикуртев  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии - БАН  
София, България  
e-mail: denis.chikurtev@iict.bas.bg

**Резюме:** Тази статия изследва различни приложения на слънчевите енергийни системи с цел определяне на най-подходящата на база ефективност и надеждност.

Във връзка с непрекъснато повишаващите се цени на енергоносителите все по-често се обръща внимание на опцията за алтернативно захранване, посредством хибридни системи като слънчеви/вятърни, слънчеви/геотермални и слънчеви/дизелови системи. Изследването показва, че хибридните системи биха могли да отговорят на необходимите изисквания в различна степен в зависимост от работните условия и компонентите на хибридната система. Те се отличават с по-голяма сложност, както и с по-високите първоначални разходи.

**Ключови думи:** хибридни системи, фотоволтаици, геотермални източници, фазово-преобразуващ материал

### I. УВОД

Нарастването на човешката популация и масовата индустриализация водят до постоянно увеличаване на енергопотреблението. Невъзобновяемите енергийни източници като изкопаемите горива са основен източник на енергия, това води до отделяне на огромни количества въглероден диоксид в атмосферата, дължащи се основно на производството на електроенергия. Проведени са много проучвания с цел намиране на оптимално решение за създаване на системи, които работят екосъобразно, имат дълъг експлоатационен период и осигуряват висока надеждност и ефективност. Подобни системи са подходяща алтернатива за ограничаване на вредните емисии при производството на енергия от изкопаеми горива[1].

Употребата на неконвенционални източници като вятърна енергия, хидроенергия, биогаз, енергия от биомаса и слънчеви фотоволтаици в комбинация с конвенционалните такива като петрол и полезни изкопаеми е частично решение на гореизложените проблеми. В този контекст, за да отговори на енергийните нужди на потребителите тези системи трябва да са жизнеспособна алтернатива, която е в състояние да осигури достатъчна енергийна независимост.

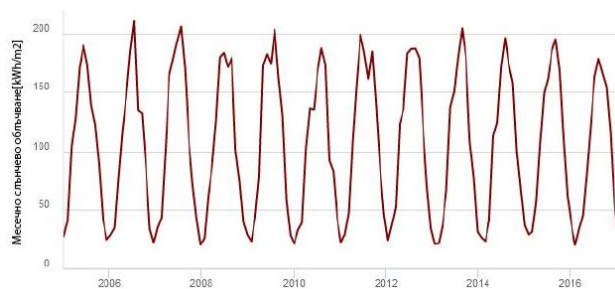
Хибридната система е комбинация от две или повече системи, които са зависими от различни източници на енергия. Те трябва да генерират определена мощност, достатъчна да подсигури енергийната нужда на дадения обект.

Преобразуването на излишната топлинна енергия, получена от слънцето през деня и съхранена по определен начин може да се използва през нощта, за да отговори на необходимите енергийни нужди.

В България производството на електроенергия е доминирано от нашата ядрена електроцентрала, както и въглищните централи. От началото на новото хилядолетие България се опитва да запази своите традиции в областта на енергетиката чрез интегриране на нови мощности, добивани с помощта на възобновяеми енергийни източници, които се характеризират като чисти, сигурни и икономични. Идеята е те да са в състояние да задоволят нуждите ни от електрическа енергия и отопление, както да осигурят свободни количества за свободния пазар.

Технико-икономическият анализ, проведен за различен дизайн на фотоволтаичната система според българските условия за различни мощности от 50 kW до 500 kW (за жилищно ползване и промишлените сектори) показва, че инвестицията в областта на слънчевата енергия е добра икономически и технически и е с нисък период на изплащане около 10 години, което е добър показател в областта на енергетиката.

Данните за територията на Република България от 2011-2021 г. за месечните стойности на слънчевото облъчване (хоризонтално облъчване) с ъгъл на наклона 37°, което се счита за подходящо за насърчаване на използването слънчева енергия в различни области са показани на Фиг. 1.



Фиг. 1. Хоризонтално облъчване

### II. ВИДОВЕ ХИБРИДНИ СИСТЕМИ

#### A. Слънчево-геотермалната система

Комбинацията от слънчева енергия и енергия добивана от геотермални източници осигурява постоянен и устойчив източник на енергия.

Системата се състои от термпомпен климатичен агрегат тип „вода-вода“ със серпентина, вкопана в почвата на подходяща дълбочина, която служи за охлаждане през лятото и за отопление през зимата.

Другата основна част е фотоволтаична система с панели за производство на електроенергия от слънчеви лъчи.

Системата е за предпочитане за места с големи температурни амплитуди, където топлинната енергия от геотермалните източници се използва за отопление през студените части от денонощието, а електроенергията добита от фотоволтаичната система се ползва за захранване на останалите системи.

За постигане на максимален ефект и осигуряване на пълна автономност е необходима и система от една или повече батерии за съхранение на енергията[1].

Режимите на работа са основно два:

1. При наличие на дневна светлина



Фиг. 2. Слънчево-геотермална система при наличие на дневна светлина

Фотоволтаичните панели произвеждат електроенергия, която отива към контролен панел като част от нея се ползва директно, а при излишък се съхранява в батерии. В този режим термопомпният климатичен агрегат се захранва с енергия от слънчевите колектори. (Фиг.2)

2. Нощен режим

За осигуряване захранване на електрическите уреди се ползва акумулираната енергия в батериите, докато климатичната система ползва предимството на постоянната температура на водата в почвата на съответната дълбочина. При тази система е препоръчителна връзка с енергоразпределителната мрежа в региона. (Фиг.3)



Фиг. 3. Слънчево-геотермална система без наличие на дневна светлина

В. Вятърно-соларна система

Вятърно-соларната система представлява комбинация от турбина, задвижвана от вятър и фотоволтаични панели.

Вятърът и слънцето се явяват равнопоставени енергоизточници като се допълват изцяло или напълно.

Ефективността на фотоволтаичната система зависи от изобилната слънчева радиация, която е с различен интензитет през денонощието и вятърна турбина, която зависи от наличието на достатъчно вятър.

Комбинацията от двата ресурса осигурява относително стабилно захранване с електроенергия. За изграждане на хибридна система е много важно да се проучат техническите възможности на региона, тъй като при липса на един от двата компонента – достатъчно вятър или слънчеви часове, прави системата неефективна. [2]

За района на нашето северно Черноморие системата се явява ефективен способ за енергийна независимост. За всеки час през годината, както вятърните, така и слънчевите енергийни ресурси се допълват, отговаряйки на специфичните натоварвания без нужда от допълнителни батерии за зареждане в сравнение с преобразуването и съхранението за отделна PV система.

Но за останалите части от страната проблем се явява съхранението на добитата енергия, която ще се използва през определени периоди, когато липсва светлина или вятър. (Фиг. 4)



Фиг. 4. Вятърно-соларна система

Има тенденция за увеличаване на използването на хибридни технологии като слънчеви и вятърни системи, които се считат за обещаващи енергийни ресурси, които намират приложение, както за жилищни зони, така и за промишлени предприятия.

От друга страна, хибридните слънчеви/вятърни системи са по-сложни по отношение на техните компоненти (нелинейни свойства), както и други параметри на променливите между двете конфигурации. За да се постигне необходимата оптимизация е нужен компютърен софтуер, който играе важна роля за проектиране на безопасни енергийни системи.

Свързването с електропреносната мрежа осигурява необходимата стабилност и сигурност при екстремни ситуации, както и в зависимост от законодателството се създава възможност за търговия на сводния пазар за електроенергия.

#### C. Соларно-дизелова/газова система

Системата е подходяща за райони, които са откъснати от цивилизацията и градския живот и нямат стабилно изградени връзки с енерго-разпределителната мрежа. Газовият/дизелов агрегат се явява резервна система при пълно изразходване на енергията, добита от слънцето. (Фиг. 5)



Фиг. 5. Соларно-дизелова/газова система

Различни проучвания показват, че използването на хибридна слънчева PV/дизелово гориво или природен газ като самостоятелно производство на електроенергия е добро от икономическа гледна точка, като по този начин

може да се отговори на изискванията за натоварване, както и че има понижаване на емисиите при използване на хибридна система в сравнение само с генераторна система.

Концепцията е подходяща система за слабонаселени и отдалечени райони.

Анализирани и симулирани са енергийни системи като - генераторна система с/без батерия и PV/генератор, генераторна система с/без акумулаторна система. При отчитането на икономически и практически показатели е установено, че използването на генератор/батерийна система е най-малко подходящият вариант, докато хибридният PV/генератор с батерия е по-подходящ вариант. [3]

#### D. Система с фотоволтаични и слънчеви панели

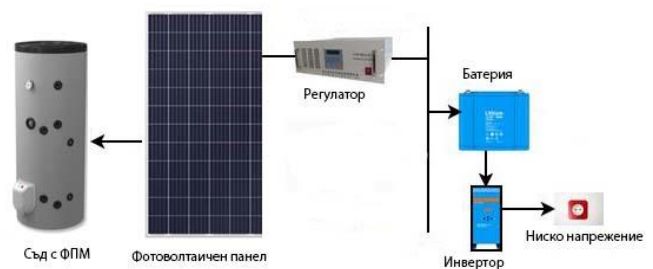
Доверието към фотоволтаичните системи нараства бързо и се увеличава през последните години с различни мощности за производство на чиста електроенергия и намаляване на зависимостта от традиционната енергия.

Фотоволтаичната система, обаче има недостатък, когато температурата се повиши до определена стойност, слънчевите клетки могат да бъдат засегнати, което води до по-ниска ефективност на фотоволтаичния панел и понякога води до разграждане на слънчевите клетки.

Съществуват различни техники, които допринасят за поддържане на ефективността на слънчевите клетки.

Една от тези техники е охладителна система, която се комбинира с фотоволтаичната система. Теплопреносна среда с канали, поставени зад плочата и в контакт с фотоволтаичните панели за намаляване на високата температура на слънчевите клетки. [4]

Топлинната енергия от водата се съхранява в съд с фазово променлив материал. През студената част от денонощието той отдава топлинната енергия към повърхността на фотоволтаичните панели като по този начин се осигурява приблизително еднаква повърхностна температура. (фиг. 6)



Фиг. 6. Соларна система със съд с ФПМ

По този начин се получава високоефективна комбинирана система, която произвежда едновременно електрическа и топлинна енергия.

Добавянето на ФПМ в устройството за съхранение на топлина не само може да намали обема, но и да позволи на топлината да се съхранява и отделя при почти постоянна температура, като се избягват недостатъците на традиционните резервоари за вода. За да се отговори

на проблемите на нестабилността на слънчевата енергия и недостатъчното съхранение на топлина, в слънчевите отоплителни системи обикновено се добавя спомагателен източник на топлина.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кредитът на доверие на различни източници на възобновяема енергия, които биха могли да гарантират устойчивост на енергийните доставки чрез непрекъснато удовлетворяване на търсенето на натоварване, непрекъснато расте. Разпространението на слънчеви енергийни системи, които имат ефективност и надеждност като алтернативен ресурс на конвенционалната енергия, допринасят за намаляване на емисиите и разхода на конвенционалната енергия.

Тази статия се стреми да даде подходящата насока за избор на хибридна система в контекста на конкретна ситуация.

Употребата на система слънце/вятър би могла да отговори на необходимите натоварвания, но е по-сложна по отношение на компонентите, изграждащи системата, както и необходимостта от компютърен софтуер, който има важна роля за ефективно използване на енергийната система.

Използването на хибридна слънчева/ геотермална система има по-голяма производителност в сравнение със системите с индивидуален източник на енергия. Ефективността зависи от използваните компоненти в системата. Основният недостатък е високата първоначална цена.

Хибридният слънчев PV/генератор с батерия е подходящ икономически вариант, който може да отговори на изискванията за натоварване в пусти и слабонаселени райони, но въпреки това отделя значителни количества вредни емисии в атмосферата.

Хибридна слънчева фотоволтаична/термична система се радва на значителен растеж с подобрения на вложените компоненти за повишаване на общата ефективност на системата чрез използване на съдове с фазопреобразуващ материал, за да запази ефективността на слънчевите клетки и да увеличи ползата от акумулираната топлинна енергия. Използването на хибридна фотоволтаична/термична система се оказва ефективно за посрещане на необходимите количества електрическа енергия. Основно предимство е топлинно и енергийно производство без отделяне на въглеродни емисии. [5]

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите благодарят на Фонд Научни Изследвания към Министерство на образованието и науката по „Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания на млади учени и постдокторанти – 2019 г.“ договор № КП-06-М37/2 от 06.12.201

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] K.H.M. Al-Hamed and I. Dincer, Investigation of a Concentrated Solar-Geothermal Integrated System with a Combined Ejector-Absorption Refrigeration Cycle for a Small Community, International Journal of Refrigeration, 106(2019)407–426.
- [2] Yashwant Sawle, S.C. Gupta and Aashish Kumar Bohre, PV-wind hybrid system, A review with case study, Cogent Engineering, (2016) 3, 1189305. DOI: 10.1080/23311916.2016.1189305.
- [3] Makbul A. M. Ramli, Ayong Hiendro, Sennoga Twah, Economic analysis of PV/diesel hybrid system with flywheel energy storage, Renewable Energy, 78 (2015) 398-405.
- [4] Rajesh Ka, D Kulkarnib, T.Ananthapadmanabha, Modeling and Simulation of Solar PV and DFIG Based Wind Hybrid System, Procedia Technology, 21 ( 2015 ) 667 – 675.
- [5] Mohammed Al-ktranee, Péter Bencs, Overview of the hybrid solar system

## COMBINED HYBRID SOLAR SYSTEMS

Rosen Petrov  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Sofia, Bulgaria  
e-mail:rosen\_p@yahoo.com

Denis Chikurtev  
Institute of Information and  
Communication Technologies Sofia,  
Bulgaria  
e-mail:denis.chikurtev@iict.bas.bg

**Abstract:** This article examines various applications of solar energy systems in order to determine the most appropriate based on efficiency and reliability. Due to the ever-increasing energy prices, attention is increasingly being paid to the option of alternative power supply, through hybrid systems such as solar / wind, solar / geothermal and solar / diesel systems. The study shows that hybrid systems could meet the necessary requirements to varying degrees depending on the operating conditions and components of the hybrid system. They are characterized by complexity, as well as higher initial costs.

# EARLY DESIGN OF A MECHATRONIC LAPAROSCOPIC DEVICE FOR SURGICAL TRAINING

Veronika Ivanova

Robotized and Mechatronics Intelligent  
Systems  
Institute of Robotics, Bulgaria  
Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: iwanowa.w@abv.bg

Ani Boneva

Communication Systems and Services  
Institute of Information and  
Communication Technologies,  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: ani.boneva@iict.bas.bg

**Abstract:** Laparoscopic surgery is very popular medical intervention for diagnoses and treatment of some abdominal diseases. The procedures are performed using long thin tools that are inserted through a trocar in the human body. The surgeon orients the instruments by laparoscopic images displayed on a monitor. Environment is uncertain (highly dynamic) with limited work space. The surgeon must adapt to the instruments' specifics. Guiding such an instrument is difficult and requires a lot of training and practice. This article is related to early design of a mechatronic device prototype, which main target is training of surgical skills in medical students using concepts of Medical Mechatronics and Robotics, thus will be preparing future surgeons and advanced technologies will be introduced in Surgical area.

**Keywords:** *haptics interface, human-device interaction, robotics, mechatronics, laparoscopic surgery, surgical training*

## I. INTRODUCTION

Medical applications are some of the most promising areas for mechatronics and robotic technology. There are many areas in medicine where mechatronics, robotics, haptic interfaces which can make a difference for the better. The best solution, but technically the most challenging to be made in that way the surgeons to be able to touch and feel the tissue/organs/ stones while operating- sensing device must be integrate with robot systems. Every one of this benefits will enable continued progress in surgical instrumentation and, ultimately, surgical care and patient outcome.

Laparoscopic surgery is very popular medical intervention for diagnoses and treatment of some abdominal diseases. The procedures are performed using long thin tools that are inserted through a trocar in the human body. The surgeon orients the instruments by laparoscopic images displayed on a monitor. Environment is uncertain (highly dynamic) with limited work space. The surgeon must adapt to the instruments specifics. Guiding such an instrument is difficult and requires a lot of training and practice. There is a need for appropriate devices for quick, easy and convenient training of surgical staff. One promising field in medicine is developing virtual surgical training environments.

Traditional training methods in surgery use plastic models that demonstrate to some extent human anatomy. However, these systems do not take into account the mechanical properties of living tissues, although they are relatively cheaper and reusable. Different procedures require

different models, each with a different price, as not all the necessary anatomy modules are available. Activities such as cutting and suturing require frequent changes in training patterns. Pigs are similar to human anatomy, but expensive. Corpses represent the most realistic anatomy, but tissue reactions are influenced by conservation technology. In addition, there is a limited supply of carcasses for surgical training and they are generally more expensive than plastic models and pigs. Students also spend a lot of time training and observing experienced surgeons who perform operations on real patients. After sufficient experience, the operation can be trained under the expert surgeon guidance and only after the necessary training practice the operation can be performed by the trainee.

Surgical training systems with virtual learning environments have a number of options over widely used training systems – lower price and risk reduction for the patient, flexibility and opportunity for self-training.

Training systems with a virtual environment must include different development scenarios, as there are critical procedures in each operation that the trainee must master. These critical procedures can lead to complications, and disrupt the outcome of the operation, or even endanger patients if performed incorrectly. Potentially critical procedures in a safe and structured environment must be included in the virtual environment of the training system. Like pilots trained in emergency simulators, surgeons can be trained on the unexpected complication of the operation. In such an environment, trainers can perform procedures and scenarios as needed, at no extra cost, which leads to the acquisition of basic surgical skills without risking any animals or real patients. Moreover, in order to solve new problems that continue to appear in real surgical procedures, new tools are created every day. These systems provide immediate feedback on the effectiveness of the operation, constraints and problems in introducing new tools or implementing new procedures. Modern computer technology can provide a surgical environment with its physical properties, texture and complexity, computer-based simulators can be the optimal approach to surgical training.

Commercial surgical training systems, such as, Bronchoscope Training Simulator from Fifth Dimension Technologies, Virtual Clinic from Cine-Med, Cath Sim and Endoscopy Accu Touch<sup>®</sup>R Simulator from Immersion etc. are designed with complete systems available and almost all

haptic surgical simulators have their own limit applications. They are based on the Virtual Training Environment (VTE) which has been developed at Experimental Robotics lab, Simon Fraser University [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. In spite of advances in the available commercial haptic devices, there is still a significant and surprising absence. On the other hand these systems show a high level of accuracy, haptic feedback, dexterous workspace, and performance, and suitable for training tasks. These learning systems are gaining ground as it improves students' ability to understand complex information on diseases and treatment; allows them to interact virtually of patient organs, bones, users manipulate, navigate and demonstrate patient data using gestures and hand movements. Virtual models are subject to of customization for each patient, they show how they can be changed after treatment or surgical manipulations. One experience in this direction is the design of a mechatronic laparoscopic device as part of a surgical training system. As ultimate target is training of surgical skills in medical students using concepts of Medical Mechatronics and Robotics, thus will be preparing future surgeons and advanced technologies will be introduced in surgical area.

This paper is organized in following sections: Section 2 includes trends in surgical training systems. Section 3 is referred to design of a mechatronic device for surgical training. Section 4 marks futures directions in area of surgical training and section 5 is concludes.

II. TRENDS IN SURGICAL TRAINING SYSTEMS

The training of a simulator is an established world practice for risk management. The efficiency of training a simulator to master specific types of training increases the likelihood of success in surgery by minimizing risk factors in operations and increasing safety levels.

Like some flight simulators [8, 9, 10] medical virtual environments provide a well-monitored and safe method of surgical staff training. Students and surgeons can learn new skills and training difficult and complex surgical procedures.

There are three components in training systems: The visual interface including a video screen, a computer monitor, or a variety of head-mounted displays (HMD), depending upon the visual requirements of the task being trained. The haptic interface for tactile and force feedback with suitable mechatronic device; and the tracking system to mark interaction between the virtual instruments and tissues. Visual and haptic interface, and tracking system have to work together.

Haptic device is a part of these interactive learning systems as much of the information needed to perform surgical procedures is obtained by touch. Such devices are simulators for laparoscopic procedures. The application of haptic devices into operation rooms allows surgeons to quickly and easily learn skills, to experience a sensation of touch and force feedback when there are an interaction between tool's tip and organs' patients. Haptic systems ensure the surgeon's hand and eye to work together. Haptic devices integrate the capabilities computer systems and the

surgeon's abilities. The most common optimization tasks in this systems are maximize workspace, kinematic isotropy, as well as peak force/torque provided by the device, and to minimize dynamic inertia, while avoiding singularity and the geometric joint constraints/limits.

Our decision for Haptics control in Laparoscopic surgery is given by Fig. 1. The Haptics Control System consists: Haptics control device which is direct connected with surgeon fingers and a smart instrument which interacts with a patient

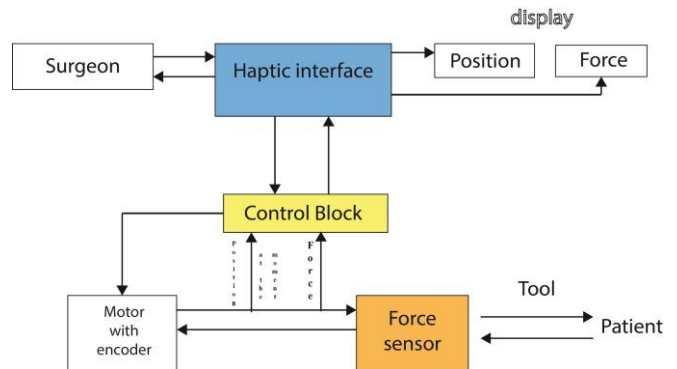


Fig. 1. Haptics control in Laparoscopic surgery

The human device interaction at this scheme is realized by Haptics control device which is in contact with the student or surgeon and instrument which interacts with the patient

$$F_{real} = f(F_{output}) \tag{1}$$

$$F_{input} - F_{feedback} = \Delta F_{input} \tag{2}$$

The force applied by the student or surgeon depends on the force of interaction tool-tissue (1). The difference between the force applied by the surgeon and force feedback received from the laparoscopic tool during the jaws –tissue interaction giving the required value adjustment of force (2).

On the Fig 2 is shown one solution for Haptic device. His functionalities are described in details in previous studies [11, 12, 13, 14].

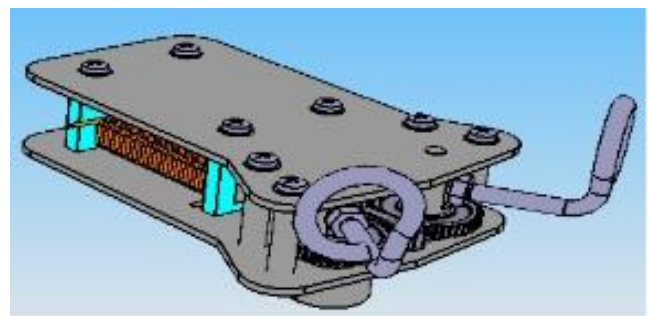


Fig. 2. Haptics control device

Since most tissues have a viscoelastic behavior that complicates the simulations with purely elastic deformations, because the strain rate must be taken into

account. Sliding, relaxation and hysteresis are deformation-rate-dependent phenomena [15, 16]. While simulating rate-dependent phenomena can have a great impact on the visual realism of simulation, the same is true for haptic devices. Simulation and training functions are one part from the architecture of application program interface, where the surgeon has the ability to training, monitor and analyze their actions and skills. One example for the architecture of application program interface with simulating and training mode are shown on Fig 3 [17]. At this scheme simulation and training tasks are program modules of the controlled processes. The surgeon has capability to training on this model before to send, by Graphical Interface and Interface modules, his commands to the real external process devices.

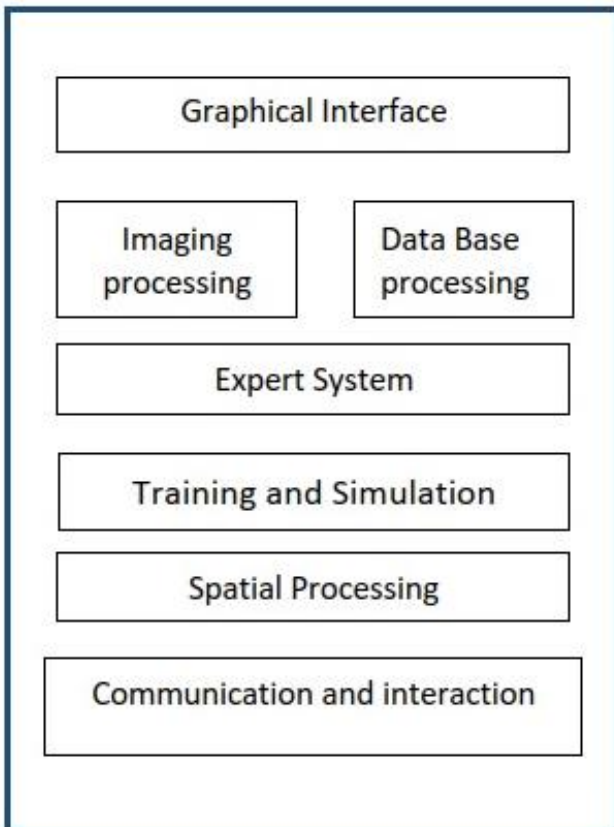


Fig. 3. Application program interface

One of the modern trends in surgical technology are augmented reality devices that allow doctors to visualize data from diagnostic and surgical procedures, which improves work efficiency and creates better conditions for training medical staff. The basic principle of AR is to superimpose a Computer Guide image on real images taken by a camera and then displayed on a computer, tablet or video projector. The main advantage is that the surgeon is not restricted to look away from the surgical site, unlike general imaging techniques. Surgeons' interest in augmented reality devices is growing, but at the same time the main shortcomings associated with these tools need to be addressed [24, 25, 26].

AR technique allows the visualization of blood vessels, nerves and vital tissues. AR increases safety and reduces the

time required to complete surgery when they are projected onto the patient. It is also possible to control the opacity of the observed images. The surgeon can concentrate on the operative field, making all areas around the area completely opaque thanks to the capabilities of HMD [27, 28].

Augmented reality is a good solution for training and assessing the skills of surgical staff and students Training simulators can be specially designed to be used to improve the skills of surgeons in different scenarios and to objectively assess their technical skills. This is suitable for developing and making the right decisions in complex situations that can otherwise only be obtained through many years of experience. Unlikely scenarios can be simulated. Compared to virtual reality (VR) simulators, where the entire simulation is involved in a CG environment. AR simulators combine real-life objects with computer-generated (CG) images, resulting in partial tactile feedback recovery. But there are a lot of problems to solve during the development of these systems.

### III. DESIGN OF ELASTIC LINKS FOR MECHATRONICS SPECIALIZED GRIPPING DEVICES

At this section is describe design of a mechatronic device as a part of system for surgical training. The development of robotics for some activities requires the use of specialized end-effectors, including gripping devices with a wide range and the ability to capture irregularly shaped bodies that are subject to manipulation.

The use of elastic deformations to grip solids of regular shape and small size is widespread [18, 19, 20]. To increase the range, as well as to meet the force-deformation and other requirements, a synthesis of more complex structures is started [21], in which the conventional connections between the units are replaced by «monolithic flexible mechanisms with integrated actuators». Other principles of combining active actuator materials are also shown [22, 23, 24, 25, 26]. The possibilities of these approaches to achieve more significant displacements and hence a wider range of the seamstress are severely limited. The present work proposes the use of elastic links for gripping of objects with irregular geometric shape, in which the required gripping force and adaptation to the shape is obtained at the expense of mechanically induced normalized elastic deformation.

#### Elastic executive links for specialized grippers.

The structural synthesis of grippers with elastic actuators allows two approaches. The first is based on the known conventional structures of mechanical grippers with rigid actuators, the latter being replaced by appropriately selected elastic and contact parts for the object or group of objects to be gripped. In this case, the synthesis is associated primarily with the appropriate choice and adaptation of the structure to the characteristics of the elastic units and the ability to connect with others (solids). The second approach involves the synthesis of new structures, in accordance with the fact that the elastic units move at the expense of elastic deformations caused by the action of active forces. Possible solutions can be sought in elementary (containing in the contour providing displacement one elastic link) and composite (more than one elastic link). Morphology should

be developed on the basis of normally closed (opened by active external force and controlled removal ensures the capture of the object) and normally open (capture is carried out under the action of controlled external force). An exemplary solution of an elementary normally open structure is shown in Fig. 4 a. and Fig. 4 b.

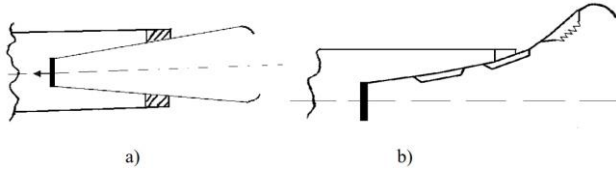


Fig. 4. Possibilities for realization of elastic links with a normally open structure

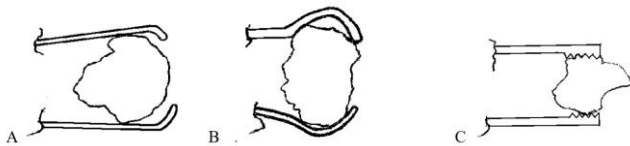


Fig. 5. Contact parts when grasping - A, B, and gripping - C of the object

The object may be grasped or gripped. On the Figure 5 are shown contact parts when object is grasping - A, B and gripping - C.

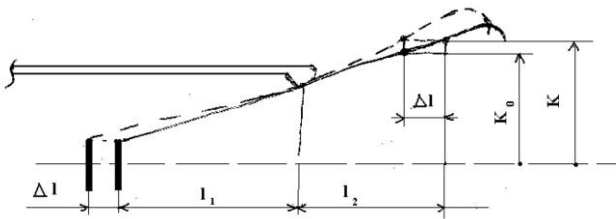


Fig. 6. Deformation of an elastic link after gripping the object

On Fig. 6 is shown deformation of an elastic link after gripping the object.

The structure is shown by the elastic link along the length with a constant and variable cross section. In cross section rectangular or part of a cylinder. The cross-sectional variable is selected with a preliminary shape that gradually increases the range. In order to realize the capture, two executive units are needed for more precise coverage of the site (in this case three or four symmetrically located ones are easily realized). Another important point of the structure is the choice of contact parts, and they in turn depend on whether the object will be covered (the whole object is between the executive rings) or caught (part of the object is outside the contact parts). The initial position is related to the full opening of the gripper. The angle of inclination of the elastic link is  $\alpha$  and it is maintained until the contact zone meets, which is marked by the length  $l_0$ . Further displacement of the elastic unit is associated with elastic deformations, the occurrence of normal and tangential forces. The object is in the area of the gripper and contact with it occurs at a current value of  $l$ .

The required driving force  $F_d$  before contact with the object and provided that the catcher has three executive units is determined:

$$F_d = 3R_n(\sin\alpha + \mu\cos\alpha), \tag{3}$$

Where:

$R_n$  is the normal component of the reaction at the contact point,

$\mu$  - Coefficient of friction,

$\alpha$  - Current angle.

The current angle  $\alpha$  is found by the geometric dependence on:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{R-r}{l}\right), \tag{4}$$

Where  $R$  is the distance (radius) from the axis of symmetry to the contact point of the enclosing tube,  $r$  is the distance (radius) from the axis to the beginning of the suspension of the elastic link.

If a rectangular cross-section of the elastic unit, which is a beam at one end, is assumed, the normal component of the reaction is calculated:

$$R_n = \frac{3EJ_z}{l^3} (l-l_0) \sin\alpha \tag{5}$$

Where  $E$  is the modulus of elasticity of the material from which the elastic unit is made,  $J_z$  - moment of inertia of the cross section.

If the current value  $l = l_1$  is taken as the beginning of contact with the object, the calculation of the normal component of the gripping force is associated with additional displacement of the link and additional deformation at the second contact point. At the beginning of contact with the object, the radial distance  $k_0$  is determined:

$$k_0 = (l_1 + l_2) \sin\alpha + r \tag{6}$$

The final  $k$ , when the object is securely gripped, is determined by the force equality:

$$3\mu F_{xv}^n = F_\alpha, \tag{7}$$

Where  $F_\alpha$  is the force of action on the object (most often it is the gravitational and inertial force  $F_\alpha = m(g + a)$ , as an unfavorable case is when it is on the axis of the gripper in the opposite direction to the motor).

In expression (5) it is assumed that the catcher has three executive units and the forces (normal and friction) are the same. Taking into account that it is provided by elastic deformations of the unit, for the required real distance  $k$  is obtained from:

$$k = k_0 + \frac{m(g+a)l_2^3}{9\mu EJ_z}, \tag{8}$$



The ratio between the lengths  $l_1$  and  $l_2$  changes, but since these are small values, they are neglected. The required driving force for 3 executive links, equally deformed, is calculated from:

$$F_d = 3[R_n(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) + F_{XV}^n (\sin(\alpha + \Delta\alpha) + \mu\cos(\alpha + \Delta\alpha))], \quad (9)$$

Where

$$\Delta\alpha = \arctg\left(\frac{k - k_0}{l_0}\right)$$

When the driving force is obtained by means of a screw mechanism which converts rotational motion into rectilinear motion, the required driving torque of the screw is calculated from:

$$M_v = F_d * \frac{d_{sr}}{2} \operatorname{tg}\gamma, \quad (10)$$

Where  $\gamma$  is the angle of inclination of the thread

The torque of the engine in the presence of a reduction with gear ratio  $i_p$  is found by:

$$M_d = \frac{M_v}{i_p}, \quad (11)$$

The angular speed of the engine is selected according to the required gripping speed, taking into account the available (manufactured) engines.

To ensure reliable gripping of the object, rounding of the edges is provided and in case of possible slipping, a new contact point and force is formed, which restricts the movement and favors the gripping. In case the object is not covered, it is expedient to develop shapes of contact parts according to the desired gripping schemes for a group of objects. Exemplary diagram is shown in Fig.5.

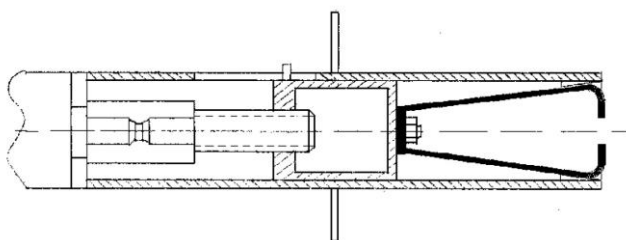


Fig. 7. A designed mechatronic device for surgical training

In order to obtain information about the contact of the working tools with the objects in the working space and to assess the structure of the individual tissues, it is appropriate to use tactile sensors built into the end effectors of the mechatronic device. Sensors are usually used to detect the presence or absence of an object, while analog sensors provide information about the properties of the object. The tactile sensor is a recording device, the output signal of

which is proportional to the applied force. The proposed design of mechatronic laparoscopic device for surgical training system is comprised of light and stiff materials (such as aluminum and high-density photopolymer) and compact elements to obtain appropriate stiffness to weight ratio and reduce the mass inertia/friction

#### IV. FUTURE DIRECTIONS

Future direction will included an attempt for application of an experimental control system for the designed mechatronic device that should be suitable for training both surgical staff and medical students. Training tasks will be developed that will aim at acquiring skills for laparoscopic surgery. The program will keeps the information about the performed experiments for each student. Everyone student's information has to be stored in a directory with a name based on personal faculty number is created. Everyone a student can search the database for the information recorded for him, which he can save on a flash drive, etc. Tutors have the highest level of access and have access to each student's folders. It is envisaged that the database will also contain information about the exams conducted and the grades. Means for information protection are envisioned so that each student has access to the system with a user name and password.

#### V. CONCLUSIONS

This study presents our efforts of improving some technical side of laparoscopic surgery, Design of a model of a mechatronic device with elastic links for irregular objects manipulating is proposed. A variant with 3 executive links is chosen to optimize the engineering characteristics of the tools. Prerequisite for achieving better adaptability to the shape of the manipulated objects. The proposed design of mechatronic laparoscopic device for surgical training system is comprised of light and stiff materials (such as aluminum and high-density photopolymer) and compact elements to obtain appropriate stiffness to weight ratio and reduce the mass inertia/friction. Main target is design of a mechatronic device for training of surgical skills in medical students using concepts of Medical Mechatronics and Robotics, thus will be preparing future surgeons and advanced technologies will be introduced in Surgical area.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research is partially supported by the Bulgarian FNI fund through the project "Modeling and Research of Intelligent Educational Systems and Sensor Networks (ISOSeM)", contract КП-06-H47/4 from 26.11.2020.

#### REFERENCES

- [1] V. Lahanas, Evangelos Georgiou and Constantinos Loukas, "Surgical Simulation Training Systems: Box Trainers, Virtual Reality and Augmented Reality Simulators", International Journal of Advanced Robotics and Automation, 1(2), DOI: 10.15226/2473-3032/1/2/00109, 2016, pp. 1-9
- [2] Bronchoscope Training Simulator from Fifth Dimension Technologies <https://5dt.com/>, <http://www.5dt.com/downloads/5dtsw/VRPDSDataSheet.pdf> (last accessed 2022/03/10)
- [3] Cine-Med - <https://cine-med.com/> (last accessed 2022/03/10)

- [4] [https://easy-rob.com/fileadmin/Userfiles/learnrobotics\\_virtual\\_training\\_environment.pdf](https://easy-rob.com/fileadmin/Userfiles/learnrobotics_virtual_training_environment.pdf) (last accessed 2022/03/10)
- [5] C. A. Cois, J. Beckwith, J. Wrubel and J. Herrman, "VTE: The Virtual Training Environment Advanced Virtual Lab Authoring and Delivery", In Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Supported Education, DOI: 10.5220/0002779102080214, SciTePress, 2010, pp. 208-214.
- [6] P. Mørkeberg Nilsson, Therese Maria Henriette, Naur Paul Frost Clementsen and Lars Konge, "Simulation in bronchoscopy: current and future perspectives", Medical Education and Practice 2017:891.101.72.56 on 10-Nov-2017M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [7] CathSim and Endoscopy AccuTouch® Simulator from Immersion, [http://www.pmchk.com.hk/upload/CathSim\\_brochure\\_jul05.pdf](http://www.pmchk.com.hk/upload/CathSim_brochure_jul05.pdf) (last accessed 2022/03/10)
- [8] S. Stavrev and D. Ginchev, "Towards a common platform simulator for European armored combat vehicles using a modular software architecture", Published in: 2021 International Conference on Military Technologies (ICMT), 8-11 June 2021, Brno, Czech Republic, IEEE Xplore, Electronic ISBN:978-1-6654-3724-0, DOI: 10.1109/ICMT52455.2021.9502787, 2021, pp. 1-5
- [9] J. Vidakovic, M. Lazarevic, V. Kvrjic, I. Vasovic Maksimovic and A. Rakic, "Flight Simulation Training Devices: Application, Classification, and Research", International Journal of Aeronautical and Space Sciences, 22(4), DOI:10.1007/s42405-021-00358-y, 2021, pp. 874-885.
- [10] I. Koblen and J. Kováčová, "Selected information on flight simulators - main requirements, categories and their development, production and using for flight crew training in the both Slovak Republic and Czech Republic conditions", Journal: INCAS Bulletin, ISSN 2066-8201, Vol. 4, Issue: 3, DOI: 10.13111/2066-8201.2012.4.3.7, 2012, pp.73-76.
- [11] V. Ivanova, K., Koleva, R., Mihailov and I. Beniozef, "Family tools for robot -assisted laparoscopy", Proceedings in Manufacturing Systems, Romanian Academy Publishing House , Vol.7, Issue 4, ISSN 2067-9238., 2012, pp. 205 -210.
- [12] V. Ivanova, K., Koleva, R., Mihailov and I. Beniozef, "Family tools for robot -assisted surgery", Proceedings in Manufacturing Systems, Romanian Academy Publishing House , Vol.8, Issue 2, ISSN 2067-9238., 2013, pp 117 -122.
- [13] V. Ivanova, Dobrinov V., K.Koleva. and R Mihaylov., "Modular Mechatronic Microsurgery System", Technical University Publishing House -Sofia, ISSN 1313-1850, 2008, pp. VI 9-VI-12.
- [14] V. Ivanova, "Tools for Haptics System in Laparoscopic Surgery", Proc. of the XXI MHTK „АДП-2012”, Technical University Publishing House -Sofia, ISSN 2682- 9584, 2012, pp. 396-400
- [15] Yuan-Cheng, Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues. Springer-Verlag, New York. ISBN 978-1-4757-2257-4, <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2257-4>, 1993, pp. 1-568.
- [16] V. Ivanova, D. Batchvarov and A. Boneva, "A Smart Laparoscopic Instrument with Different Application", International Journal of Bioautomation. ISSN: 1314-2321 (on-line) 1314-1902 (print), Publisher: Institute of Biophysics and Biomedical Engineering at the Bulgarian Academy of Sciences, Vol. 24, Issue 4, DOI: 10.7546/ijba.2020.24.4.000723, 2020, pp. 403 - 417
- [17] D. Bachvarov., Ivanova V., Ilcheva Z., Boneva A. and Baruh N., "Technology for Implementation of Operating Station with TCL-TK Based Structures. Applications", International Scientific Journal INDUSTRY 4.0, ISSN (PRINT) 2543-8582, WEB ISSN 2534-997X, Year III, Vol. 3, ISSUE 1|2018, Publ. Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry- 4.0, Sofia, Bulgaria, pp. 7-10.
- [18] P. R. Ouyang, R. C. Tjijtoprodjo, W. J. Zhang and G. S. Yang, "Micro-motion devices technology: The state of arts review", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 38, DOI 10.1007/s00170-007-1109-6, 2007, pp. 463-478
- [19] O. Millet, P. Bernardoni, S. Regnier, Bidaud P, D. Collard and L. Buchailot, "Micro gripper driven by SDAs coupled to an amplification mechanism", TRANSDUCERS '03. 12th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems. Digest of Technical Papers IEEE, Boston, MA, USA, Print ISBN:0-7803-7731-1, Vol.1, DOI: 10.1109/SENSOR.2003.1215307, IEEE, 2003, pp. 1-6.
- [20] P. Bernardoni, Alain Riwan, Hellie Tsitsiris, Olivier Millet, Lionel Buchailot, Stephane Regnier and Philippe Bidaud, "From the mechanical analysis of a polyarticulated microgripper to the design of a compliant microgripper", Proc. SPIE 5383, Smart Structures and Materials 2004: Modeling, Signal Processing, and Control, DOI:<https://doi.org/10.1117/12.539526> , 2004, pp. 469-477.
- [21] O. Millet, P. Bernardoni, S. Régnier, P. Bidaud, E. Tsitsiris, D. Collard and L. Buchailot, "Electrostatic actuated micro gripper using an amplification mechanism", Sensors and Actuators A Physical, 114 (2), Elsevier, DOI:10.1016/j.sna.2003.11.004, 2003, pp. 371-378
- [22] K. Kim, E. Nilsen, Huang, T. M. Ellis and G. Skidmore, "Metallic microgripper with SU-8 adaptor as end-effectors for heterogeneous micro/nano assembly applications, Microsystem Technologies, 10, <https://doi.org/10.1007/s00542-004-0367-6>, 2004, pp. 689-693
- [23] A. Menciassi, A. Eisenberg, M. Mazzone and P. Dario, "A sensorized /spl mu/electro discharge machined superelastic alloy microgripper for micromanipulation: simulation and characterization", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Lausanne, Switzerland, Print ISBN:0-7803-7398-7, Vol. 2, DOI: 10.1109/IRDS.2002.1043982, 2002, pp.1-10.
- [24] M. Cohn, Karl F. Böhringer, J. Mark Noworolski, Angad Singh, Chris G. Keller, Ken Y. Goldberg and Roger T. Howe, Microassembly technologies for MEMS., In: Proc SPIE Micromachining and Microfabrication Process Technology, Vol. 3515, DOI: 10.1117/12.322082, 1998, pp. 2-16.
- [25] M. Ellis, Skidmore, G., Geisberger, A., Tsui, K., Sarkar, N. and Randall, J., "Microfabricated Silicon Mechanical Connectors and Micro Assembly", NanoTech 2002 - "At the Edge of Revolution." DOI:10.2514/6.2002-5721, Houston, 2002, pp. 1-7.
- [26] S. Kota , Lu K., Kreiner Z., Trease B., Arenas J. and Geiger J., "Design and Application of Compliant Mechanisms for Surgical Tools", Journal of Biomechanical Engineering ., Vol. 127(6), DOI: 10.1115/1.2056561., 2005, pp. 981-989.
- [27] G. Humm, Rhiannon L. Harries, Danail Stoyanov and Laurence B. Lovat, "Supporting laparoscopic general surgery training with digital technology: The United Kingdom and Ireland paradigm", BMC Surg, 21, ISSN: 1471-2482, DOI <https://doi.org/10.1186/s12893-021-01123-4>, 2021, pp. 1-13
- [28] J. Hua, Kenneth Holton, Assia Miller, Isaac Ibikunle, Christian Cruz Pico, Angelina Postoev and Alade Christopher Ibikunle, "Augmented Reality and Its Role in Abdominal Laparoscopic Surgical Training", Journal of Health Education Research and Development, ISSN: 2380-5439, Volume 7, Issue 1, 1000295, 2019, pp. 1-7..

# A CONCEPTUAL GENERALIZED NETS MODEL FOR CHECKING THE ACCESSIBILITY OF WEBSITES AND MOBILE APPLICATIONS

Joanna Alexieva  
 State E-Government Agency  
 Sofia City, Bulgaria  
 e-mail: jalexieva@gmail.com

Pancho Tomov  
 Technical University  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: pkt@tu-sofia.bg

**Abstract:** The research presented in this article is a continuation of previous research for verifying websites and mobile applications. Due to the topicality of the topic of accessibility of online content by a large number of users, the process is described in terms of Generalized net theory, which is a convenient and appropriate tool for modeling. The presented model can be used both to describe the main activities and connections between them and for simulations to improve the work process.

**Keywords:** Generalized net, modeling, work process, checking websites and mobile applications

## I. INTRODUCTION

In today's digital world, it is essential to provide access to online content to the maximum number of users, including people with disabilities. Access to the content of websites and mobile applications is facilitated when the various accessibility criteria set out in the harmonized standard are met [1]. Obligor at the national level who need to make their websites and mobile applications accessible are administrative bodies and organizations that provide public services. In each European country, the administration must monitor compliance with these requirements and report annually to the European Commission in a specific order and within a specified period [2]. The workflow should be structured in such a way as to allow quick and easy updating of accessibility criteria, URL lists, and experts. Also to have quick and easy access to the results of the performed inspections, to summarize and analyze them, and monitor the effectiveness of the inspections. Referring to the basic accessibility requirements and experience from the first year of inspections in the Republic of Bulgaria, the work process for verification of websites and mobile applications, including the main stages of activity is graphically described in [3]. As the scheme does not describe the conditions for the occurrence of an event, the conditions for decision-making, etc., the Generalized Nets theory is selected as a suitable modeling tool.

This article presents the graphical structure of the work process for verification of websites and mobile applications, using the Generalized nets (GN) theory [4, 5, 6, 7].

## II. SHORT REMARKS ON GENERALIZED NETS THEORY

The use of GN in describing the various activities and the links between them facilitates the rapid updating of information and the allocation of resources by task. Generalized nets represent a significant extension and generalization of the concept of Petri nets [8], as well as of

other Petri nets extensions and modifications [9]. Transition in the context of generalized nets (Fig.1) is an object from the static structure of the net, which comprises the conditions of tokens' transfer from the transition's input places to its output places.

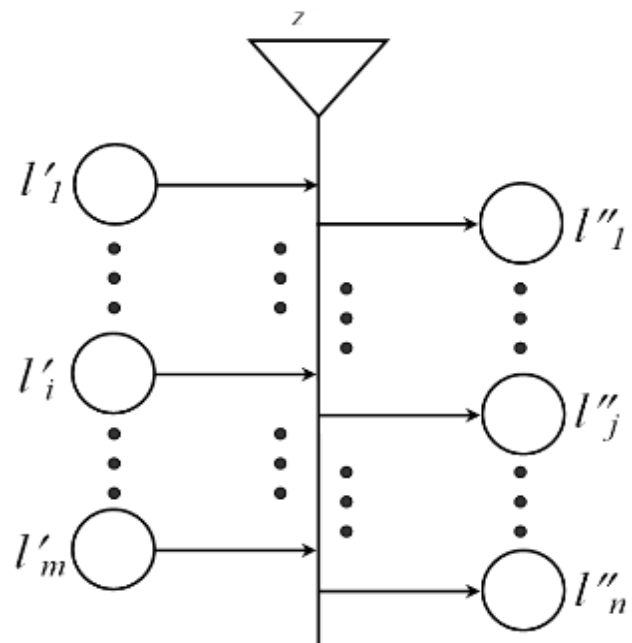


Fig. 1. Transition of Generalized net

The basic building elements of GNs are transitions, places, tokens, and predicate matrices. In this paper is used the reduced GNs, and every transition is described by a 4-tuple:

$$Z = \langle L', L'', r, \square \rangle$$

where:

$L', L''$  are finite, non-empty sets of places: the transition's input and output places, respectively.

$r$  is the transition's condition, determining which tokens will transfer from the transition's inputs to its outputs. The parameter has the form of an index matrix (Fig. 2):

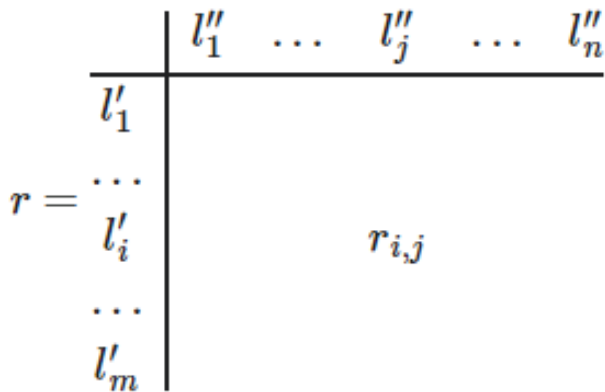


Fig. 2. Index matrix

where  $r_{i,j}$  are predicates,  $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ .

$\square$  is called transition's type, an object having a form similar to a Boolean expression. It may contain as variables the symbols that serve as labels for transition's input places, and it is an expression constructed of variables and the Boolean connectives  $\wedge$  and  $\vee$  determining the following conditions:

$\wedge(l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu})$  - each of the places  $l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu}$  must contain at least one token,

$\vee(l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu})$  - there must be at least one token in the set of places  $l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu}$  where  $\{l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{iu}\} \subset L'$

When the value of a type (calculated as a Boolean expression) is "true", the transition can become active, otherwise, it cannot.

The use of OM for modeling is preferred because of the advantages (which are and differences) that generalized nets [6] have compared to Petri nets [7], namely:

- The tokens enter the GN with initial characteristics, and during their movement, they receive the next ones and thus accumulate their history.
- The relationship between positions and transitions in GN. Each transition contains  $m$  input and  $n$  output positions, where the natural numbers  $m, n \geq 1$ .
- The indexed matrix – is an important component in the description of each transition.
- The time of the duration of the GN functioning.

The main idea of GNs is to show the movement of virtual tokens among the transitions of the net (from input to output places or sometimes vice versa), satisfying the conditions of the predicate matrices and keeping track of the obtained tokens' characteristics.

### III. GENERALIZED NET MODEL OF CHECKING WEBSITES AND MOBILE APPLICATIONS FOR ACCESSIBILITY

The structure of the work process for the checking websites and mobile applications for accessibility is described in [3]. The key activities of the process that have been identified are the next:

- Checks for accessibility of the content of the web pages and mobile applications;

- Exemption from obligations;
- Filing complaints and alerts;
- Reporting the results of each monitoring period to the EC.

A GN may lack some of the components, and such GNs give rise to special classes of GNs called reduced GNs [5]. This paper is presented the GN-model of the checking process using reduced GN. The graphical structure of the GN-model is shown in Fig. 3 and includes 8 transitions and 29 places, of which 6 inputs and 1 output.

The GN contains the following set of transitions A:

$$A = \{z1, z2, z3, z4, z5, z6, z7, z8\},$$

Which describes the following processes:

- $z1$  – Requirements for accessibility
- $z2$  – List of URLs
- $z3$  - Checking for accessibility
- $z4$  - Assessment of severity (Exemption from obligations)
- $z5$  - Receiving complaints and alerts
- $z6$  - Database
- $z7$  - Preparation of a report to the EU
- $z8$  – Preparation of letters to the organizations with the results of the inspections

The tokens entered in the input places with initial characteristics, as follows:

- $l1$  – new requirement for a checking
- $l4$  – new URL address
- $l12$  – letter for exemptions from obligations
- $l17$  – complaint/alerts
- $l24$  – EC term for a report
- $l27$  – new correspondence contacts

After each transition, the tokens gain new characteristics, some of them merge, and/or split. For example:

- in places  $l2$  and  $l3$  are the updating checklist with accessibility requirements;
- in places from  $l5$  to  $l8$  – updating URLs list;
- in places from  $l9$  to  $l11$  representing a completed checklist with the results of the inspection for the corresponding URL;
- in places  $l20$  and  $l21$  – a signals/alerts with the corresponding decision for URL;
- in places  $l22$  and  $l21$  – checklists with the results from all inspections and signals/alerts;
- in places  $l25$  and  $l26$  – Report for the EU;

At the end of the process, there is 1 output token ( $l28$ ) with a characteristic Letter with the results from the checking or report to EC.

At the beginning of each year, the number of websites and mobile applications to be inspected and the experts who will carry out the inspections are determined. The inspection period is the first 10 months of each year. The inspection is carried out according to a pre-arranged schedule. A report with an analysis of the results at the end of the year is prepared for the EC. Letters with complaints and alerts and/or letters of discharge are received throughout the year and distributed for inspection by the same experts.

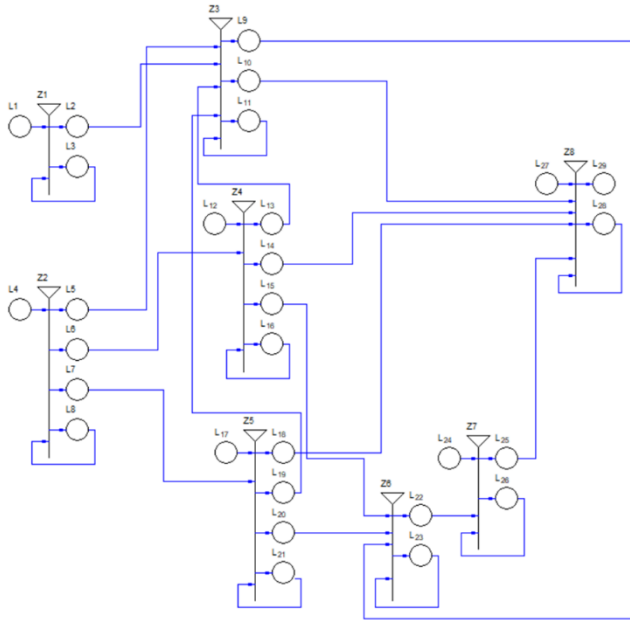


Fig. 3. GN-model of the work process

The GN model described discrete and parallel events during the process of checking websites and mobile applications. The elements of the model, such as transitions, index matrixes, and predicates are presented in Table. 1.

IV. CONCLUSIONS

The presented GN-model can be used to simulate and control the real process for checking web content and serve as an algorithm for information system development. Also, the GN model can be used for planning activities and resources, and management control. In case of new execution conditions or changes arise, regulatory and/or technological, the flexibility of GNs allows easy model modifications and data updates.

The benefits of the model are as follows:

- Visualization of the main process;
- Improving planning and management.
- Defining the main activities and processes that can be implemented in the system;
- Defining the modules that can be implemented in the system;
- An easier reflection of changes resulting from changes in regulations;
- Better communication between the participants related to the implementation of the information system;

- Supporting the efficient allocation of resources and time related to site/mobile application verification.

TABLE 1 DESCRIPTION OF THE GN MODEL

No	Transition	Index matrix and Predicates																								
1	$Z_1 = \langle \{l_1, l_3\}, \{l_2, l_3\}, r_1, \vee(l_1, l_3) \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_2</math></th> <th><math>l_3</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_1</math></td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_3</math></td> <td>True</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>		$l_2$	$l_3$	$l_1$	False	True	$l_3$	True	True															
	$l_2$	$l_3$																								
$l_1$	False	True																								
$l_3$	True	True																								
2	$Z_2 = \langle \{l_4, l_8\}, \{l_5, l_6, l_7, l_8\}, r_2, \vee(l_4, l_8) \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_5</math></th> <th><math>l_6</math></th> <th><math>l_7</math></th> <th><math>l_8</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_4</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_8</math></td> <td>True</td> <td>True</td> <td>True</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>		$l_5$	$l_6$	$l_7$	$l_8$	$l_4$	False	False	False	True	$l_8$	True	True	True	True									
	$l_5$	$l_6$	$l_7$	$l_8$																						
$l_4$	False	False	False	True																						
$l_8$	True	True	True	True																						
3	$Z_3 = \langle \{l_5, l_2, l_{13}, l_{19}, l_{11}\}, \{l_9, l_{10}, l_{11}\}, r_3, \vee(l_5, l_2, l_{13}, l_{19}), \wedge(l_{11}) \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_9</math></th> <th><math>l_{10}</math></th> <th><math>l_{11}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_5</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_2</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{13}</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{19}</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{11}</math></td> <td>True</td> <td>True</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>		$l_9$	$l_{10}$	$l_{11}$	$l_5$	False	False	True	$l_2$	False	False	True	$l_{13}$	False	False	True	$l_{19}$	False	False	True	$l_{11}$	True	True	True
	$l_9$	$l_{10}$	$l_{11}$																							
$l_5$	False	False	True																							
$l_2$	False	False	True																							
$l_{13}$	False	False	True																							
$l_{19}$	False	False	True																							
$l_{11}$	True	True	True																							
4	$Z_4 = \langle \{l_{12}, l_5, l_{16}\}, \{l_{13}, l_{14}, l_{15}, l_{16}\}, r_4, \wedge(l_{12}, l_5, l_{16}) \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_{13}</math></th> <th><math>l_{14}</math></th> <th><math>l_{15}</math></th> <th><math>l_{16}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_{12}</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_5</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{16}</math></td> <td><math>W_{16,13}</math></td> <td><math>W_{16,14}</math></td> <td><math>W_{16,15}</math></td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table> <p> <math>W_{16,13}</math> = "They are not released from obligations and an inspection follows"  <math>W_{16,14}</math> = "They are released from obligations"  <math>W_{16,14} = W_{16,15}</math>  <math>W_{16,13} = \neg W_{16,14}</math> </p>		$l_{13}$	$l_{14}$	$l_{15}$	$l_{16}$	$l_{12}$	False	False	False	True	$l_5$	False	False	False	True	$l_{16}$	$W_{16,13}$	$W_{16,14}$	$W_{16,15}$	True				
	$l_{13}$	$l_{14}$	$l_{15}$	$l_{16}$																						
$l_{12}$	False	False	False	True																						
$l_5$	False	False	False	True																						
$l_{16}$	$W_{16,13}$	$W_{16,14}$	$W_{16,15}$	True																						
5	$Z_5 = \langle \{l_{17}, l_7, l_{21}\}, \{l_{18}, l_{19}, l_{20}, l_{21}\}, r_5, \wedge(l_{17}, l_7, l_{21}) \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_{18}</math></th> <th><math>l_{19}</math></th> <th><math>l_{20}</math></th> <th><math>l_{21}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_{17}</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_7</math></td> <td>False</td> <td>False</td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{21}</math></td> <td><math>W_{21,18}</math></td> <td><math>W_{21,19}</math></td> <td>True</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table> <p> <math>W_{21,18}</math> = "The site/mobile application is not subject to verification"  <math>W_{21,19}</math> = "The site/mobile application is a subject to verification"  <math>W_{21,18} = \neg W_{21,19}</math> </p>		$l_{18}$	$l_{19}$	$l_{20}$	$l_{21}$	$l_{17}$	False	False	False	True	$l_7$	False	False	False	True	$l_{21}$	$W_{21,18}$	$W_{21,19}$	True	True				
	$l_{18}$	$l_{19}$	$l_{20}$	$l_{21}$																						
$l_{17}$	False	False	False	True																						
$l_7$	False	False	False	True																						
$l_{21}$	$W_{21,18}$	$W_{21,19}$	True	True																						
6	$Z_6 = \langle \{l_{15}, l_{20}, l_9, l_{23}\}, \{l_{21}, l_{23}\}, r_6, \vee(l_{15}, l_{20}, l_9, l_{23}) \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_{22}</math></th> <th><math>l_{23}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_{15}</math></td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{20}</math></td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_9</math></td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{23}</math></td> <td>True</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>		$l_{22}$	$l_{23}$	$l_{15}$	False	True	$l_{20}$	False	True	$l_9$	False	True	$l_{23}$	True	True									
	$l_{22}$	$l_{23}$																								
$l_{15}$	False	True																								
$l_{20}$	False	True																								
$l_9$	False	True																								
$l_{23}$	True	True																								
7	$Z_7 = \langle \{l_{24}, l_{22}, l_{26}\}, \{l_{25}, l_{26}\}, r_7, \vee(l_{24} \wedge (l_{22}, l_{26})) \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_{25}</math></th> <th><math>l_{26}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_{24}</math></td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{22}</math></td> <td>False</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td><math>l_{26}</math></td> <td>True</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>		$l_{25}$	$l_{26}$	$l_{24}$	False	True	$l_{22}$	False	True	$l_{26}$	True	True												
	$l_{25}$	$l_{26}$																								
$l_{24}$	False	True																								
$l_{22}$	False	True																								
$l_{26}$	True	True																								
8	$Z_8 = \langle \{l_{27}, l_{10}, l_{14}, l_{18}, l_{25}, l_{28}\}, \{l_{28}, l_{29}\}, r_8, \vee(l_{27}, l_{10}, l_{14}, l_{18}, l_{25}), \wedge l_{28} \rangle$	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>l_{28}</math></th> <th><math>l_{29}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>l_{27}</math></td> <td>True</td> <td>False</td> </tr> <tr> <td><math>l_{10}</math></td> <td>True</td> <td>False</td> </tr> <tr> <td><math>l_{14}</math></td> <td>True</td> <td>False</td> </tr> <tr> <td><math>l_{18}</math></td> <td>True</td> <td>False</td> </tr> <tr> <td><math>l_{25}</math></td> <td>True</td> <td>False</td> </tr> <tr> <td><math>l_{28}</math></td> <td>True</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>		$l_{28}$	$l_{29}$	$l_{27}$	True	False	$l_{10}$	True	False	$l_{14}$	True	False	$l_{18}$	True	False	$l_{25}$	True	False	$l_{28}$	True	True			
	$l_{28}$	$l_{29}$																								
$l_{27}$	True	False																								
$l_{10}$	True	False																								
$l_{14}$	True	False																								
$l_{18}$	True	False																								
$l_{25}$	True	False																								
$l_{28}$	True	True																								

## REFERENCES

- [1] ETCЕ, “EN 301 549 V2.1.2, Harmonized European Standard Accessibility requirements for ICT products and services”, 2018, Available at: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/301500\\_301599/301549/02.01.02\\_60/en\\_301549v020102p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/02.01.02_60/en_301549v020102p.pdf), [accessed on 09.08.2021].
- [2] EU, “Directive (EU) 2016/2102 of the European Parliament and of the Council of 26 October 2016 on the accessibility of the websites and mobile applications of public sector bodies”, 2016, Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016L2102>, [accessed on 26.05.2021].
- [3] Alexieva, J., Tomov, P., 2021, Improving the work process for checking websites and mobile applications, VI International Conference on High Technology for Sustainable Development, (HiTech), IEEE, Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9614217>, [accessed on 15.03.2022].
- [4] Atanassov, K., On Generalized Nets Theory, 2007, Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, Sofia.
- [5] [5] Atanassov, K., On Generalized net complexity, 2009, Annual of “Informatics” Section, Union of Scientists in Bulgaria, Vol. 3, 31-37.
- [6] Alexieva, J., Choy, E., Koycheva, E., 2007, Review and bibliography on generalized nets theory and applications. In: Choy, E., Krawsczak, M., Shannon, A., Szmidt, E. (eds.) A Survey of Generalized Nets. Raffles KvB Monograph No. 10.
- [7] Atanassov, K., Sotirova, E., Generalized Nets, 2017, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences.
- [8] T. Murata, 1989, Petri Nets: Properties, Analysis, and Applications, an invited survey paper, Proceedings of the IEEE, Vol.77, No.4 pp.541-580. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/24143>, [accessed on 14.03.2022].
- [9] Gonca Tuncel & G. Mirac Bayhan, Applications of Petri nets in production scheduling: a review, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology volume 34, pages762–773, 2007, Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-006-0640-1>, [accessed on 14.03.2022].

## ОСОБЕНОСТИ НА СОФТУЕРНО ОСИГУРЯВАНЕ НА КВАДРАКОПТЕР МИ-845

Снежана Николова  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: snej98\_@abv.bg

Мартин Симеонов  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: martigtobg@abv.bg

Мартин Камбушев  
ВВВУ „Георги Бенковски“  
Долна Митрополия, България  
e-mail: m\_kambushev@yahoo.com

**Резюме:** Настоящата статия представлява описание на софтуера и етапите, през които се преминава, при разработването и реализирането на автопилот на безпилотен летателен апарат. Разгледани са трите основни етапа при разработване на софтуер за квадрокоптер.

**Ключови думи:** квадрокоптер, софтуер, сензор, MPU - 6050, Electric Speed Controllers (ESCs), приемник, дистанционно радиоуправление, ПИД контролер, Arduino Uno, електродвигател (6 ключови думи макс)

### I. ОСОБЕНОСТИ НА КВАДРАКОПТЕР МИ-845

За разработката на квадрокоптера е използван контролер Arduino Uno и сензор MPU -6050.

Контролерите Arduino представляват микроконтролерни развойни платки с отворен код, базирани на принципа „лесен за използване“ хардуер и софтуер. Те взаимодействат с външното им обкръжение чрез различни сензори, бутони, електромотори, светодиоди и други, което позволява създаването на широк набор от приложения. Голямо предимство на Arduino е, че конекторите им са стандартни (като например USB), което позволява лесно свързване с други устройства и системи. Най-често използваната при Arduino среда за разработка е Arduino IDE, среда за програмиране, позволяваща писане на програми за Arduino на опростен език. Конструирана е така, че да улесни програмирането от хора, които не са запознати с писането на софтуер[4].

Сензорът MPU 6050 се състои от 3-осев акселерометър и 3-осев жирокоп. Има вграден 16-битов хардуерен аналогово – цифров преобразувател (DMP) за всеки канал, което го прави много прецизен. По тази причина може да се обработва едновременно информацията постъпваща по трите оси  $x, y, z$ . Използва се I<sup>2</sup>C интерфейс за връзка с микроконтролер.

### II. ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ НА КВАДРАКОПТЕР МИ-845

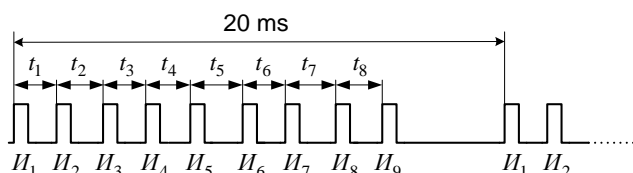
Софтуерът осигуряващ работоспособността на квадрокоптера се състои от три части.

#### A. I част.

В тази част се осигурява взаимодействието между отделните компоненти и първоначалните настройки.

- Проверява се наличието на сигнал от радио-приемника. Използваното дистанционно управление използва с PPM модулация на сигнала. Както е

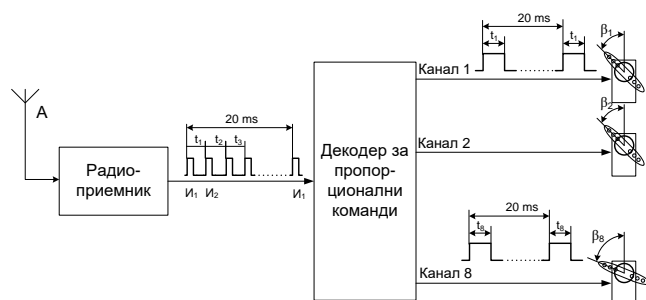
известно, при работа с PPM, информацията за ъгъла на отклонение на изпълнителния механизъм, се съдържа във времето между два импулса от предавания пакет (Фиг. 1). Чрез времеви интервал  $t_1$  между първия импулс  $I_1$  и втория импулс  $I_2$  се предава командата по първи канал. Времеви интервал  $t_2$  между втория и третия импулс определя ъгъла на отклонение на механизма за втори канал и т.н.



Фиг. 1. Позиционно импулсна модулация за пропорционалните команди на 8-канална апаратура за радиоуправление.

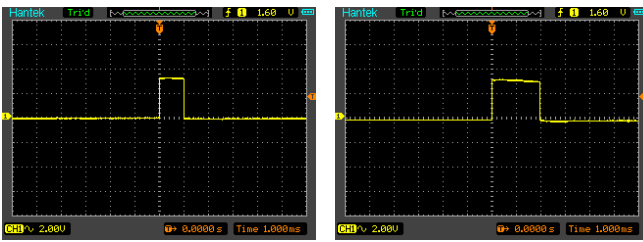
От Фиг. 1 се вижда, че за предаване на 8 пропорционални канала са необходими 9 импулса. Продължителността на импулсите е 400  $\mu$ s, а времето отместване между всяка двойка импулси е в интервала от 1 ms до 2 ms. Периодът на повторение на пакета от 9 импулса е 20 ms.

На Фиг. 2 е показана функционалната схема на приемната част на апаратурите за радиоуправление с 8 пропорционални канала.

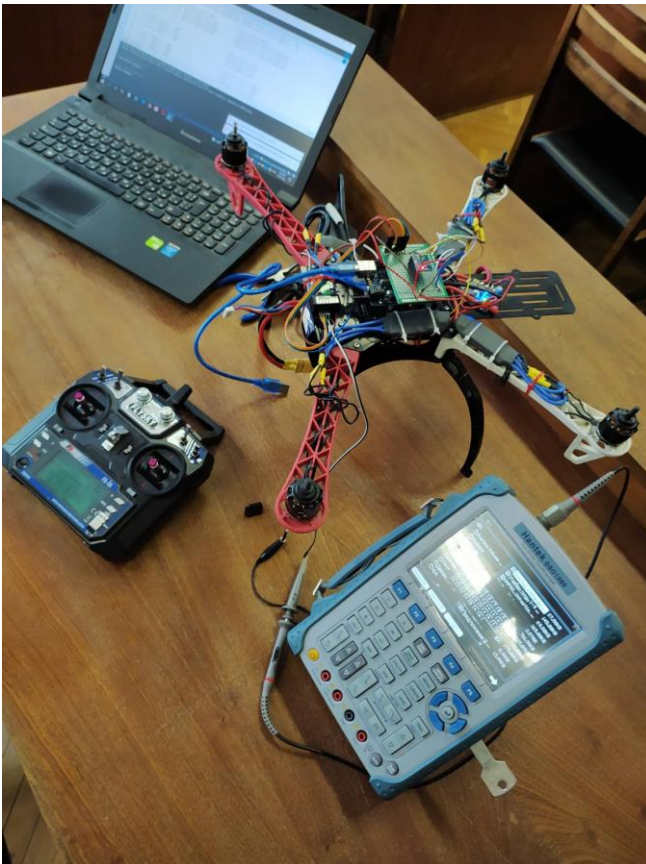


Фиг. 2. Функционална схема на декодиращо устройство за пропорционални команди.

След демодулиране в радиоприемника, импулсната поредица се подава на декодер за пропорционални команди. Декодерът се състои от един вход и 8 изхода. Всеки един от изходите съответства на конкретния канал за управление. На всеки един от изходите сигналът представлява поредица от импулси с продължителност от 1 ms до 2 ms и период на повторение 20 ms[1].



Фиг. 3. Екранна снимка от Аналогово - цифровия преобразувател

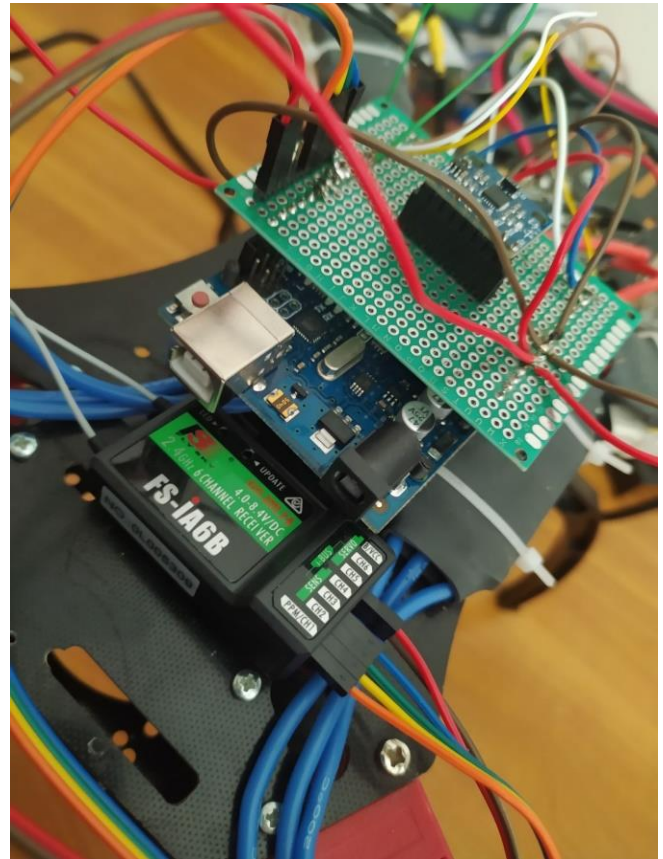


Фиг. 4. Резултат и анализ от осцилоскопа

Този сигнал се явява входен за изпълнителното устройство на командата. Ъгълът  $\beta$ , на който се отклонява изпълнителното устройство, е пропорционален на ъгъла на отклонение  $\alpha$  на стика за управление, намиращ се в предавателната част за управление на съответния канал.

За измерване на PWM модулирания сигнал, който постъпва от приемника, се използват вградените в Arduino Uno таймери. С тяхна помощ и използването на прекъсвания (interrupts) се отчита точно широчината на всеки импулс.

- Извършва се опознаване на дистанционното управление. Това е необходимо поради наличието на две различни разположения на джойстиците на дистанционното управление. В нашия проект е използвано дистанционно управление FLYSKY FS-i6 със приемник FS-iA6B.



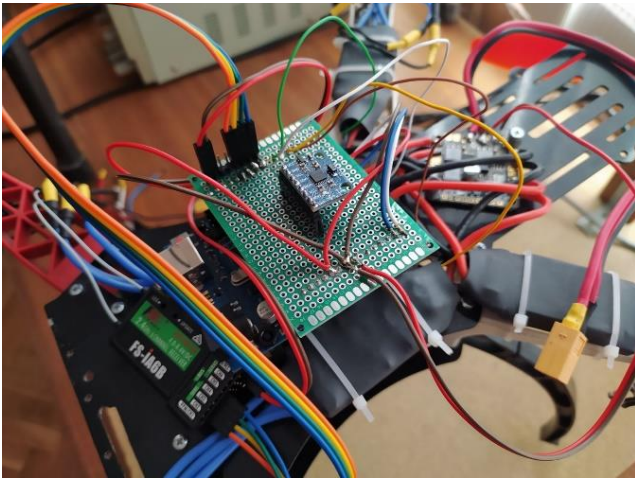
Фиг. 5. Хардуерна конструкция



Фиг. 6. Приемник FS-iA6B

- Проверява се наличието и работоспособността на сензор MPU -6050. Извършва се първоначално калибриране и привързване на осите на датчика към строителните оси на квадрокоптера.





Фиг. 7. MPU 6050

- В края на първия етап цялата информация за дистанционното управление и сензора се записва в EEPROM паметта на Arduino Uno, което позволява използването ѝ в следващите етапи.

**В. II част.**

В тази част се извършва проверка на правилната работа на сензора и радиоприемника, както и балансировка на витлата.

- Използват се пластмасови витла. При производството им се получават малки разлики в геометричните и тегловните им параметри, които при високите обороти, с които работят, могат да доведат до смущения при измерването на пространственото положение на квадрокоптера. За целта се извършва балансировка на всяко витло за съответния двигател. Самата балансировка представлява измерване на трептенията на рамената на квадрокоптера при работа на един от двигателите.



Фиг. 8. Витло на МИ - 845

**С. III част.**

Тази част представлява автопилота на квадрокоптера. Това е последният софтуер, който се качва на контролера и осъществява управлението на дрона в полет.

Основните етапи на алгоритъма на тази част от софтуера са:

- четене на данните от MPU 6050;
- получаване на пространственото положение на апарата;
- изчисляване на корекциите;
- изчисляване на импулса на всеки ESC контролер;

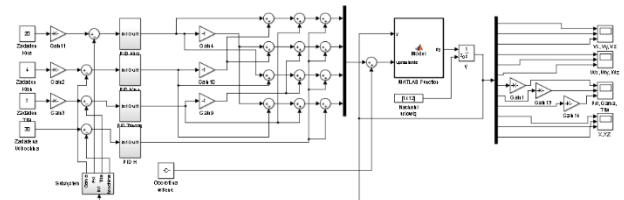
Използва се записаната в EEPROM паметта информация от I част, за адреса на MPU 6050. След прекарване на прочетените данни през комплементарен филтър получаваме реалното ъглово положение на дрона в пространството.

Автопилота осигурява хоризонтално положение на апарата при неутрално положение на органите за управление, както и ограничаване на максималните ъгли на крен и тангаж.

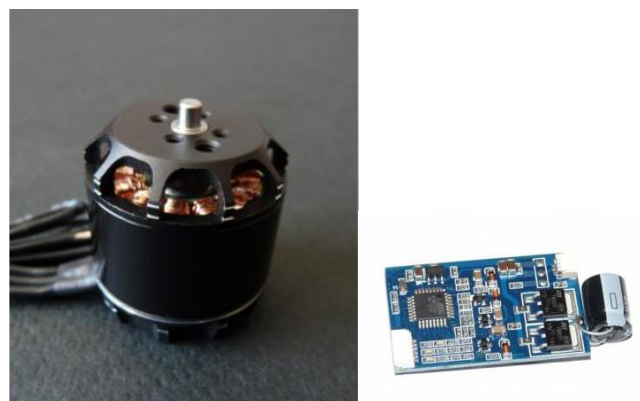
Необходимите корекции в управлението по трите канала(курс, крен и тангаж) се получават чрез ПИД (PID) регулатор[2].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t).$$

Коефициентите на регулатора са настроени по метод на критичните параметри (втори метод на Ziegler-Nichols), модел на коптера в SIMULINK.



Оборотите на всеки двигател се управляват от ESC контролер, който от своя страна се управлява чрез широчината на импулса(PWM модулация), който се подава към него.



Фиг. 9. Двигател МИ-845

Управляващият сигнал към всеки ESC контролер се калкулира по следния начин:

$$U_{ESC} = T \pm K_{pitch} \pm K_{roll} \pm K_{yaw}$$

където:

- $U_{ESC}$  – управляващ сигнал (широчина на импулс);
- $T$  – общ сигнал за четирите двигателя – тяга;
- $K_{pitch}$ ,  $K_{roll}$ ,  $K_{yaw}$  – корекции в трите канала от съответните ПИД регулатори.

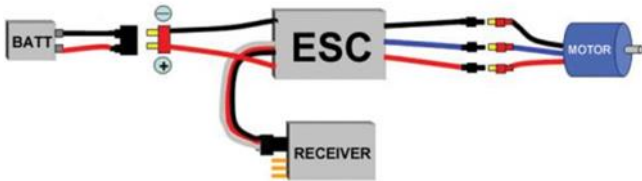
[2] Димитров С., Р. Димитрова, Т. Банков, А. Банчев, С. Цолов, Проектиране на мобилен робот с хибридно задвижване, XXX МНТК „АДП – 2021“, Созопол, 29.06 – 02.07.2021 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство“, бр.3/юли 2021 г., ISSN: 2682-9584, (114-121).

[3] Dimitrov S., R. Dimitrova, T. Bankov, A. Banchev, S. Tsolov, Engineering research a mobile robot with hybrid drive, XXX “ADP – 2021”, Sozopol, 29.06 – 02.07.2021, Magazine “Automation of Discrete Production Engineering”, 3/ July 2021 г., ISSN: 2682-9584, (122-125).

[4] <https://www.omega.co.uk/technical-learning/tuning-a-pid-controller.html>

[5] [http://www.brokking.net/ymfc-32\\_main.html](http://www.brokking.net/ymfc-32_main.html)

[6] <https://www.arduino.cc/>



Фиг. 10. ESC контролер

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чрез комбиниране и адаптиране на налични в интернет пространството части от кода е създаден работоспособен софтуер за квадрокоптер [3].

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

[1] Димитров Д. В., Увеличаване броя на пропорционалните команди при апаратурите за радиоуправление на дистанционно пилотируеми летателни апарати. Сборник от доклади на Юбилейна научна конференция „100 години авиационно образование в България“ – Факултет „Авиационен“, Издателски комплекс на НВУ „В. Левски“, 2014, с. 123-129, ISBN 978-954-713-216-8.

## FEATURES OF QUADROCOPTER MI-845 SOFTWARE

Snejana Nikolova  
Georgi Benkovski Bulgarian Air Force  
Academy  
Faculty of Aviation  
Dolna Mitropoliya, Bulgaria  
e-mail: Snej98\_@gmail.com

Martin Simeonov  
Georgi Benkovski Bulgarian Air Force  
Academy  
Faculty of Aviation  
Dolna Mitropoliya, Bulgaria  
e-mail: MartiGtoBG@gmail.com

Martin Kambushev  
Georgi Benkovski Bulgarian Air Force  
Academy  
Faculty of Aviation  
Dolna Mitropoliya, Bulgaria  
e-mail: m\_kambushev@yahoo.com

**Abstract:** This article is a description of the software and the stages it goes through in the development and implementation of autopilot on an unmanned aerial vehicle. The three main stages in the development of quadcopter software are considered.

# DEVELOPMENT OF A COMPUTER-CONTROLLED CLIMATE REGULATION SYSTEM IN A CAR

Stefan Biliderov  
 ‘Georgi Benkovski’  
 Bulgarian Airforce Academy  
 Dolna Mitropolia, Bulgaria  
 e-mail: biliderow\_ss@yahoo.com

Radostina Calovska  
 Student in Master degree  
 ‘Georgi Benkovski’  
 Bulgarian Airforce Academy  
 Dolna Mitropolia, Bulgaria  
 e-mail: radostina.calovska@gmail.com

**Abstract:** The presented report uses Model-based design (MBD) technology to accelerate the process of developing a computer system for car climate control. The physical processes are modeled based on the Matlab product, and the Stateflow tool describes the operation of the computer that controls the processes. Executable code is generated that has its own purpose. Embedding the executable code in the computer system leads to the completion of the product, which is a mechatronic system.

**Keywords:** mathematical modeling, Model-based design, finite state machine, firmware

## I. INTRODUCTION TO THE PROBLEM

Accelerated development and prototyping of products is one of the main directions in mechatronics. The synthesis of a mathematical model of the considered mechatronic system, its validation and verification is the basis for building an appropriate control algorithm. The operability of the algorithm is proved simultaneously with the adequacy of the obtained model in software simulations. Development of a controller based on finite state machine technology and the transformation of this algorithm into executable code for the operation of the control computer system is a distinctive feature of the mechatronic approach.

The use of the Finite state machines automata in automotive climate control is a convenient approach to the implementation of the desired behavior of the system and with appropriate software tools facilitates rapid prototyping to a finished product using Model-based design (MBD) technology.

## II. MODEL AND OPERATION OF THE SYNTHESIZED CONTROL ALGORITHM

The general statement of the research is shown in Fig.1. This is a Matlab-Simulink model. It is described in [1]. The working process of temperature regulation can be seen in Fig.2. In this figure, the temperature is shown as function of the time.

The process of moving the window of the car is shown on Fig.3. In this figure the moving of the windows is shown as function of the time.

The logic of the climate controller using the theory of the finite state machines is developed with Stateflow tool. This logic is shown in Fig.4.

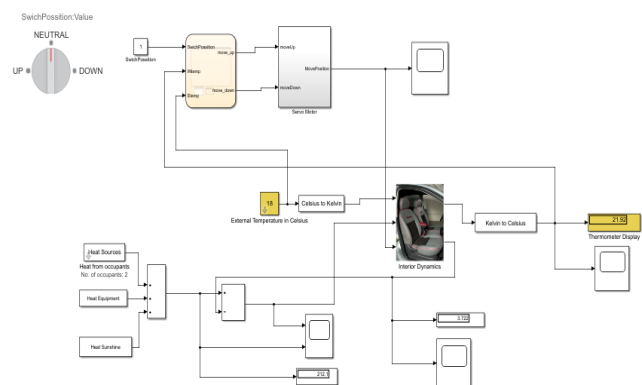


Fig. 1. The general statement of the research

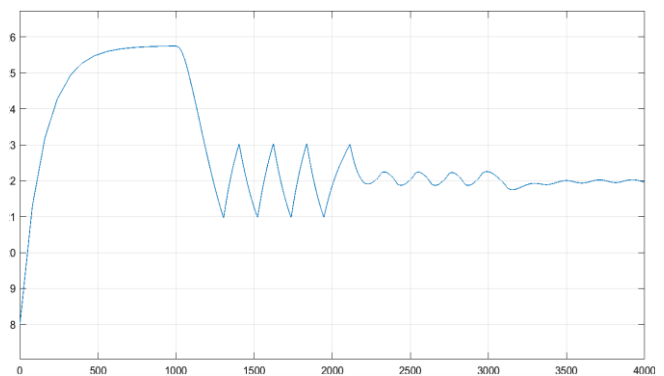


Fig. 2. Graph of the temperature changes of interior dynamics as function of the time

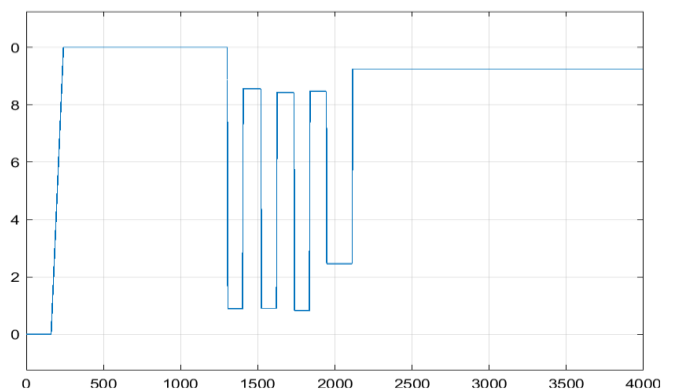


Fig. 3. Window movement schedule as function of the time

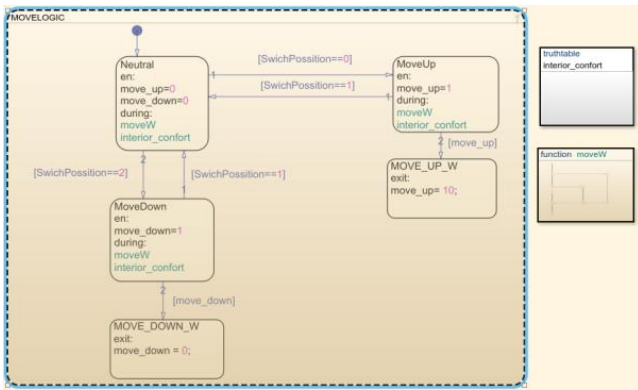


Fig. 4. The control logic of the temperature regulation

### III. GENERATION OF AN EXECUTABLE CODE FROM THE MODEL

According to the Matlab documentation [2], in order to generate C or C++ code from a Simulink model including a Stateflow chart, it is necessary to use Simulink Coder and / or Embedded Coder. In addition, it is possible to use Embedded Coder to improve the resulting code (more readable, compact and fast to run).

The resulting code can be used in three modes: Simulation acceleration; Rapid prototyping; Hardware-in-the-loop (HIL) testing.

Embedded Coder optimizes the capabilities of Simulink Coder by allowing the management of the received functions, files and data. This coder allows easy integration of the received code together with data types and calibration parameters. Embedded Coder supports software standards for: AUTOSAR; MISRA C; ASAP2;

The MISRA C standard is used to generate code in this report. Embedded Coder also supports advanced optimization packages and hardware-specific drivers.

It is possible to use the Quick Start Tool (Embedded Coder) to generate efficient and readable code.

The Accelerator and Rapid accelerator modes use part of the Simulink Coder to create executable code by replacing the interpreted code used in Simulink simulations with one that shortens model run time. Once the code is generated, it becomes self-contained. It is important to note that it is used only for the purpose of accelerating the simulation.

#### A. Generate executable code to speed up the simulation

Acceleration of the simulation is performed by the Accelerator and Quick Accelerator mode. Calling Simulink Coder, it creates executable code to use in a Simulink model, reducing model simulation time. In normal mode, only one process works. The methods for solving the model are determined by the Simulink, which checks whether the code is up-to-date before using it again. In acceleration mode, these methods are separate from Simulink and are part of the Acceleration target code.

There are three acceleration modes: Normal Mode; Accelerator Mode; Rapid Accelerator Mode.

In a normal mode, Simulink uses the MATLAB environment to control, implement, and simulate the model.

Normal mode works in one process, determining the outputs of the model. It is possible for the developer to turn to the classic mode in which Simulink generates and binds code in the C-MEX S-function.

In an accelerated mode, the model method is separate from Simulink software and is part of the acceleration target code, which is used later in the simulations. There are two methods of acceleration: Just-In-Time-Mode; Classical-Accelerator-Mode.

Using Just-in-time (JIT) Accelerator Mode, Simulink generates code only for the highest-level model. The target code remains in memory and it is available while the model is open. In Classical Accelerator Mode, C code is generated and linked in a shared library, which is used by Simulink software.

Rapid Accelerator creates a standalone executable file that is outside of MATLAB and Simulink. It includes methods for solving the model and uses an external connection to work with Simulink.

#### B. Generate prototyping acceleration code

Rapid prototyping is done by installing additional support packages to work with the target controller. This test is performed on the Arduino Uno hardware platform and uses the Simulink Support Package for Arduino Hardware and the MATLAB Support Package for Arduino.

Simulink Support Package for Arduino Hardware allows you to design, simulate and implement an Arduino system. The package contains Simulink blocks for Arduino peripherals, such as ADC, PWM, Serial, I2C, SPI. It works with hardware through normal mode simulation using input/output connection. It allows you to change the parameters in real time and receive a signal using external mode. The contents and characteristics of the package are described in the Matlab library [4].

Matlab Support Package for Arduino enables the Matlab environment to communicate directly with the Arduino. It allows you to synthesize different types of data through an Arduino board and analyze them in the Matlab programming environment without compiling a code. The package has built-in mathematical, engineering and graphical features that are widely used in the processing of data received from Arduino software. The characteristics and operation of the package are described in detail in the Matlab library [3].

In order to make a rapid prototyping, it is necessary to separate the Simulink model controller as a self-executable block and convert it. Fig.5 shows the difference between the Simulink system control controller and the converted controller used for rapid prototyping.

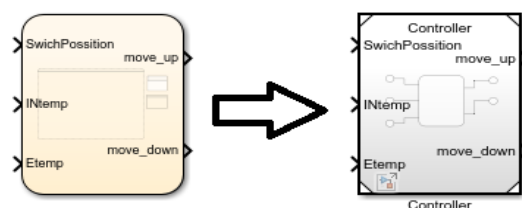


Fig. 5. Simulink Controller and Convert Controller

Fig.6 shows what the overall model looks like, from which executable code will be generated.

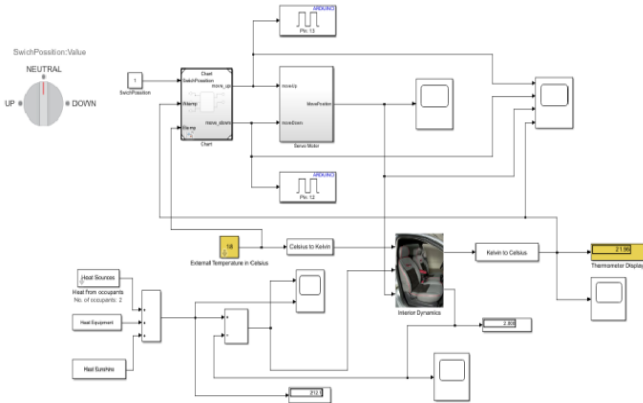


Fig. 6. Model with Convert Controller to Arduino

Fig.7 shows the Simulink Model of a converted controller, with added blocks from the Simulink Support Package for Arduino Hardware to supply input signals and control output signals. Each input and output signal is sent to a specific controller Pin.

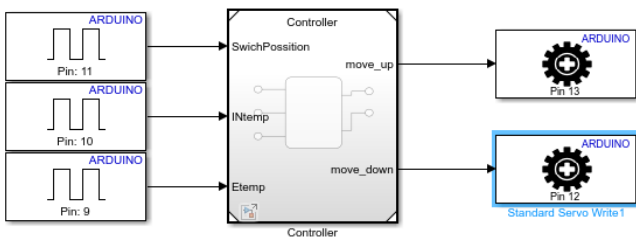


Fig. 7. Convert the controller algorithm to Arduino

Before executing the generated code, it is necessary to make additional adjustments to the program.

*C. Generate Hardware Work Code Included in Feedback*

Hardware-in-the-loop is used to develop and test complex embedded systems in two modes, real-time and computer simulation time. The simulation includes the imitation of electrical sensors and actuators. The value supplied by each of the electrical sensors is controlled by the simulation of the modeled system and is reported by an embedded system, which provides feedback to the computer for inclusion in the control algorithm. In the same way, the embedded system under test implements its control algorithms by supplying output signals to drive the actuators, which in turn move the means of control of the mechatronic object in question. In this case, the mechanism for raising and lowering the window of the car, which is driven by the actuator.

Adjustments are made in advance to set the type in the system and to determine on which controller the test for the operation of the hardware in the feedback circuit will be performed. Fig.8 and Fig.9 show some of the settings made for the target simulation. Accordingly, in Fig.8 the settings of the method for solving the task and the running of the simulation are determined, and in Fig.9 the settings for code generation are shown.

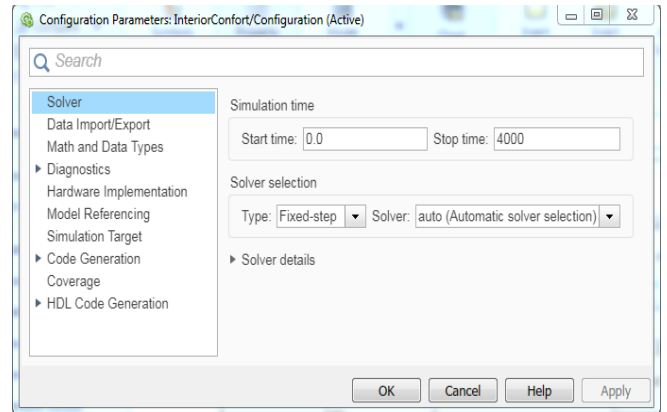


Fig. 8. Solver Configuration

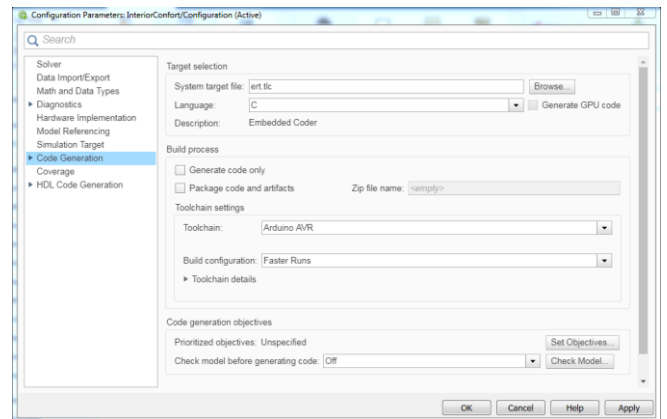


Fig. 9. Code Generation Configuration

The complexity of the controlled platform is included in the testing and development by adding a mathematical representation of all related dynamic systems. These mathematical representations are called 'plant simulation'. The embedded system that is tested interacts with this model simulation on the Matlab-Simulink installation system. Changes in the control signals lead to changes in the values of the simulation and it is necessary to recompile the code obtained from the synthesized model.

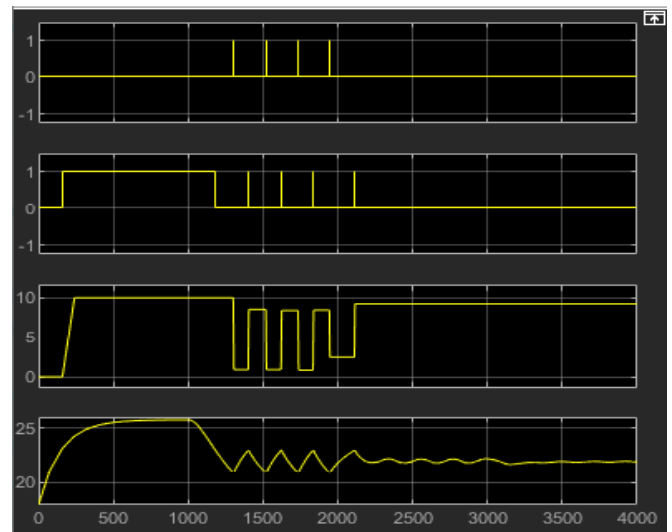


Fig. 10. Test Model Working

The operation of the tested model is shown in Fig.10.

First of all, the logic controller reports a signal with a value '1' when the actuator is driven up to close the window and stay in the neutral position with a value '0'. This is shown in the first graph of Fig.10.

Secondly, the signal with value '1' is taken into account when the actuator is driven down to open the window and stay in neutral position with value '0', shown in the second graph of Fig.10.

The third graph (Fig.10) shows the movement of the window from 0 to 10, where at a value of '0', the window is completely closed, and at a value of '10', the window is fully open.

Finally, the fourth graph shows the amplitude of the temperature in the cockpit during the operation of the controller, which is set to stabilize around 22 °C.

Figure.11 shows the physical setup for HIL. The hardware of the Arduino Uno is connected to COM4. The behavior of the model is monitored by additional packages from the Simulink Support Package for Arduino. They report the change in the value of the signal to drive the actuator up, which assigned to Pin13, and the Arduino block that detects changes in the value of the signal to let the actuator down is sent to Pin12, from the map of inputs and outputs for this controller.

When beginning the simulation of the model, the controller starts working following its predefined conditions, monitoring the changes of each of its set input - output pins, which in turn control the drivers of the actuators to open and close the window, and from there the control of the microclimate in the car's interior. The change in the values of the up and down signals of the vehicle window system can be seen in Fig.12 and Fig.13.

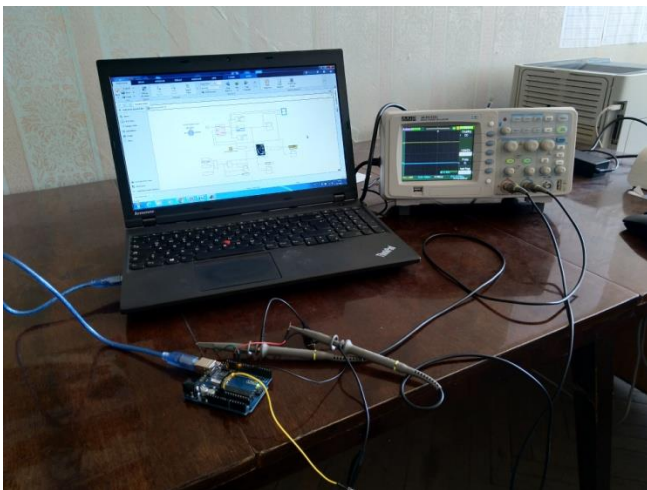


Fig. 11. Physical testing of the model

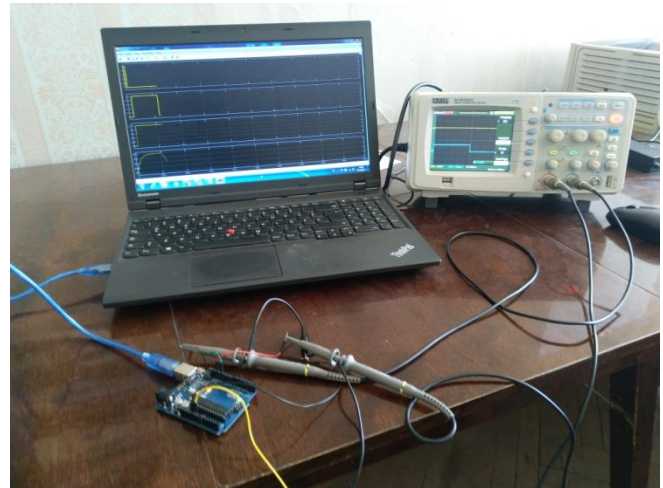


Fig. 12. Hardware-in-the-loop test move 1



Fig. 13. Hardware-in-the-loop test move 2

### CONCLUSIONS:

1. Accelerating of the simulation based on executable code generation is a step towards accelerating prototyping.
2. Extracting code from the presented products and supplying it directly to the chosen controller is still an unsolved problem by the authors.
3. Quick and convenient verification of the operability of the designed system is performed using the technology HIL.

### REFERENCES

- [1] R.Calovska, S.Biliderov. "Synthesis and research of a controller for microclimate stabilization in an automobile based on finite state machines", Georgi Benkovski, Bulgarian Air force Academy Dolna Mitropolia, vol. 1, pp. 21-26, 2022
- [2] Generate C or C++ Code from Stateflow Blocks, <<https://ch.mathworks.com/help/stateflow/ug/code-generation-for-stateflow-blocks.html>> 29.04.2022
- [3] Matlab Support Package for Arduino <<https://ch.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47522-matlab-support-package-for-arduino-hardware>> 12.03.2022
- [4] Simulink Support Package for Arduino Hardware <<https://ch.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/40312-simulink-support-package-for-arduino-hardware>> 12.04.2022

## ПРОГРАМИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО

Слав Димитров  
Технически университет  
София, България  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Галин Рашков  
Технически университет  
София, България  
e-mail: rashkovgalin@gmail.com

Станислав Цолов  
Технически университет  
София, България  
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

**Резюме:** Обект на настоящата разработка е новопроктиран автоматизиран стенд за отпечатване на Брайлово писмо върху тънки метални повърхности. Целта е програмиране и управление на автоматизиран стенд чрез създаване на специализиран код за управление. За постигане на целта ще се разработи и графична среда за въвеждане на определен текст.

**Ключови думи:** автоматизиран стенд, Брайлова азбука, управление, микро контролер, програмиране, програмен код, графична среда.

### I. Увод

За постигане на целта е необходимо разработване на следните основни компоненти:

- Проектиране на електрическо табло.
- Разработване на алгоритъм за движение по осите.
- Създаване на графична среда за управление и наблюдение.
- Разработване на управляваща програма.

### II. ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ТЕХНОЛОГИЧНИЯ КОД

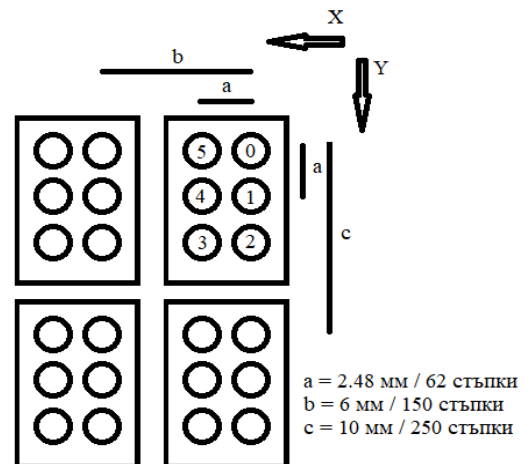
Теоретично е разгледан алгоритъм на преобразуване на символите от различни азбуки в Брайлова азбука. Системата е разработена, така че при отпечатването на Брайловата азбука символите ще се отпечатват огледално. Поради този факт отпечатването трябва да се случва отлясно наляво и съответно всеки един символ ще е с разменени колони. Всеки един символ в Брайловата азбука се състои от клетка с 6 позиции в 2 колони и 3 реда. Разстоянията между позициите са зададени в съответствие с международния стандарт за изписване на Брайловото писмо. В програмния код тези разстояния се задават в брой стъпки вместо в милиметри. Направени са математически изчисления за взаимоотношението на стъпки спрямо милиметри. Получено е, че 25 стъпки са равни на 1 [mm]. Съответно всяко едно разстояние, следва да бъде умножено по 25, за да се получи правилния брой стъпки. От стандарта са изведени следните значения за разстоянията:

- Между две съседни точки в една клетка хоризонтално и вертикално – 2,48 [mm] или 62 стъпки.

- Между две точки в идентични позиции в съседни клетки хоризонтално – 6 [mm] или 150 стъпки.
- Между две точки в идентични позиции в съседни клетки вертикално – 10 [mm] или 250 стъпки.

Тези данни, следва да бъдат въведени като константи в началото на програмата.

Нужно е да бъде определена и номерацията на позициите във всяка клетка. На фиг. 1 е показана номерацията, използвана при създаването на управляващата програма. Причината за това подреждане е минимално движение по отделните оси при обхождане на клетката, тъй като движението се случва последователно по двете оси, а не едновременно. В зависимост от приетата конвенция за номерация, следва да бъде въведена информацията за всеки един символ в упоменатия двумерен масив.



Фиг. 1. Номерация за създаване на управляващ код

За коректната обработка на въведения текст е нужно да бъде разделен на символи и да бъде намерен съответстващият такъв в Брайловата азбука. Това се реализира с два вложени цикла, първият от които с продължителност от 0 до броят въведени символи, а вторият от 0 до края на Брайловата азбука. Функцията проверява за съответствие на въведения символ и съществуващите в азбуката. При съвпадение, съответния ред от двумерния масив е запазен в буфер и е нужно да бъде извикана функция за отпечатване на символа.

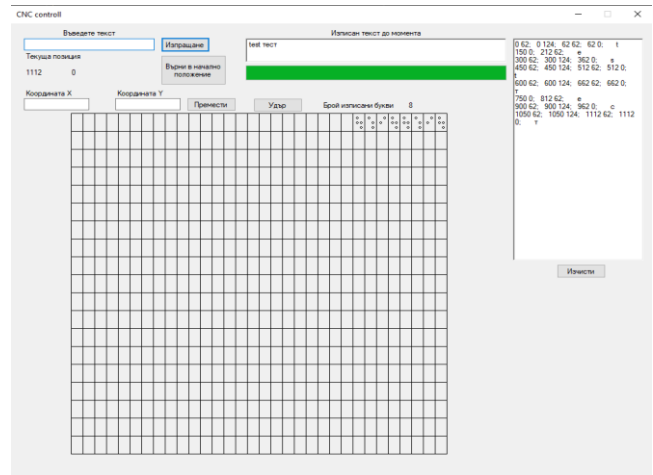
Целта на тази функция е да организира движението на двата двигателя в съответствие с позициите, където е нужно да бъде поставена точка. Също така, тя трябва да проверява за достигането на края на реда и преминаване на следващия ред. След изпълнението на функцията за обход е нужно буферът да бъде изпразнен и цикълът да започне търсене на съответствие на следващия символ. Част от изпълнителния код е показан на фиг. 2.

```
for (int i = 0; i < input_lenght; i++)
{
    for (int j = 0; j < sizeof(alphabet); j++) // Търсене в азбуката за съответстващ масив
    {
        if (input[i] == alphabet[j]) // Ако i елемент от стринга съвпада с j от азбуката
        {
            bufer[0]=braille[j][0]; // Записва в буфера
            bufer[1]=braille[j][1];
            bufer[2]=braille[j][2];
            bufer[3]=braille[j][3];
            bufer[4]=braille[j][4];
            bufer[5]=braille[j][5];
            IsPrinting = true;
            Serial.println(String(bufer[0]) + " " + bufer[3]); // 0 3
            Serial.println(String(bufer[1]) + " " + bufer[4]); // 1 4
            Serial.println(String(bufer[2]) + " " + bufer[5]); // 2 5
        }
    }
    if (IsPrinting)
    {
        obhod (bufer); // Извикване на цикъла за обработка на символа
        for (int k = 0; k < 6; k++)
        {
            bufer[k] = 0; // Нулиране на буфера
        }
        Serial.println();
        IsPrinting = false;
        break;
    }
}
```

Фиг. 2. Частичен код за обхождане на клетка

Движението на осите и позиционирането на работния плот е основен показател за коректна работа на системата, но за пълна функционалност на системата е нужно да бъде избрана началната точка на координатната система. За целта трябва да бъде добавена функция за връщане на системата в нулева точка. В автоматизирания стенд са предвидени два броя крайни изключватели. При достигане на осите до тях, стенда се намира в нулева позиция. В останалите случаи, в началото на програмата е нужно да се укаже към кои входове на платката са свързани тези изключватели, за правилното функциониране на кода. Функцията „home“ (нулиране) има следната последователност: поставят се два флага в състояние нула „false“, които служат като проверка за достигане на началната точка. Следват два цикъла „while- do“, които въртят по 1 стъпка съответния двигател до контакт с крайния изключвател. При контакт, се вдигат упоменатите флагове и се излиза от цикъла. След изпълнението и на двата цикъла, системата е върната в изходно положение. Програмната реализация е показана на фиг. 4.

Записването на текст се извършва чрез специализиран софтуер създаден за автоматизирания стенд. В графичния дисплей се задават букви и символи и автоматично се преобразуват в Брайлов код. Графичната среда е показана на фиг. 3.



Фиг. 3. Графична среда за визуализация и въвеждане на данни

```
void home ()
{
    bool IsHome = false;
    bool HomeX = false;
    bool HomeY = false;
    stepper_speed = 800;
    digitalWrite(stepper1_dir,HIGH);
    digitalWrite(stepper2_dir,HIGH);
    while (!IsHome)
    {
        if( digitalRead(switch_X) == LOW)
        {
            digitalWrite(stepper1_step,HIGH); // една стъпка
            delayMicroseconds(stepper_speed);
            digitalWrite(stepper1_step,LOW);
            delayMicroseconds(stepper_speed);
        }
        else
        {
            HomeX = true;
        }
    }
    if(digitalRead(switch_Y) == LOW)
    {
        digitalWrite(stepper2_step,HIGH); // една стъпка
        delayMicroseconds(stepper_speed);
        digitalWrite(stepper2_step,LOW);
        delayMicroseconds(stepper_speed);
    }
    else
    {
        HomeY = true;
    }
    IsHome = HomeX * HomeY;
}
global_x = 0;
global_y = 0;
Serial.println("Успешно връщане в изходна позиция! ");
}
```

Фиг. 4. Програмна реализация

Визуализация и принцип на работа на графичната среда:

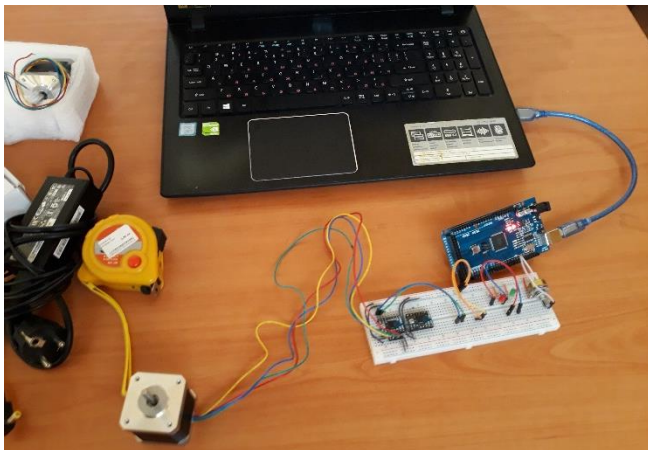
- Въвеждане на текст – в това поле е нужно да се въведе текстът, който потребителят иска да отпечата.



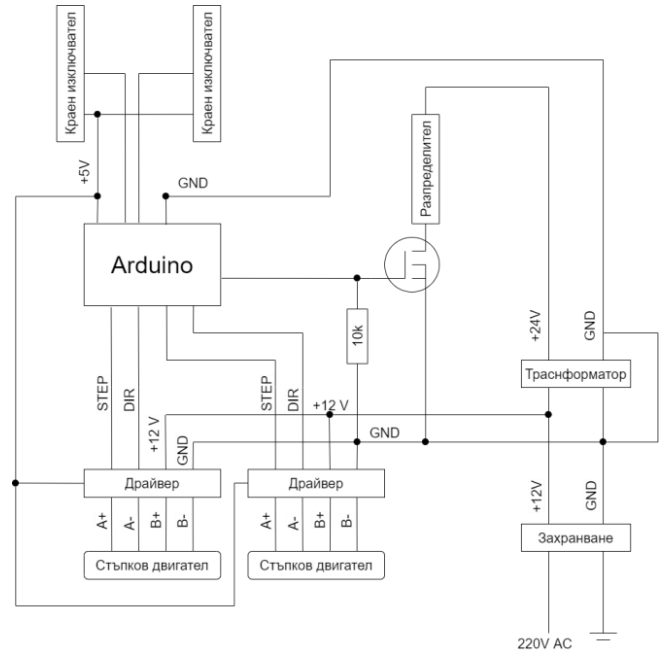
- Бутон изпращане – изпраща текста от предишното поле.
- Изписан текст до момента – служи за проследяване на въведения текст.
- Поле с координати – показва разположението на всяка точка (в брой обороти), създадена от стенда от съответната буква.
- Текуща позиция – показва X и Y позицията на стенда след завършване на процеса по отпечатване.
- Бутон за връщане в начално положение – при натискането му стенда изпълнява специален цикъл, който го връща в изходната точка. Нужно е да бъде изпълняван преди всяко начало на отпечатване за правилно разположение на символите върху листа.
- Поле за прогреса – показва каква част от въведения текст е вече отпечатан.
- Координата X и Y – ръчно придвижване на стенда в определени координати (в брой обороти).
- Бутон премести – Изпълнява движението до координатите, описани в предната точка.
- Бутон удар – възпроизвежда удар в позицията, в която се намира в момента стенда.
- Брой изписани букви – поле, спомагащо допълнително проследяване на прогреса.
- Таблица – визуализира местата на ударите върху листа, също с цел проверка на резултатите.
- Бутон за изчистване – изтрива историята на координатите и буквите, написани до момента в полето отгоре.

### III. РАЗРАБОТВАНЕ НА ОСНОВНИТЕ КОМПОНЕНТИ

За създаване на електрическата схема на електрическото табло фиг. 6 е използвана програмна среда. Всички използвани елементи за изработване на електрическата апаратура за изобразени на графичната електрическа документация.

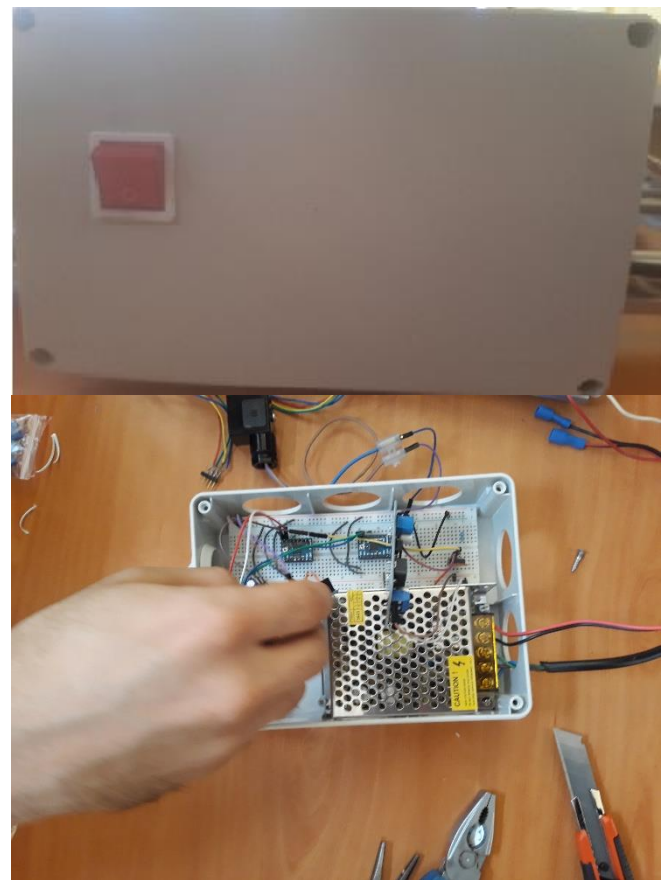


Фиг. 5. Предварителни изследвания



Фиг. 6. Електрическа схема и свързване на елементи

След изпълнението на електрическа схема е създадено електрическо табло фиг. 7. В него са поставени всички необходими елементи за управление на автоматизирания стенд.



Фиг. 7. Електрическо табло за управление на автоматизирания стенд

А. Основни използвани елементи

Използван е микро контролер „Arduino Uno“, показан на фиг. 8.



Фиг. 8. Микро контролер „Arduino Uno“

ТАБЛ.1. ХАРАКТЕРИСТИКА:

ARDUINO UNO	
Характеристика	Стойност
Захранващо напрежение, [V]	5 – 12
Брой I/O пинове	14
Изходен ток на 5 [V] пиновете, [mA]	20
Обем Flash памет, [kB]	32
Работна честота, [MHz]	16
Размери, [mm]	68,6 x 53,4
Маса, [g]	25

Драйвера за управление е Motor driver A4988 на стъпкови и серво мотори, показан на фиг.9.

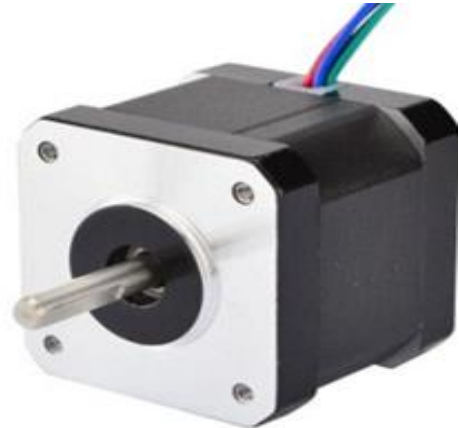


Фиг. 9. Драйвер Motor driver A4988

ТАБЛ.2. ХАРАКТЕРИСТИКА:

Driver A4988	
Характеристика	Стойност
Минимално входно напрежение, [V]	8
Максимално изходно напрежение, [V]	35
Номинален изходен ток, [A]	1
Максимален изходен ток, [A]	2
Управляващо напрежение, [V]	3 – 5.5
Резолуции	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Размери, [mm]	1,5 x 2
Маса, [g]	1,3

На фиг. 10 е показан използвания стъпков двигател „Nema 17“.

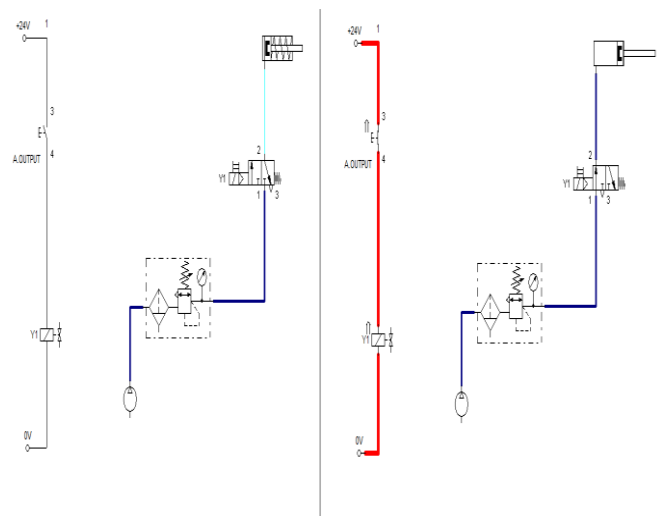


Фиг. 10. Стъпков двигател „Nema 17“

ТАБЛ.3. ХАРАКТЕРИСТИКА:

Стъпков двигател Nema 17	
Характеристика	Стойност
Минимално напрежение, [V]	2.8
Стъпка, [°]	1.8
Брой стъпки на оборот	200
Съпротивление, [Ω]	1.65
Индуктивност, [mH]	3.2
Размери, [mm]	42x42x38
Маса, [g]	285

Автоматизирания стенд има разработена електрическа схема (фиг. 6). В електрическата документация всеки един от стъпковите двигатели е окомплектован със серво драйвер, за да се осигури точното позициониране на системата. Серво драйверите са свързани към основния контролер за да може да се задава точна позиция за движение и регулирана скорост. Системата е снабдена с два независими източника на захранване. Основното захранване е предвидено за управление на пневматичната система, показана на фиг.11 и то е на 24VDC.



Фиг. 11. Симулация на пневматичната система

Пневматичната система работи на следния принцип:

- От микро контролера се подава сигнал за изпълнение.
- Соленоида се захранва.
- Пневматичният разпределител се задейства.
- Цилиндъра слиза в долно положение.
- Изчаква се 1 секунда.
- От микро контролера се спира сигнал за изпълнение.
- Соленоида няма захранване.
- Цилиндъра се качва в горно положение.

ИЗВОДИ:

- Създадена е програма за управление на стенд за отпечатване на Брайлово писмо.
- Създадена е система за наблюдение и въвеждане на данни за работа със стенд за отпечатване на Брайлово писмо.
- Разработена е електрическа схема и електрическо табло.
- Създадена е пневматична схема за управление на стенд за Брайлово писмо.
- Разработен е програмен код за управление.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Димитров С., Програмиране и управление на обемен дозатор”, XXVIII МНТК „АДП – 2019, Созопол, 29.06 – 02.07.2019 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.1/юли 2019г., ISSN: 2682-9584, (280-285).
- [2] Димитров С., Й. Стоянов и Д. Генчев, Програмиране и управление на автоматизиран комплекс за игра на шах, XXVIII МНТК „АДП – 2019”, Созопол, 29.06 – 02.07.2019 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.1/юли 2019г., ISSN: 2682-9584, (194-200).
- [3] Dimitrov S., L. Dimitrov, R. Dimitrova, S. Nikolov, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps, International Conference on Information Technologies ICIT-2019: Information and Communication Technologies for Industry and Research, 7-8.02.2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, ISBN 9783030120726 (online), 9783030120719 (print), pp. (502-514).
- [4] Dimitrova R., Cycle investigation of "pick & place" modular pneumatic robot, Journal of Mechanical Engineering and Mechanical Engineering, 2013, Varna, ISSN 1312-8612, Year VIII, Book 2, 2013, pp. (68-71).
- [5] Dimitrova R., M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX МНТК „АДП – 2020”, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [6] Kambushev M., N. Chivarov, A. Marinov, R. Dimitrova, Approbation of a mathematical model of a specialized mechatronic system, XI National conference with international participation, Electronica 2020, 23 – 24 July 2020 Sofia, Scopus, IEEE Xplore Digital Library, Scopus database (IEEE Conference record # 50406), 9305150.
- [7] Nikolov S., R. Dimitrova, L. Dimitrov, “athematical model of displacements in tools used in boring operations on machining centers, 25th IEEE International Conference on problems of automated electric drive Theory and practice PAEP 2020, September 21-25, 2020, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, Scopus, (9240838).
- [8] Nikolov S., R. Dimitrova, I. Topov, New approach at mechanical engraving of details with large sizes, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTech 2019, 10 - 11 November 2019, Scopus, (9128261).
- [9] <https://www.se.com/bg>
- [10] <https://rota.bg>
- [11] <https://www.festo.com>

## PROGRAMING AND CONTROL OF AUTOMATIC STAND FOR PRINTING BRAILLE

Slav Dimitrov  
Technical University  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Galin Rashkov  
Technical University  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: rashkovgalin@gmail.com

Stanislav Tsolov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

**Abstract:** The object of the present development is a newly designed automated stand for printing Braille on thin metal surfaces. The goal is to program and manage an automated stand by creating a specialized control code. To achieve this goal, a graphical environment for entering a certain text will be developed.

# ИНДУСТРИЯ 4.0 И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВАТА ПРЕД ОСИГУРЯВАНЕТО НА СИГУРНОСТ И ЗАЩИТА В КИБЕРПРОСТРАНСТВОТО

Чавдар Костадинов  
 Катедра Комуникационни и  
 информационни системи  
 Военна академия „Г. С. Раковски“  
 София, България  
 e-mail: ch.kostadinov@rndc.bg

**Резюме:** В статията са представени най-разпространените видове киберпрестъпления и кибератаки. Направен е анализ на заплахите за Индустрия 4.0 и са разгледани тенденциите в борбата с тях.

**Ключови думи:** киберпространство, кибератака, киберзащита, противодействие на кибератаки

## I. КАКВО Е ИНДУСТРИЯ 4.0

Индустрия 4.0 създава така наречения умен завод. В рамките на този завод киберфизичните системи контролират физичните процеси, създавайки виртуално копие на физическия свят и вземат независимо, децентрализирано решение. Чрез интернет на нещата киберфизичните системи комуникират и се съгласуват помежду си и с хората в реално време [1].

С Протоколно решение № 37 от 30 август 2017 г. Министерския съвет одобри „Концепция за цифрова трансформация на българската индустрия (Индустрия 4.0)“, като основа за разработване на Стратегия за участието на България в Четвъртата индустриална революция [2].

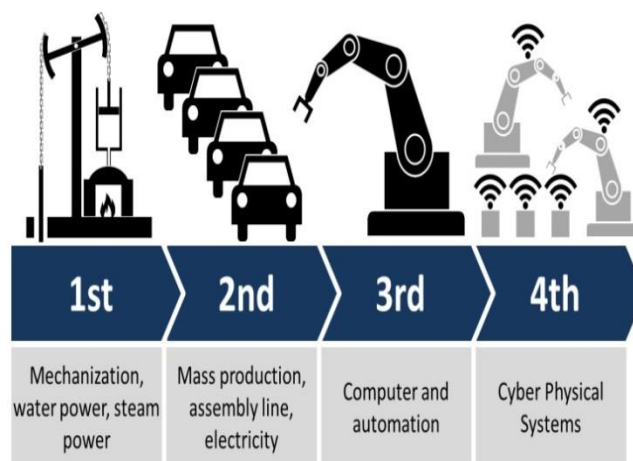
Индустрия 4.0 се отнася до четвъртата индустриална революция. След механизацията (Индустрия 1.0), масово производство (Индустрия 2.0) и автоматизацията (Индустрия 3.0), сега "интернетът на предметите и услугите" се превръща в неразделна част от производството (фиг. 1). Експертите прогнозираят, че предприятията ще могат да увеличат производителността си с около 30%, ако използват Индустрия 4.0 [3].

## II. ЗАПЛАХИ В КИБЕРПРОСТРАНСТВОТО

Кибератака е всякакъв вид действие или маневра предприета от частни лица или организации, които целят компютърни информационни системи, инфраструктури, компютърни мрежи и/или лични компютърни устройства с различни средства за злоумишлени действия, обикновено с произход от анонимен източник, който краде, променя или унищожава определена цел чрез хакване в податлива система [4].

Заплахите в киберпространството съществуват в много различни форми. Някои от най-често срещаните

заплахи са софтуерни атаки, кражба на интелектуална собственост, кражба на самоличност, кражба на оборудване или информация, саботаж и изнудване на информация. Повечето хора са изпитали софтуерни атаки от някакъв вид. Вируси, червеи, фишинг атаки и троянските коне са няколко често срещани примера за софтуерни атаки.



Фиг. 1. Етапи на развитие на индустрията

Кражбата на интелектуална собственост за много фирми в областта на информационните технологии (ИТ) и за развитието на Индустрия 4.0 е особено актуална тема за размисъл. Кражба на самоличност е опитът да се действа като някой друг, за да се получи личната информация на този човек или да се възползва от достъпа му до жизненоважна информация чрез социалния инженеринг. Кражбите на оборудване или информация стават все по-разпространени днес поради факта, че повечето устройства са мобилни, предразположени са към кражби и също са станали далеч по-желани, тъй като количеството капацитет на данни се увеличава.

Саботажът обикновено се състои в унищожаването на уебсайта на организацията в опит да предизвика загуба на доверие от страна на нейните клиенти. Информационното изнудване се състои в кражба на собственост или информация на компанията като опит за получаване на плащане в замяна на връщане на

информацията или собствеността, обратно на нейния собственик, както при откупния софтуер.

Съществуват много начини за предпазване от някои от тези атаки, но едно от най-функционалните предпазни мерки е провеждането на периодична информираност на потребителите. Заплаха номер едно за всяка организация са потребители или вътрешни служители, те също се наричат вътрешни заплахи.

Правителствата, военните, корпорациите, финансовите институции, болниците, нестопанските организации и частния бизнес събират много поверителна информация за своите служители, клиенти, продукти, изследвания и финансово състояние. Ако поверителната информация за клиентите или финансите на бизнеса или новата продуктова линия попадне в ръцете на конкурент или хакер, бизнесът и неговите клиенти биха могли да понесат широка, непоправима финансова загуба, както и да навредят на репутацията на компанията.

### III. ВИДОВЕ ЗАПЛАХИ В КИБЕРПРОСТРАНСТВОТО

Заплахата е потенциално или реално действие, водещо до морални или материални щети.

#### 1.1. Естествени заплахи

- Природни бедствия, природни явления (пожари, земетресения, наводнения, урагани, торнадо, тайфуни, циклони и др.);
- Спонтанно унищожаване на елементите, съставляващи средствата за електронни компютърни технологии, телекомуникации и защита на информацията.

#### 1.2. Изкуствени заплахи (човешки дейности)

- Умишлени (нарушения);
- Пасивен (безконтактен) неоторизиран достъп до информация;
- Визуално наблюдение на обекти на информатизация (с просто око; използване на оптични и оптоелектронни устройства);
- Прихващане на речева информация (с помощта на заострени микрофони, електронни стетоскопи, лазерен лъч, устройства за отдалечен запис на гласова информация от кабелни телекомуникационни линии, отметки за радиомикрофон, телефонни отметки, маркери за микрофон, минимафонни записващи устройства и диктофони);
- Електромагнитно прихващане на информация (в комуникационни радио мрежи), фалшиви електромагнитни излъчвания, лъжливи електромагнитни смущения, фалшиви модуляции на радиочестотни сигнали, фалшиви информационни токове и напрежения в спомагателни мрежи на оборудване за предаване на информация;

- Активен (контакт) неоторизиран достъп до информация;
- Използване на физически достъп чрез пряко засягане на материални носители, други средства за обработка и защита на информация;
- Използване на редовни и специално проектирани (адаптирани, програмирани) средства за тайно получаване, унищожаване, промяна и блокиране на информация;
- Неволни (грешките в човешката дейност са непреодолими фактори);
- Грешки при създаването (производството) на електронни компютърни технологии, телекомуникации и защита на информацията (грешки при проектирането, кодирането на информация, производствените елементи на хардуера и системите);
- Грешки, които възникват по време на експлоатацията (работата) на електронната компютърна техника, телекомуникациите и защитата на информацията – неадекватност на концепцията за сигурност; грешки в управлението на системата за сигурност; персонални грешки; повреди на оборудване и повреди на софтуер; грешки при производството и пускане в експлоатация и ремонтни работи.

#### 2. Престъпни тенденции в киберпространството

Фишингът се усъвършенства – Фишинг атаките, при които внимателно насочени съобщения се предават, за да заблудят хората да кликнат върху връзка, която след това може да инсталира злонамерен софтуер или да разкрие чувствителни данни, стават все по-сложни.

Сега, когато служителите в повечето организации са по-наясно с опасностите от фишинг на имейли или от щракване върху подозрително изглеждащи връзки, хакерите увеличават интензитета – например с помощта на машинно обучение за много по-бързо създаване и разпространение на убедителни фалшиви съобщения с надеждата, че получателите неволно ще компрометират мрежите и системите на своята организация. Такива атаки позволяват на хакерите да откраднат потребителски данни за вход, идентификационни данни на кредитни карти и други видове лична финансова информация, както и да получат достъп до частни бази с данни.

Ransomware Strategies Evolve – Смята се, че Ransomware атаките струват на жертвите милиарди долари всяка година, тъй като хакерите използват технологии, които им позволяват буквално да отвличат бази с данни на дадено лице или организация и да съхраняват цялата информация с цел откуп. Нарастването на криптовалутите като биткойн се приписва на това, че помага за подхранване на атаките на рансъмуер, като позволява исканията за откуп да бъдат платени анонимно.

Тъй като компаниите продължават да се фокусират върху изграждането на по-силна защита, за да се

предпазят от пробиви на рансъмуер, някои експерти смятат, че хакерите все повече ще се насочват към други потенциално печеливши жертви на рансъмуер, като например хора с „висока нетна“ стойност [5].

Криптоджакинг – Движението на криптовалута също влияе на киберсигурността по други начини. Например криптокраденето е тенденция, която включва кибер престъпници, „отвлечащи“ домашни или работни компютри на трети страни, за да „добиват“ криптовалута. Тъй като добивът на криптовалута изисква огромно количество компютърна мощност за обработка, хакерите могат да печелят пари, тайно правейки ги в чужди системи. За бизнеса подобни системи могат да причинят сериозни проблеми с производителността и скъпото време за престой, докато се работи за проследяване и разрешаване на проблема.

Кибер-физически атаки – Същата технология, която позволява да се модернизира и компютъризира критичната инфраструктура, също носи риск. Продължаващата заплаха от хакове, насочени към електрически мрежи, транспортни системи, пречиствателни станции, индустриални системи и др., ще представлява голяма уязвимост напред. Според скорошен доклад в Ню Йорк Таймс, дори милиардните военни системи на Америка са изложени на риск от високотехнологични атаки.

Спонсирани от държавата атаки – Освен хакерите, които искат да спечелят чрез кражба на индивидуални и корпоративни данни, цели държави вече използват кибер уменията на своите служители за проникване в други правителства и извършване на атаки срещу критична инфраструктура. Киберпрестъпността е основна заплаха не само за частния сектор и за хората, но и за правителството и нацията като цяло. След 2021 г. се очаква нарастването на спонсирани от държавата атаки, като атаките срещу критична инфраструктура са от особено значение.

Много такива атаки са насочени към управлявани от правителството системи и инфраструктура, но организациите от частния сектор също са изложени на риск. Според доклад на Thomson Reuters Labs: „Спонсирани от държавата кибератаки са нововъзникващ и значителен риск за частното предприятие, който все повече ще предизвиква онези сектори от света на бизнеса, които осигуряват удобни цели за уреждане на геополитически оплаквания.” [6].

IoT атаки – Интернет става все по-разпространен и достъпен (според Statista.com броят на устройствата, свързани към IoT, се очаква да достигне 75 милиарда до 2025 г.) [7]. Включва лаптопи и таблети, но също така и рутери, уеб камери, домакински уреди, интелигентни часовници, медицински устройства, производствено оборудване, автомобили и дори системи за домашна сигурност.

Свързаните устройства са удобни за потребителите и сега много компании ги използват, за да спестят пари, като събират огромни количества проникателни данни и рационализират бизнес процесите. Свързаните устройства обаче означават по-голям риск, правейки IoT

мрежите по-уязвими от кибер нашествия и инфекции. Веднъж контролирани от хакери, IoT устройствата могат да се използват за създаване на хаос, претоварване на мрежи или заключване на основно оборудване за финансова печалба.

Интелигентни медицински устройства и електронни медицински досиета (EMR) – Здравната индустрия все още претърпява сериозна еволюция, тъй като повечето медицински досиета на пациентите вече се преместват онлайн и медицинските специалисти осъзнават предимствата на напредъка в интелигентните медицински устройства. Въпреки това, тъй като здравната индустрия се адаптира към дигиталната ера, има редица опасения относно заплахите за неприкосновеността на личния живот, безопасността и киберсигурността.

Според Института за софтуерно инженерство на университета „Карнеги Мелън“: „Тъй като все повече устройства са свързани към болнични и клинични мрежи, данните и информацията за пациентите ще стават все по-уязвими. Още по-загрижен е рискът от отдалечено компрометиране на устройство, пряко свързано с пациент. Нападателят може теоретично да увеличи или намали дозите, да изпрати електрически сигнали до пациент или да деактивира наблюдението на жизнените признаци.”

Тъй като болниците и медицинските заведения все още се адаптират към дигитализацията на медицинските досиета на пациентите, хакерите използват многобройните уязвимости в защитните им системи. И сега, когато медицинските досиета на пациентите са почти изцяло онлайн, те са основна цел за хакерите поради чувствителната информация, която съдържат.

Трети страни (доставчици, изпълнители, партньори) – трети страни като доставчици и изпълнители представляват огромен риск за корпорациите, по-голямата част, от които не разполагат със защитена система или специален екип за управление на тези служители от трети страни.

Тъй като кибер престъпниците стават все по-усъвършенствани и заплахите за киберсигурността продължават да нарастват, организациите все повече осъзнават потенциалната заплаха, породена от трети страни. Рискът обаче все още е висок.

Доклад за „Рискове за сигурността при взаимоотношения с доставчици на трети страни”, публикуван от RiskManagementMonitor.com [8], включва информация, в която се изчислява, че 60% от нарушенията на данните включват трета страна, и че само 52% от компаниите разполагат със стандарти за сигурност по отношение на доставчици от трети страни.

Свързани автомобили и полуавтономни превозни средства – Докато колата без шофьор е близо, но все още не е тук, свързаната кола е. Свързаният автомобил използва бордови сензори, за да оптимизира собствената си работа и комфорта на пътниците. Това обикновено се прави чрез вградена, свързана или интегрирана смартфон система. С развитието на технологиите свързаният автомобил става все по-разпространен. До

2020 г. около 90% от новите автомобили са свързани към интернет.

За хакерите това развитие в автомобилното производство и дизайн означава още една възможност да се използват уязвимости в несигурни системи и да се откраднат чувствителни данни и/или да се навреди на шофьорите. В допълнение към опасенията за безопасност, свързаните автомобили създават сериозни опасения относно поверителността.

Тъй като производителите се втурват към пазара с високотехнологични автомобили, през 2021 г. вероятно ще се увеличи не само броят на свързаните автомобили, но и броят и тежестта на откритите уязвимости на системата.

Социално инженерство – Хакерите непрекъснато стават все по-усъвършенствани не само в използването на технологии, но и в психологията. Tripwire описва социалните инженери като „хакери, които използват единствената слабост, която се среща във всяка организация: човешката психология. Използвайки различни медии, включително телефонни обаждания и социални медии, тези нападатели подвеждат хората да им предлагат достъп до чувствителна информация.” [9].

Силен недостиг на специалисти по киберсигурност – Епидемията от киберпрестъпления ескалира бързо през последните години, особено в COVID периода, докато компаниите и правителствата се борят да наемат достатъчно квалифицирани специалисти, за да се предпазят от нарастващата заплаха. Очаква се тази тенденция да продължи и през следващите години.

#### IV. ДЪРЖАВЕН И КОРПОРАТИВЕН ШПИОНАЖ

Този тип атаки се отнасят до кражба на данни на корпорации, свързани с патентовани методи или нововъзникващи продукти/услуги.

- Операция „Аврора” [10] – представлява поредица от кибератаки, проведени от напреднали постоянни заплахи като Elderwood Group, базирана в Пекин, Китай, свързани с Народната освободителна армия. За първи път публично разкрити от Google на 12 януари 2010 г.;
- Операция „Социалист” [11] – операция GCHQ от Обединеното кралство за получаване на информация от белгийската телекомуникационна компания Belgacom за информация за разговор;
- Хак на Sony Pictures Entertainment [12] – На 24 ноември 2014 г., хакерска група, която се идентифицира с името „Пазители на мира” изтегля и освобождава поверителни данни от филмовото студио Sony Pictures. Данните включват лична информация за служители на Sony Pictures и техните семейства, имейли между служители, информация за заплати на ръководители в компанията, копия на неиздавани дотогава филми на Sony, планове за бъдещи филми на Sony, сценарии за определени филми и друга информация. След това извършителите използват вариант на зловредния софтуер на

чистачките Shamoon, за да изтрият компютърната инфраструктура на Sony;

- Нитро кибератаки – злонамерен софтуер, 48 потвърдени компании са заразени с троянски код, наречен Poison Ivy [13], който прехвърля интелектуалната собственост към отдалечени сървъри.

Следните атаки са свързани с кражба на информация от/за държавни организации:

- 2008 г. – кибератака срещу САЩ, кибер шпионаж, насочен към американски военни компютри;
- Кибератака по време на срещата на върха на Г-20 в Париж, насочена към документи, свързани с Г-20, включително финансова информация;
- GhostNet – GhostNet е името, дадено от изследователи от Information Warfare Monitor на мащабна операция за кибер шпионаж, открита през март 2009 г. [14];
- Лунният лабиринт – Moonlight Maze е разследване на правителството на САЩ през 1999 г. за мащабно изтичане на данни с класифицирана информация. Започва през 1996 г. и засяга НАСА, Пентагона, военни изпълнители, цивилни академици, DOE и много други американски правителствени агенции [15];
- Операция Newscaster [16], скрита операция за кибер шпионаж, за която се твърди, че се провежда от Иран;
- Операция Cleaver [17], скрита операция на кибервойна, за която се твърди, че се провежда от Иран;
- Shadow Network [18], атаки срещу Индия от Китай;
- Titan Rain [19], насочен към доставчици за отбраната в САЩ;
- Google – през 2009 г. китайски хакери атакуват корпоративните сървъри на Google, получават достъп до бази с данни, съдържащи класифицирана информация за заподозрени шпиони, агенти и терористи под наблюдение от правителството на САЩ [20];
- Троянецът Gauss, открит през 2012 г., е спонсорирана от държавата операция за компютърен шпионаж, която използва най-съвременен софтуер за извличане на богатство от чувствителни данни от хиляди машини, разположени предимно в Близкия изток [21];
- Кибератака срещу Службата за управление на персонала. През 2014 г. близо 4 милиона бивши и настоящи федерални служители може да са станали жертви. Атаката е с произход от Китай [22];

- Шестмесечна кибератака срещу германския парламент, за която е заподозряна групата Софаси [23].

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наред с развитието на технологиите за реализиране на Индустрия 4.0 е необходимо да се помисли и за адекватната им защита в киберпространството. Както се вижда има множество видове кибератаки, а така също и много заинтересовани от провеждането им. Това налага сериозно да се вземат мерки по осигуряването на защита на процесите, протичащи в киберпространството, така че да не се допуска уязвимост при реализацията на Индустрия 4.0.

Необходимо е да се спазват прости правила като:

- да се изисква удостоверяване на самоличността на всеки ползвател на услугите в системата;
- използваните пароли да са с 8 символа най-малко, като има от всички групи символи;
- да не се ползва еднаква парола за много сайтове;
- да не се използват приложения с отворен код;
- антивирусните дефиниции да се осъвременяват своевременно;
- персоналът да преминава обучение регулярно.

Когато тези правила се спазват може да се говори за култура на ползването на дигитални услуги, при която течовете на информация не е силно застрашена. Разбира се риска от подобни течове не може да се премахне, но може да се намали до приемливи граници.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] [https://bg.wikipedia.org/wiki/Индустрия\\_4.0](https://bg.wikipedia.org/wiki/Индустрия_4.0). Посетен на 29.03.2022 г.
- [2] <https://www.mi.government.bg/bg/themes/koncepciya-za-cifrova-transformaciya-na-balgarskata-industriya-industriya-4-0-1862-468.html>. Посетен на 29.03.2022 г.
- [3] <http://english.bdi.eu/article/news/what-is-industry-40/> Посетен на 29.03.2022 г.
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Кибератака> Посетен на 29.03.2022 г.
- [5] Мур, М., „Топ заплахи за киберсигурност през 2020 г.“, Университет в Сан Диего, <https://onlinedegrees.sandiego.edu/top-cyber-security-threats/>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [6] Ризов, В., Сигурността в киберпространството – колективна отговорност. [https://www.dksi.bg/media/2583/rizov\\_doclad.pdf](https://www.dksi.bg/media/2583/rizov_doclad.pdf), Посетен на 29.03.2022 г.
- [7] <https://www.statista.com/outlook/tmo/devices/worldwide>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [8] <https://www.riskmanagementmonitor.com/security-risks-of-third-party-vendor-relationships/>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [9] Cybersecurity for Enterprise and Industrial Organizations. <https://www.tripwire.com/>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [10] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Операция\\_«Аврора»](https://ru.wikipedia.org/wiki/Операция_«Аврора») Посетен на 29.03.2022 г.
- [11] <https://www.gchq.gov.uk/> Посетен на 29.03.2022 г.
- [12] Сибони, Г., Симантов, Д., (23. Декември 2014), „Изнудване в киберпространството: Северна Корея срещу САЩ“.
- [13] Poison Ivy: Assessing damage and extracting intelligence. <https://www.mandiant.com/resources/poison-ivy-assessing-damage-and-extracting-intelligence>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [14] Major cyber spy network uncovered. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/americas/7970471.stm>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [15] Moonlight Maze. <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/moonlight-maze>, v
- [16] Operation Newscaster. [https://en.wikipedia.org/wiki/Operation\\_Newscaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Newscaster), Посетен на 29.03.2022 г.
- [17] Operation Cleaver — Iranian Hackers Targeting Critical Infrastructure Worldwide. <https://thehackernews.com/2014/12/Operation-Cleaver-cyber-espionage.html>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [18] Shadow Network. [https://en.wikipedia.org/wiki/Shadow\\_Network](https://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_Network), Посетен на 29.03.2022 г.
- [19] Titan Rain. <https://www.cfr.org/cyber-operations/titan-rain>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [20] Гудин, Д. (21 май 2013 г.), „Съобщава се, че китайски хакери, които са нарушили Google, са се насочили към класифицирани данни“, Ars Technica, <https://arstechnica.com/information-technology/2013/05/chinese-hackers-who-breached-google-reportedly-targeted-classified-data/>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [21] Гудин, Д. (9 август 2012 г.), „Спонсорираният от нацията зловреден софтуер със връзки Stuxnet има загадъчна бойна глава“, Ars Technica, <https://arstechnica.com/information-technology/2012/08/nation-sponsored-malware-has-mystery-warhead/>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [22] Сандърс, С., (4 юни 2015), „Масовото нарушаване на данни поставят 4 милиона записи на федералните служители в риск“, <https://www.npr.org/sections/thetwo-way/2015/06/04/412086068/massive-data-breach-puts-4-million-federal-employees-records-at-risk?t=1621354437164>, Посетен на 29.03.2022 г.
- [23] „Руски хакери, заподозрени в кибератака срещу германския парламент“, (19 юни 2015), Лондон Югоизток, Алианс новини, <https://www.lse.co.uk/news/russian-hackers-suspected-in-cyberattack-on-german-parliament-i2sja5cp2v12fuw.html>, Посетен на 29.03.2022 г.





## **INDUSTRY 4.0 AND THE CHALLENGES OF PROVIDING SECURITY AND PROTECTION IN CYBERSPACE**

Chavdar Kostadinov

Dep. Communication and information systems

Rakovski National Defence College

Sofia, Bulgaria

e-mail: ch.kostadinov@rncd.bg

**Abstract:** The article presents the most common types of cybercrime and cyberattacks. An analysis of the threats to Industry 4.0 has been made and trends in combating them have been examined.

## РАЗПРЕДЕЛЕНА АРХИТЕКТУРА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА МОДУЛНИ РОБОТИ

Денис Чикуртев  
Институт по ИКТ  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: denis.chikurtev@iict.bas.bg

Ава Чикуртева  
Институт по ИКТ  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: ava.chikurteva@iict.bas.bg

**Резюме:** в статията е представена ролята на ИКТ за развитие на роботиката. Благодарение на ИКТ роботиката е много по-достъпна за масовата аудитория и набира все повече популярност и последователи. Самите технологии предоставят възможности за по-лесно разбиране на роботиката, създаване на симулационни модели, отдалечен достъп до роботи и методи за управление. Представена е иновативна концепция за оптимизиране на управлението на роботите, чрез използване на сервизно-ориентирани архитектури. На база на тази концепция е представен пример за управление на мобилен робот чрез модули за навигация и компютърно зрение. В резултат на представената концепция се вижда, че по този метод могат да се реализират множество автономни и полу-автономни функции в един робот, така че той да бъде лесен за управление от човека или да се самоуправлява.

**Ключови думи:** роботика, ИКТ, разпределени архитектури, ROS

### I. Увод

Роботиката е сектор, който е изключително важен и допринася за развитие и подобряване на индустрия, производство, транспорт, услуги, медицина, образование и други [1, 2, 3, 4]. Актуалните тенденции в развитието на технологиите и повишаването на производствените и потребителските нужди доведе до създаване на нови концепции и визии като Индустрия 4.0, 5.0, Интернет на нещата, кибер-физични системи и други. Във всички тези направления роботите заемат основна роля и са главно изпълнително звено [5, 6, 7]. За да бъде възможно внедряването и използването на роботи във всички сфери и те да могат да си взаимодействат адекватно с околната среда, с хората и с другите машини се прилагат иновациите в ИКТ [8]. Тези технологии позволяват да се обменят данни между роботите и останалите участници в една мрежа. развитието на ИКТ дава възможност за големия прогрес в сферата на роботиката [9]. Тези технологии позволяват отдалечен достъп до роботите. Чрез технологиите можем, както да управляваме роботите отдалечено, така да извличаме информация от техните сензори и системи, да я съхраняваме в данни и да я обработваме.

В днешно време наблюдаваме, че роботите са разпространени във всички сфери от ежедневието и производството – индустрия, здравеопазване, дом, обществени сгради, образование и други [10, 11]. Роботите стават все по-сложни като конструкция и хардуер, което води и до усложняване на софтуера за тяхното управление [12]. За да се опростят хардуерните

системи и съответно софтуера се въвежда принципа на модулността [13]. Идеята е робота да бъде изграден от различни модули, които хардуерно са съставени от вградени системи, сензори и изпълнителни механизми. Модулите се управляват от собствен софтуер, който обаче предоставя възможност за комуникация с други модули. Така се постига разпределена хардуерна и софтуерна архитектура. Основно предимство на тази концепция е лесното преконфигуриране на модулите, лесен достъп до информация за всеки модул, намаляване на сложността на един робот и увеличаване на изчислителната производителност. После лесно биха могли да се вградят в производствените линии и процеси.

Тази концепция стана възможна за изпълнение през последните години поради значителното увеличаване на изчислителните възможности на хардуерните устройства. Към момента можем на един обикновен миникомпютър с ARM процесор да инсталиране Линукс базирана дистрибуция, както и различни библиотеки и инструменти за управление на роботи или изграждане на мрежи, сървъри и други. В допълнение значително се развиха информационните технологии под формата на софтуер с различно приложение (изкуствен интелект, обработване на изображения, база данни), които вече се поддържат от повечето операционни системи, могат да се инсталират върху вградени системи, умни устройства и други.

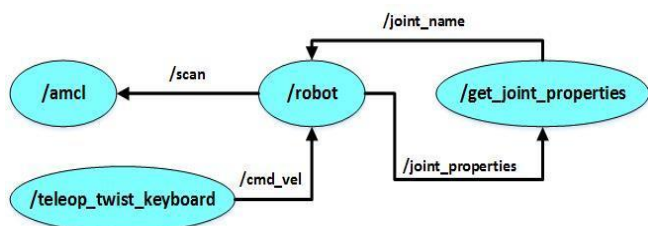
Ключова роля за развитието на роботиката в световен мащаб заема операционната система за роботи ROS. Благодарение на възможностите на ROS за комуникация с външни устройства, чрез различни интерфейси – безжични и жични, съвременните роботи могат да се свързват и взаимодействат с тези устройства [14]. Принципа на работа на ROS дава възможност за свързване на различни устройства, управлявани под ROS в една мрежа и по този начин те могат да комуникират помежду си, без да е необходимо да се инсталират или стартират допълнителни библиотеки или приложения [15]. Това е възможно благодарение на уеб технологиите. Те са ключов елемент за създаване на мрежи от устройства, които да могат да комуникират помежду си.

В настоящата статия е разгледан концептуален модел на разпределена архитектура, която е базирана на отделни модули изграждащи един сервизен робот. Представени са някои основни особености при работа с ROS, така че да е възможно концептуалния модел да бъде приложен. След това е дадени пример на модул за компютърно зрение като са представени примерни хардуерни и софтуерни конфигурации.

## II. ОПЕРАЦИОННА СИСТЕМА ЗА РОБОТИ (ROS)

ROS е мета-операционна система с отворен код, която е специално създадена за приложение в роботиката, роботизираните и автоматизирани системи. ROS притежава собствено ядро и голям набор от пакети, в които се изпълняват програмите и алгоритмите. Ролята на ядрото е да свързва останалите елементи от системата, за да могат те да си комуникират. Основните елементи от архитектурата на ROS са нодове, топици, сървизи, действия и съобщения. Нодовете са компонентите, в които се изпълняват програмите за управление и обработване на данни. За да могат нодовете да комуникират помежду си се използват топиците и сървизите. А данните, които се обменят са във формата на съобщения. Топиците служат за обмен на съобщения между нодовете, като трябва да се отбележи, че те предават данните еднопосочно. Сървизите и действията се използват за автоматизиране на процеси, като чрез тях нодовете изпращат заявки помежду си и връщат отговори. Сървизите са синхронизирани, а действията са синхронизирани и несинхронизирани. Съобщенията в ROS са базирани на стандартни типове данни (integer, floating point, Boolean), като може да се създават нови типове съобщения, чрез използване на стандартните. Съобщенията се използват за предаване на данни от всички останали елементи в ROS.

Голямо предимство на ROS е поддръжката на различни интерфейси за комуникация с външни устройства и системи. Има възможност за свързване през серийни постове или безжично чрез WEB, HTTP, MQTT протоколите. Именно това свойство на ROS позволява обособяването на модулна архитектура при роботите. Така в един робот можем да имаме различни модули, които са свързани посредством USB порт, а други да бъдат свързани към WI-FI модем на робота. Поддържането на уеб технологиите също така позволява отдалечен достъп до робота и свързаните с него устройства. За реализиране на връзка чрез USB се използва пакета за серийна комуникация `rosserial`. Той поддържа работа с различни микроконтролери като Arduino, ESP 8266, ESP32, Teensy, STM32 и други. За безжична комуникация се използват два популярни пакета `rosbridge_suite` и `mqtt_bridge`. Първия пакет е масово използван за свързване на ROS със уеб базирани технологии, чрез използване на уеб сокети. Втория пакет е за предаване на съобщения чрез MQTT протокол. За работа с уеб технологиите и създаване на уеб приложения за роботи може да се използват `robot web tools`.



Фиг. 1. Структура на елементите за управление на робот в ROS.

На фигура 1 е представена примерна структура на система за управление на робот под ROS, която включва три нода, два топика и една услуга. За представяне на

схемата е използван симулиран модел на робот в средата Gazebo.

Показаните нодове са:

- `/robot` - този нод представлява алгоритмите за управление на робота и обработва сензорните данни;
- `/teleop_twist_keyboard` - изпраща команди за движение на мобилен робот, чрез управление от клавиатурата;
- `/amcl` - нод за определяне на локализацията на робота, като получава данни от лазерен скенер или друг сензор за измерване на разстояние.

Нодовете комуникират чрез топиците `/cmd_vel` и `/scan`. Чрез топика `/cmd_vel` нода `teleop` изпраща съобщения за движение на робота към нода `/robot`. Топика `/scan` изпраща съобщения от лазерния скенер на робота към `/amcl` нода. И докато нодовете обработват данни и непрестанно публикуват съобщение, услугата се извиква еднократно при необходимост. Показаната услуга в този пример е `/get_joint_properties`. Когато се извика услугата със параметър `"joint_name: 'name'"`, тя изпраща заявка до `/robot` нода. След като заявката е изпратена, се изпълняват заложените в сървиза действия/функции и в отговора се изпращат следните данни: `type, damping, pos, rate`. Тези данни са получени вследствие от заложените във сървиза функции. Така чрез използване на сървизи, можем да автоматизираме различни процеси за изчисляване на параметри или за изпълнение на действия.

## III. МОДЕЛ НА СИСТЕМАТА С РАЗПРЕДЕЛЕНА АРХИТЕКТУРА

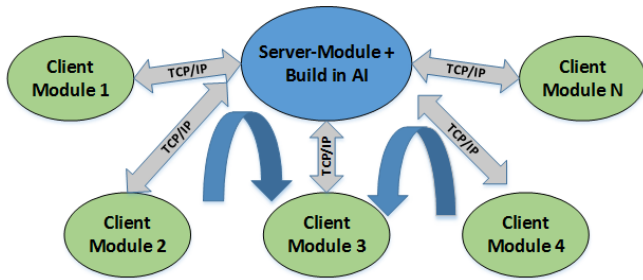
Концептуалният модел на разпределена система за управление на комплексни устройства е изграден от хардуерни и софтуерни модули и е базиран на комуникация тип клиент-сървър. Нека първо да дадем определение за модул, за да се изясни по-добре концепцията на предложената система.

*„Модулът представлява независимо устройство изградено от хардуерни компоненти, които са програмирани да изпълняват определени функции и/или действия според получени външни команди. „*

Модулите трябва да имат възможност за свързване към уеб мрежа чрез LAN кабел или Wi-Fi, така че да могат да получават заявки или да изпращат данни. Процесите в модулите трябва да бъдат максимално автоматизирани и лесно достъпни. Например може да имаме модул „управление на манипулатор“. Този модул хардуерно ще бъде изграден от микроконтролер и драйвъри и ще бъде програмиран да управлява манипулатор, като очаква да получи желани координати. За да комуникира с останалите модули, примерния модул може да бъде свързан чрез LAN кабел към switch или чрез Wi-Fi модул към рутер. Вида на комуникацията се определя според съответните характеристики на модулите и данните, които се предвижда те да предават. Всеки модул трябва да може да изпълнява самостоятелно своите функции, след като получи външни команди.

Поради вида на комуникационната система е най-подходящо да се използва архитектура базирана на

услуги, като това не е единствената форма на комуникация. Системата ще поддържа и останалите типове комуникация – чрез уеб-сокети за предаване на данни от топици. По този начин, при необходимост модулите ще могат да обменят данни помежду си. Идеята е в центъра на системата да бъде изграден модул за взимане на решения и управление, които модул да подава команди към другите модули или да бъде свързващо звено между тях. Така организирана тази система позволява към един управляващ модул-сървър да бъдат свързани множество изпълнителни модули-клиенти. На фигура 2 представена примерна структура на разглежданата система.



Фиг. 2. Общ вид на системата с разпределена архитектура.

Както се вижда на фигурата всеки модул е независим от останалите. Отделните модули могат да изпълняват своите задачи според заданието на управляващия сървър-модул и при необходимост да изпращат или получават данни, от който и да е друг модул. Сивите стрелки обозначават двупосочната връзка между клиент-модулите и сървър-модула, а сините стрелки показват, че връзката между отделните клиент модули е индиректна и данните преминават през сървър-модула. Разбира се при необходимост, понеже комуникацията е базирана на мрежи, може клиент-модулите да обменят информация директно, без да е необходимо да се минава през сървър-модула.

На този етап от развитието на предложената система се планира управляващия модул да бъде изграден от ядро и уеб сървър. Ядрото представлява софтуер базиран на изкуствен интелект и ще е способен да генерира команди към останалите модули на база получените команди от човек или друг външен източник, а в следствие да може да предприема самостоятелни действия, на база натрупан опит. Уеб сървъра ще служи за осъществяване на комуникация между ядрото и останалите модули. Той изгражда цялостната мрежа. Поради модулността можем да изтъкнем следното предимство, че за реализиране на сървър-модула можем да използваме каквито поискаме или най-подходящите според изискванията технологии. Например за ядрото можем да използваме система от невронни мрежи реализирана чрез Tensorflow+Keras, а за уеб сървъра можем да използваме някоя или няколко от технологиите като Django, Nodejs, Flask и други.

За да може да функционира един робот базиран на тази архитектура, всеки един от модулите трябва да бъде предварително програмиран, така че да може да изпълнява автоматизирано дадени команди. От друга страна управляващия модул трябва да има информация за това, какви са поддржаните функции на всеки модул и

какво изпълняват тези функции. Едно от решенията на този проблем е въвеждане на автоматизирани процеси и функции, които при изпращане на заявка от управляващия модул за инициализиране на даден модул-клиент, този клиент да изпраща поддржаните от него функции и допълнителна информация за тях, както и какви данни може да споделя в мрежата. По този начин управляващия модул, ще може да се запознае детайлно с даден модул и ще знае как да го използва, при изпълнение на задачи. За да е способен да управлява клиент-модулите, управляващия модул трябва да има способността да се обучава или само обучава. Това е важно при модифициране, премахване или добавяне на клиент-модули.

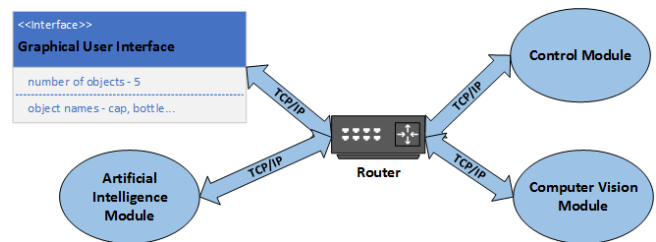
Различните хардуерни модули могат да бъдат управлявани чрез различни софтуерни технологии и платформи. Тук идеята е да се използва ROS, като софтуер за управление. Така ще може да се възползваме от предимствата на ROS – уеб комуникация чрез сокети, изпълнение на сървизи и действия, предаване на данни чрез топици, множество готови за използване алгоритми. Всеки модул ще има заложен функции и ще може да бъде надграждан чрез софтуерни пакети.

Сервизно-базираната архитектурата позволява да се постигне голямо бързодействие поради начина на работа. Комуникацията чрез сървизи изразходва минимални мрежови ресурси, изпращат се само заявки с кратки съобщения, а в отговор се изпращат или кратки съобщения за моментни данни или за успешно/неуспешно изпълнени операции и функции. По този начин дори когато се наложи да се предават големи обеми от данни като видео стрийм, няма опасност от забавяне в изпращането заявки през сървизите.

IV. ПРИМЕРНО РЕШЕНИЕ

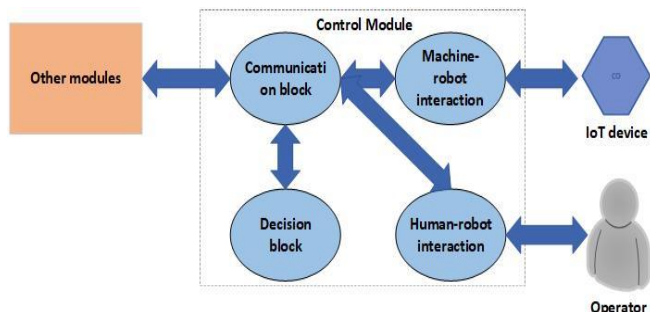
В този раздел ще разгледаме примерно изпълнение на модул за управление на системата и на модул за компютърно зрение. Както вече споменахме по-горе всеки модул трябва да има уеб интерфейс за свързване в мрежа с други модули или устройства. Освен това трябва да бъде предвиден метод за взаимодействие между човек и робот. Затова ще приемем, че управляващия модул ще притежава уеб графичен интерфейс, чрез който човека да може да управлява един робот или да наблюдава параметри от неговите системи.

Разглеждаме примерната схема представена във фигура 3. Модулът за управление получава команди от графичен интерфейс, а модула за компютърно зрение получава команди и изпраща отговори към управляващия модул. Всички модули, включително и потребителските устройства са свързани към безжичен рутер.



Фиг. 3. Структура на разглежданата примерна разпределена система.

Както споменахме по-горе ролята на този модул е да управлява останалите модули, след като е получил команди от потребител или според дадени условия е преценил, че трябва да се предприема действие. Основната функционална структура на един управляващ модул е представена на фигура 4. Модулът е изграден от блок за комуникация с другите модули, блок за вземане на решения, блок за взаимодействие с човек и блок за взаимодействие с други устройства. Блока за комуникацията с другите модули е базиран на уеб технологиите и представлява уеб сървър, който се свързва с другите модули посредством уеб сокети. По този начин може да се обменят, както сървизи така и топици или други типове съобщения. Блока за вземане на решения има за задача да направи възможна автономността на роботите. Този блок е базиран на технологиите за разработване на изкуствен интелект и се свързва с уеб сървъра чрез 'backend' технологиите. Блока за взаимодействие с потребител е изпълнен под формата на уеб графичен интерфейс. Той е част от 'frontend' технологиите и е свързан към уеб сървъра за комуникации. Чрез графичния интерфейс оператора може да наблюдава и настройва всички възможни параметри в цялата система, включително видео от модула за компютърно зрение и всички негови параметри. По този начин потребителя може директно да управлява различните модули без да зависи от модула за вземане на решения. И накрая блока за взаимодействие с други устройства е базиран на IoT технологиите и дава възможност за получаване на данни от външни устройства или за управлението им.



Фиг. 4. Структура на представения управляващ модул.

В нашия пример приемаме, че модула за компютърно зрение е разработен за разпознаване на предмети от бита. Модула е съставен от микрокомпютър и цветна камера. Някои от неговите функции са следните: брой разпознати предмети в момента, имената на разпознатите предмети, местоположение на предметите и други. Освен това модула може да изпраща чрез топици видео от камерата си и/или видео след приложените алгоритми за компютърно зрение, където разпознатите предмети и техните параметри са вградени във картината.

След като имаме функциониращ модул за компютърно зрение можем да разгледаме следните сценарии:

- потребителя иска от робота да му донесе даден предмет от кухнята: при тази ситуация потребителя казва името на предмета, след което модула за управление се заема с нея. Той изпраща

заявка до зрителния модул за имената на разпознатите предмети. Ако сред тях е желанието от потребителя предмет, следва заявка за местоположението на предмета. Ако няма такъв предмет следва да се предприеме процедура по търсена на предмета в стаята. Това е един примерен вариант, а за последващи действия свързани с движение и манипулация трябва да се включат съответните допълнителни модули;

- потребителя иска от робота да му каже наличните продукти в хладилника (приемаме, че робота се намира пред отворен хладилник): при тази ситуация модула за управление изпраща заявка за имената на всички разпознати предмети. За по голяма яснота в тази ситуация, може да се зареди видео с разпознатите предмети, така че оператора да се ориентира по-добре.

Тези примери са с цел онагледяване функционирането на разпределената архитектура, представена в това изследване. Цялостните процеси по функциониране на модулите и на системата реално са доста по-комплексни и изискват изпращане на множество заявки и съответните им отговори. Поради това идеята е комуникацията да е базирана на сервизи.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията разгледахме накратко как ИКТ помагат за развитието на роботиката. Чрез прилагане на новите тенденции в ИКТ бе представена иновативна разпределена архитектура за управление на роботи. Архитектурата е базирана на уеб комуникациите, чрез услуги и е предназначена за управление на модули. Представена е дефиниция за модул, като част от тази архитектура. Описани са подробно особеностите на работа и комуникация на отделните модули. Накрая е представена примерна система от два модула за да се покаже принципа на работа на системата и как биха се реализирали модулите от гледна точка на хардуер и софтуер. От изложеното до момента можем да кажем, че предложената система има потенциал за широко приложение в комплексните машини и системи, каквито са роботите, автономните автомобили, производствени системи и други.

За бъдеща работа се предвижда да се разработят различни модули, които да бъдат свързани в една система за управление на мобилен робот и на робот манипулатор.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shukla, A. and Karki, H., 2016. Application of robotics in onshore oil and gas industry—A review Part I. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, pp.490-507.
- [2] Iqbal, J., Khan, Z.H. and Khalid, A., 2017. Prospects of robotics in food industry. *Food Science and Technology*, 37(2), pp.159-165.
- [3] Jeelani, S., Dany, A., Anand, B., Vandana, S., Maheswaran, T. and Rajkumar, E., 2015. Robotics and medicine: A scientific rainbow in hospital. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 7(Suppl 2), p.S381.
- [4] Abou Allaban, A., Wang, M. and Padir, T., 2020. A systematic review of robotics research in support of in-home care for older adults. *Information*, 11(2), p.75.
- [5] Goel, R. and Gupta, P., 2020. Robotics and industry 4.0. In *A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development* (pp. 157-169). Springer, Cham.

- 
- [6] Roy Chowdhury, A., 2017. IoT and Robotics: a synergy. PeerJ Preprints, 5, p.e2760v1.
- [7] Khalid, A., Kirisci, P., Ghrairi, Z., Thoben, K.D. and Pannek, J., 2016. A methodology to develop collaborative robotic cyber physical systems for production environments. Logistics Research, 9(1), pp.1-15.
- [8] Li, G., Wang, H. and Hardjawana, W., 2020. New advancement in information technologies for industry 4.0.
- [9] Martynov, V.V., Shavaleeva, D.N. and Zaytseva, A.A., 2019, September. Information Technology as the Basis for Transformation into a Digital Society and Industry 5.0. In 2019 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"(IT&QM&IS) (pp. 539-543). IEEE.
- [10] Demir, K.A., Döven, G. and Sezen, B., 2019. Industry 5.0 and human-robot co-working. Procedia computer science, 158, pp.688-695.
- [11] McLurkin, J., Rykowski, J., John, M., Kaseman, Q. and Lynch, A.J., 2012. Using multi-robot systems for engineering education: Teaching and outreach with large numbers of an advanced, low-cost robot. IEEE transactions on education, 56(1), pp.24-33.
- [12] Baraka, K. and Veloso, M.M., 2018. Mobile service robot state revealing through expressive lights: formalism, design, and evaluation. International Journal of Social Robotics, 10(1), pp.65-92.
- [13] Zarco, L., Siegert, J. and Bauernhansl, T., 2019. Software Model Requirements Applied to a Cyber-Physical Modular Robot in a Production Environment. Procedia CIRP, 81, pp.352-357.
- [14] Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R. and Ng, A.Y., 2009, May. ROS: an open-source Robot Operating System. In ICRA workshop on open source software (Vol. 3, No. 3.2, p. 5).
- [15] Hellmund, A.M., Wirges, S., Taş, Ö.Ş., Bandera, C. and Salscheider, N.O., 2016, November. Robot operating system: A modular software framework for automated driving. In 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1564-1570). IEEE.

## DISTRIBUTED ARCHITECTURE FOR MODULAR ROBOT CONTROL

Denis Chikurtev

Institute of ICT

Bulgarian Academy of Sciences

Sofia, Bulgaria

e-mail: denis.chikurtev@iict.bas.bg

Ava Chikurteva

Institute of ICT

Bulgarian Academy of Sciences

Sofia, Bulgaria

e-mail: ava.chikurteva@iict.bas.bg

**Abstract:** The article presents the role of ICT for the development of robotics. Thanks to ICT, robotics is much more accessible to the mass audience and is gaining more and more popularity and followers. The technologies themselves provide opportunities for easier understanding of robotics, creation of simulation models, remote access to robots and control methods. An innovative concept for optimizing the control of robots by using service-oriented architectures is presented. Based on this concept, an example of mobile robot control through computer vision module is presented. As a result of the presented concept, it can be seen that by applying this method many autonomous and semi-autonomous functions can be included in one robot, so that it is very easy to be controlled by man or to self-control.

## РАЗРАБОТВАНЕ НА КЛАСИФИКАЦИЯ НА PLC

Свилен Нейков  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: svilen@nkv.me

**Резюме:** В настоящият доклад ще бъдат разгледани съществуващи критерии за класификация на PLC, техни особености, ще бъдат предложени нови такива и ще бъде представена класификация с оглед напредването на технологиите и изисквания към технологичните процеси.

**Ключови думи:** PLC, класификация, IoT, адаптивно управление, данни, скорост

### I. ТЕРМИНОЛОГИЧНИ ПОНЯТИЯ

Програмируемите логически контролери са се превърнали в незаменима част от автоматизираните производствени процеси. Разработени през 60-те години на 20-ти Век, са започнали с размерите на куфари и изисквали логическите програми да бъдат разчертани на дъска, преди да бъдат въведени чрез цифрова клавиатура. От тогава те са еволюирали да бъдат по-малки, по-бързи и все по-способни да са в крачка с постоянно повишаващите се изисквания на модерното производство.

#### A. Първите PLC.

Първите такива контролери са разработени като решение, което да замени големите масиви от физически релета и таймери. По това време, използването на релета и таймери за приложения, които сега се поемат от PLC (PLC – програмируем логически контролер) са представлявали големи трудности. Повечето от които произлизат от необходимостта от използването на няколко релета за управлението на една машина, което заема огромна площ в производственото помещение. Освен това, релетата трябва да бъдат подвързани по специфичен начин за определената машина. Ако само едно реле откаже, цялата система спира работа, а откриването на проблема, може да отнеме часове. Също така имплементирането на промени идва със своите проблеми, често представящи се като необходимост за реконфигуриране на цялата система от нула [1].

#### B. Подобрения

##### 1) 70-те:

С появата на евтини микроконтролери в края на 70-те години, производителите на PLC започват да разработват графични програмни устройства. Те позволили на контролерите да бъдат програмирани цифрово чрез символи за нормално отворено и нормално затворено реле, бутони, ключове, бобини, стартери, клапани, таймери и много други. За съжаление, тези програмни устройства били изключително скъпи, често стрували повече от самият контролер за който били предназначени. Също така съществувало ограничението за програмиране само на конкретният модел контролер от конкретен

производител за който е произведено даденото устройство.

##### 2) 80-те:

През 80-те започват да се появяват софтуерни пакети на трети фирми, които могат да се използват за програмиране на набор от модели, от различни производители. Освен това те предоставят и много по-голямо количество документация и възможности за справки. Това довежда производителите на PLC да разработят и предложат свои собствени продукти които да се конкурират, както и да изкупят голяма част от фирмите които предлагали тези пакети [1].

По това време е разработен и IEC 61131-3 (IEC – Международен електротехнически комитет), стандарт за програмируеми контролери, който представлява стандарта към който се придържат всички софтуерни пакети за PLC. Този стандарт води със себе си консистентност при типовете данни, конвенциите за наименования, програмният път и др. Също така се въвеждат и петте стандартни програмни езика, ladder diagram (LD – релейна логика под формата на диаграми), function block diagrams (FBD – диаграми изградени от функционални блокове), sequential function chart (SFC – последователна функционална схема), structured text (ST – структуриран текст) и instruction list (IL – списък с инструкции).

##### 3) 90-те:

През 90-те години, клиентите започват да изискват интерактивни терминали които им позволяват да наблюдават софтуера на контролерите. В допълнение, тези терминали трябва да позволяват на операторите бързо да диагностицират възникнали повреди/грешки, което да ограничи драстично часовете необходими преди за откриване на проблема. Тази идея води до разработването на човеко-машинният интерфейс (ЧМИ) [1]. Първоначално ЧМИ е само цифров заместител на физическите бутони и се счита за твърде скъп за приложение там където има по-малко от 20 бутона. Но с напредването на разработката и нарастващото търсене на мониторин на машините, ЧМИ получава способността да превежда данни от машината които се записват от контролерите и да я изобразява в разбираем за оператора вид, системен статус, аларми, циклово време и др.

Към края на 90-те, контролерите вече са все по-малки, по-бързи, с повече памет, и с все повече функционалност. С настъпването на 21-ви Век напредъка на технологиите при контролерите полага основите на това клиентите да внедрят нова ера на интернет свързаност, големи масиви

данни, както и форми на изкуствен интелект на производственият етаж.

#### 4) Обобщение:

Днес контролерите запазват основната си функционалност и простота които в началото ги правят толкова популярни. Благодарение на продължаващият развой в процесори и памет, те продължават да намалят габаритите си, но същевременно да увеличават своите способности [1].

## II. СЪЩЕСТВУВАЩИ КЛАСИФИКАЦИИ

Ще се разгледат някои от най-разпространените класификации на PLC, с характерните им особености.

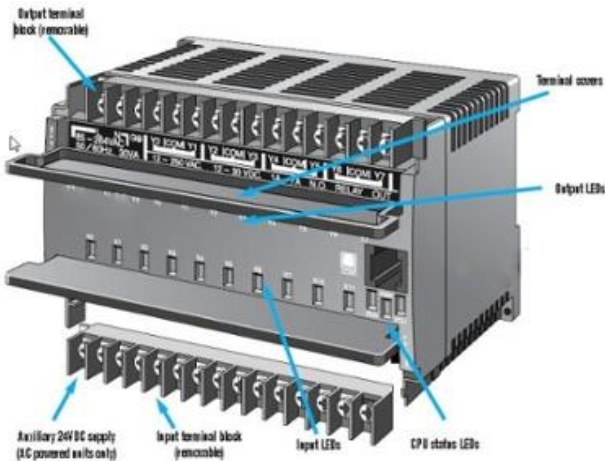
### A. Хардуерни критерии:



Фиг. 1. Хардуерна класификация на PLC

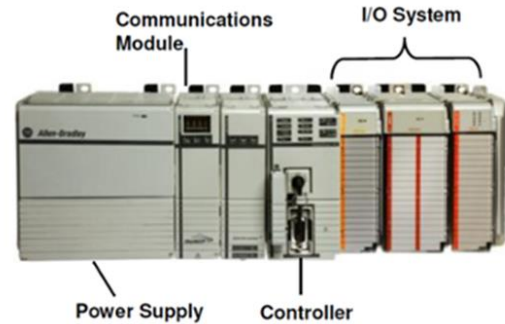
#### 1) По компановка:

- **Интегрирани:** Този тип контролери най-често се наричат PLC с фиксиран В/И (В/И е входно/изходни устройства или точки). Това означава, че наборът от входно/изходни точки е ограничен до тази конфигурация която е закупена в началото и са намира в един корпус. Пример е даден на Фиг.1.



Фиг. 2. Пример за интегрирано PLC [2]

- **Модулни:** Модулните контролери са тези които позволяват множество разширения на системата посредством модули. Те дават на контролера допълнителна функционалност, като увеличен набор от В/И точки, обикновено са по-лесни за използване поради независимостта на всеки елемент. Пример е даден на Фиг.2.

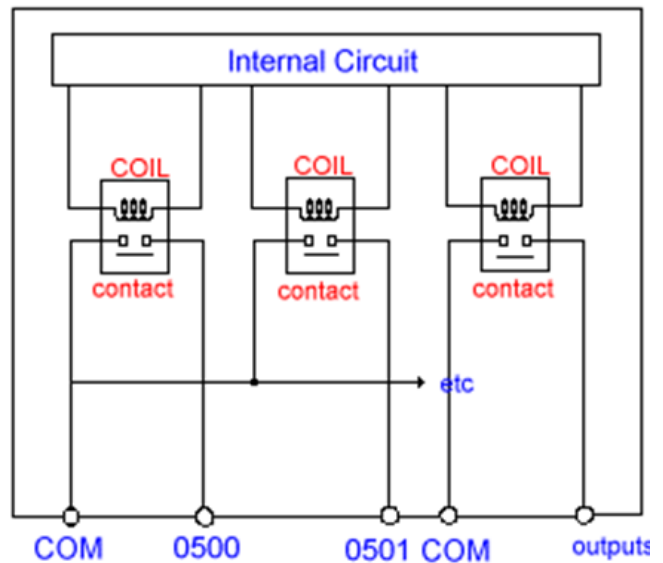


Фиг. 3. Пример за модулно PLC [2]

Захранващият блок, комуникационният модул, В/И модули са отделни от самият изчислителен модул, поради това се изисква ръчното им свързване помежду им за да се създаде управляващата система.

#### 2) По тип на изходите:

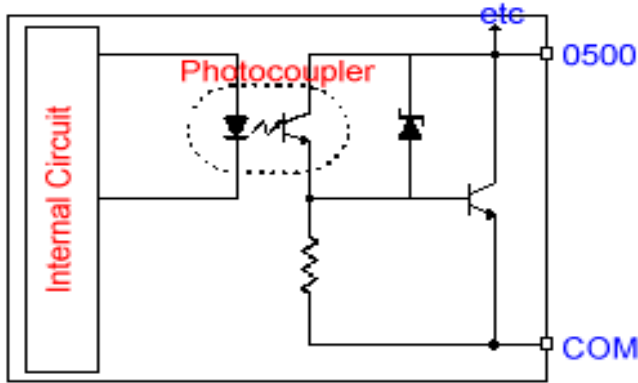
- **Релейни:** Релейните изходи са подходящи както за крайни елементи на променлив ток, така и на постоянен ток. На практика представлява реле, а контролерът управлява превключването му. Един от проблемите свързани с този тип изходи е механичното им износване, поради което са подходящи за процеси с малък брой цикли.



Фиг. 4. Схема на релейен изход [3]

- **Транзисторни:** Транзисторите са полупроводникови устройства които се използват за превключвания и се използват в микроконтролери на микро и нано ниво. При тях няма механично движещи се елементи, поради което може да се постигне висока скорост на превключванията. Той е подходящ само за крайни устройства на постоянен ток. Преимущество на този тип изходи е електрическото изолиране на контролера от крайното устройство посредством оптоизолация.





Фиг. 5. Схема на транзисторен изход [3]

- Симисторни: Симисторът представлява два огледални транзистора, поради тази особеност, през него ток може да протича и в двете посоки, поради това той може да работи с крайни устройства и на променлив ток [4].
- Аналогови: Този тип изходи се различават от гореизброените защото те (горните) са по същество дискретни изходи. Аналоговите са коренно различни и те най-често се използват при управление на постоянно работещи устройства, като двигатели или турбини.

3) По брой на В/И точки:

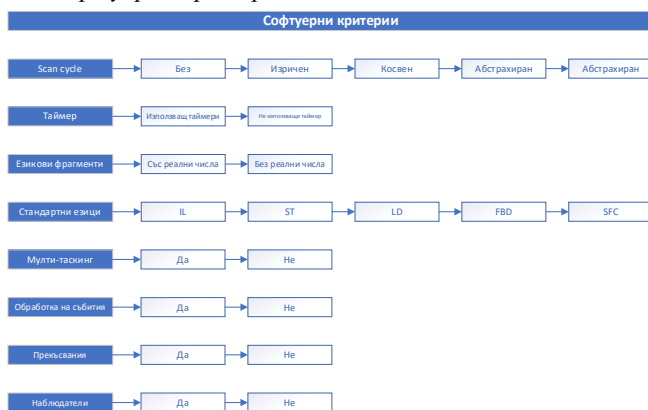
- Мини: от 128 до 512 В/И точки.
- Микро: от 15 до 128 В/И точки.
- Пико/Нано: под 15 В/И точки.

4) Системи за безопасност:

Този тип контролери трябва да покрива IEC 61508 – функционална безопасност на електрически/електронни/програмируеми електронни системи свързани с безопасността. На практика този тип контролери функционира като обикновено такова, с изключение на това, че то е резервирано, по такъв начин, че да предостави максимална работоспособност на системата [4].

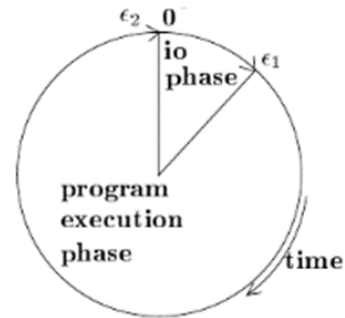
- Резервираност.
- Без резервираност.

В. Софтуерни критерии:



Фиг. 6. Софтуерна класификация на PLC

Основната разлика между контролерите и конвенционалните системи е моделът на действие показан на Фиг.3 по-долу.



Фиг. 7. Цикъл в PLC [5]

Програмите се изпълняват в постоянен цикъл. Всяка итерация на този цикъл, наречен scan cycle (цикъл на сканиране), включва прочитане на вход, изчисляване на ново вътрешно състояние и изход и опресняване на изхода с изчисленото ново състояние. Съществува горна граница за всеки цикъл, който обикновено е в диапазон от няколко милисекунди и зависи от размера на програмата. Това циклично поведение прави контролерите подходящи за управляващи задачи и взаимодействие с постоянно обновяваща се среда.

Съществуват различни програмни езици които се използват за контролерите, изброени по-горе. Всеки е със своята специфична сфера на приложение, както и предпочитания от страна на инженера който ги използва. Пример е ладер диаграмата, която тясно следва традиционните релейни диаграми от миналото. От гледна точка на компютърната наука, някои от тези езици изостават с няколко поколения от разработките при програмните методологии [5].

1) Моделиране на scan cycle:

- Модели без такъв цикъл: Тези модели се използват за статичен анализ. Те не се използват с модел от заобикалящата ги среда. Обикновено не работят в реално време.
- Модели с изричен цикъл: За изпълнение на програмата има долна и горна времева граница. Долната е резултат от времето което е необходимо за опресняване на входовете и изходите, както и самопроверката на операционната система. Горната зависи от най-дългият път на изчисление в програмата. Цикълът е задължително да се изпълни между долната и горната времева граница [5].
- Модели с косвен цикъл: Цикличното поведение е моделирано, но продължителността на всеки цикъл не се взема в предвид.
- Модели които се абстрахират от този цикъл: Много процеси са много по бавни от цикъла на контролера, обкръжаващата среда не може да различи между идеалният реално временен контролер и циклите на PLC. В тези случаи PLC се моделира на база този идеален контролер [5].

## 2) Използване на таймери:

Нуждата от използването им произлиза от управлението на продължителността на даден процес/изходен сигнал, може да се използва като заместител на не-пълното познание за обкръжаващата среда.

- Използващи таймери;
- Не използващи таймери.

## 3) Езикови фрагменти:

В езиците за програмиране на контролери присъстват Булеви числа, реални числа и цели числа. За много управляващи задачи реалните не са необходими, те изискват много по-голяма изчислителна мощ за използване.

- Използващи реално-числени стойности;
- Не използващи реално-числени стойности.
- Стандартните езици:
- IL – език подобен на Assembly;
- ST – език подобен на Pascal;
- LD – графичен език за релейна логика, който по начало изобразява Булева логика;
- FBD – графичен език, изобразяващ пътя на данните;
- SFC – това е мета език който позволява да се използва структура свързана с Petri-Net върху основа от някой от другите езици.

## 4) Функционални фрагменти:

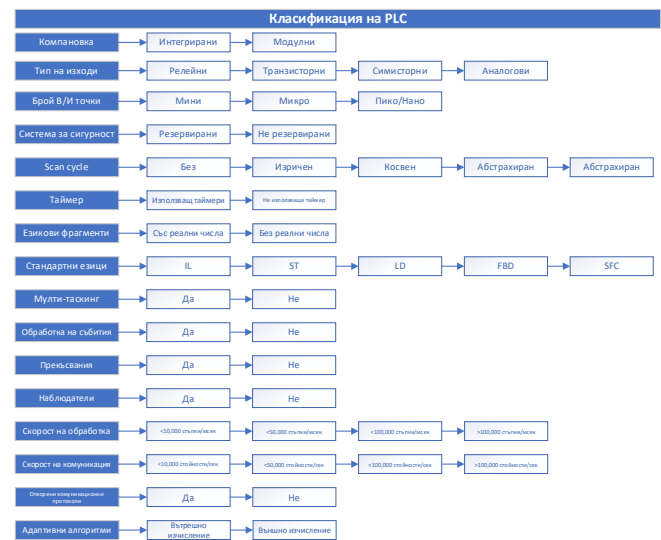
В началото, контролерите се характеризират с много лесни и стабилни операционни режими. В днешно време, могат да се намерят много и разнообразни допълнителни функционалности [5].

- Мулти-таскинг:
  - Да
  - Не
- Обработка на събития
  - Да
  - Не
- Прекъсвания
  - Да
  - Не
- Наблюдатели
  - Да
  - Не

## III. РАЗРАБОТВАНЕ НА КЛАСИФИКАЦИЯ НА PLC

С оглед разгледаните типове класификации и с поглед към бъдещото развитие на индустриалните технологии и навлизането на IoT и повишаващите се изисквания към

скорост на обработка и предаване на информация възможностите на PLC в тази насока стават все по-важни.



Фиг. 8. Класификация на PLC

Тези им възможности способстват и изпълняването на сложни управляващи алгоритми като адаптивното управление.

### 1) Скорост на обработка:

Скоростта на обработка се дефинира като брой стъпки които се обработват за милисекунда.

- <10,000 стъпки/мсек;
- <50,000 стъпки/мсек;
- <100,000 стъпки/мсек;
- >100,000 стъпки/мсек;

### 2) Скорост на комуникация:

Скоростта на комуникация се дефинира като брой стойности които се комуникират по определен протокол за комуникация.

- <10,000 стойности/сек;
- <50,000 стойности/сек;
- <100,000 стойности/сек;
- >100,000 стойности/сек;

### 3) Адаптивни алгоритми:

Адаптивните алгоритми се разглеждат от гледна на това дали контролерът поддържа вътрешна логика която може да ги изпълни. Те дават възможност за изключително прецизно управление в променяща се среда без необходимост от пряка човешка намеса. Това осигурява допълнителна автономност на автоматизираната система в дадени граници, определящи се от ограниченията на използваният алгоритъм.

- Съществува възможност за вътрешно изчисление;
- Необходимо е външно изчисление;

Тези критерии дават ясен поглед за пригодността на даден контролер да обработва задачи от нов, по-сложен

тип, при които е необходимо определено ниво на изчислителна мощ, комуникационна способност и програмно осигуряване.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

В този доклад се разглеждат различните класификационни критерии за PLC, както хардуерни, така и софтуерни. Направена е ретроспектива на функциите и развитието за да може да се моделира бъдещото развитие на тази интегрална част от индустриалната автоматизация. Представя се класификация която отразява историческите корени, съвременните изисквания и моделира бъдещи такива. Чрез него инженерът може да направи избор за подходящата автоматизационна платформа за своите нужди и нуждите на проекта в който участва. Както и да оптимизира допълнително необходимият инвестиционен капитал за него.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Process Solutions, Inc., 2020, <https://processsolutions.com/a-brief-history-of-programmable-logic-controllers-plcs/>.
- [2] [blog.cetrain.isu.edu](http://blog.cetrain.isu.edu)
- [3] [plcs.net](http://plcs.net)
- [4] Rick Phillips, 2019, <https://basicplc.com/different-types-of-plc/>.
- [5] Angelika Mader, 2000, A Classification of PLC Models and Applications. 10.1007/978-1-4615-4493-7\_24.
- [6] Dimitrov S., L. Dimitrov, R. Dimitrova, S.Nikolov, "Examination of the process of automated closure of containers with screw caps", International Conference on Information Technologies ICIT-2019: Information and Communication Technologies for Industry and Research, 7-8.02.2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, ISBN 9783030120726 (online), 9783030120719 (print), pp. (502-514).
- [7] Dimitrova R., S. Nikolov, S. Dimitrov, Measurement of the closing force at automatic closing bottles with screw caps, XXX International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance 2020, 7-11, September, Sozopol, Bulgaria pp. (38-42).
- [8] Dimitrova R., M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX МНТК „АДП – 2020“, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство“, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [9] Kambushev M., N. Chivarov, A. Marinov, R. Dimitrova, Approbation of a mathematical model of a specialized mechatronic system, XI National conference with international participation, Electronica 2020, 23 – 24 July 2020 Sofia, Scopus, IEEE, 9305150.
- [10] Nikolov S., R. Dimitrova, L. Dimitrov, "Mathematical model of displacements in tools used in boring operations on machining centers", 25th IEEE International Conference on problems of automated electric drive Theory and practice PAEP 2020, September 21-25, 2020, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, Scopus, (9240838).
- [11] Nikolov S., R. Dimitrova, I. Topov, New approach at mechanical engraving of details with large sizes, International conference on High Technology for Sustainable Development HiTech 2019, 10 - 11 November 2019, Scopus, (9128261).
- [12] 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, pp. (91-97).

## PLC: RETROSPECTIVE AND CLASSIFICATIONS

Svilen Neykov  
Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: svilen@nkv.me

**Abstract: In this paper we will look at the different PLC classification criteria and their characteristics, new criteria will be given, and a PLC classification will be given. This classification will have in its sight the latest technological developments and customer requirements towards technological processes.**

## МЕТОДИ ЗА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ НА УЧЕБЕН МОБИЛЕН РОБОТ

Станислав Йовков  
ИИКТ - Българската Академия на  
Науките  
София, България  
e-mail: slavyl@abv.bg

**Резюме:** В настоящата статия е представен телеуправляем учебен мобилен робот, при който са използвани различни методи за телеуправление. Разгледани са три различни метода за телеуправление използващи дистанционно управление с инфрачервен излъчвател комуникиращ с инфрачервен сензорен приемник, използвана е 2.4Ghz многоканална безжична мрежа разполагаща с два приемно-предавателни модула - „NRF24L01“ , разработен е метод за телеуправление чрез „RF Receiver - Transmitter Module 433Mhz Remote controls“ - безжичен приемно-предавателен модул. Описани са етапите на реализиране проекта. Разработени са алгоритми за телеуправление. Представени са експериментите и резултатите от управлението на робота при прилагането на различните методи за телеуправление. Направен е сравнителен анализ на предимствата и недостатъците на различните методи.

**Ключови думи:** мобилен робот, драйвер, IR Infrared Transmitter Module 38khz, NRF24L01 2.4Ghz безжичен приемно-предавателен модул, RF Receiver and Transmitter Module 433Mhz Remote controls безжичен приемно-предавателен модул.

### I. УВОД

Целта на телеуправляемите роботи е да помагат на хората извършващи дейности, които са свързани с работа на труднодостъпни места, работа във вредни среди, извършване на подпомагащи дейности, инспектиране на различни места и други.

Задачата на статията е да разгледа основните компоненти за разработване на телеуправляема учебна робо-платформа, както и на изискванията на които тя да отговаря.

Дизайнът на робота отговаря на няколко основни изисквания:

Отворен код: Отвореният код е най-добрият модел за разпространение на тази инициатива. Ясно е, че роботизираният комплект трябва да бъде лесно достъпен за всички заинтересовани страни, включително учители, преподаватели и ученици.

- Ниска цена: Тя трябва да бъде достъпна за ученици и училища, желаещи да се занимават с роботика, като в същото време покрие изискванията за една напълно работеща система. Това решение диктува разходи, които не бива да надхвърлят 60 евро и по никакъв начин няма да ограничат нивото на

функционалност, предложено в представената мобилна робо-платформа.

- Дизайн: Той трябва да стимулира въображението и ентузиазма на учениците и е от ключова важност за този проект. Това позволява използването на рециклирани или втора употреба материали при изработката на основните компоненти - шаси, колела, вериги и др. От друга страна, дизайнът предвижда използването на относително евтини компоненти, предлагани на пазара, като микроконтролерна развойна платка базирана на платформата Arduino UNO, модули за телеуправление чрез радио връзка, драйвери, сензори и др.
- Простота: Концепцията за простота се ограничава до 3 изисквания: монтаж, експлоатация и поддръжка. Времето за сглобяване на робота не трябва да надхвърля 2 часа. След като платформата е сглобена, работата с робота трябва да е лесна за начинаещи в роботиката. Освен това, поддръжката на платформата трябва да бъде минимална, без да се изисква повече от обикновена подмяна на повредени компоненти.[1]

Горепосочените изискванията са достатъчни за една напълно готова, функционираща система.

### II. ХАРДУЕР

В този раздел ще бъде представен хардуера, използван при проектирането и изпълнението на мобилната робо-платформа.

Хардуера на робота включва: три микроконтролера Ardumo UNO (фиг.1.a) [2] ATmega328 (два за дистанционно управляващите модули и един за управляващата част на робота). Ardumo UNO е с вътрешна постоянна памет (EEPROM) и вътрешна променлива памет за съхранение на временна информация (RAM). Използвани са два 3-12V постояннотокови двигатели тип TT MOTOR модел 130 – 200rpm/min (фиг.1.b) [3], драйвер за двигателите L298N (фиг.1.c) [4], джойстик за Arduino (фиг.1.d) [5], инфрачервено дистанционно устройство (фиг.1.e)[6], IR модул 38Mhz (фиг.1.f), NRF24L01 2.4Ghz безжичен приемно-предавателен модул (фиг.1.g)[8], RF Receiver and Transmitter Module 433Mhz Remote controls безжичен приемно-предавателен модул (фиг.1.h)[9]. , четири

превключвателни бутона (фиг.1.i)[10], 2X3.7V LI-Ion battery (фиг.1.j).



Фиг. 1. Хардуер, използван при проектирането и изпълнението на мобилната робо-платформа.

Шасито и колелата са изработени от лек PVC материал удобен за обработка с подръчни средства. Платформата се задвижва чрез вериги със задни задвижващи колела (фиг.2). За проектиране и външен дизайн на робота и шасито е използвана софтуерната програма 3DS Max Autodesk.



Фиг. 2. Транспортен робот

Системата за навигация на Теле-управляемата платформа е с диференциално задвижване. Специфичното за този тип задвижване е, че колелата от двете страни приплъзват по време на завой. Когато забавим едната страна (и в крайна сметка ускорим другата страна), робота прави завой около колелото движещо се с по-малка скорост. Колкото по-голяма е разликата между скоростта на двата двигателя, толкова по-остър е завоя. За да се движи робота в права посока, двата двигателя трябва да се движат със една и съща скорост (фиг.3). Същият принцип на движение се използва и при верижните машини (например, верижен трактор, танк или сервизен мобилен робот с верижно задвижване).



Фиг. 3. Принцип на диференциално задвижване на робоплатформа

### III. СОФТУЕР

Теле-управляемият робот е проектиран да изпълнява следните задачи:

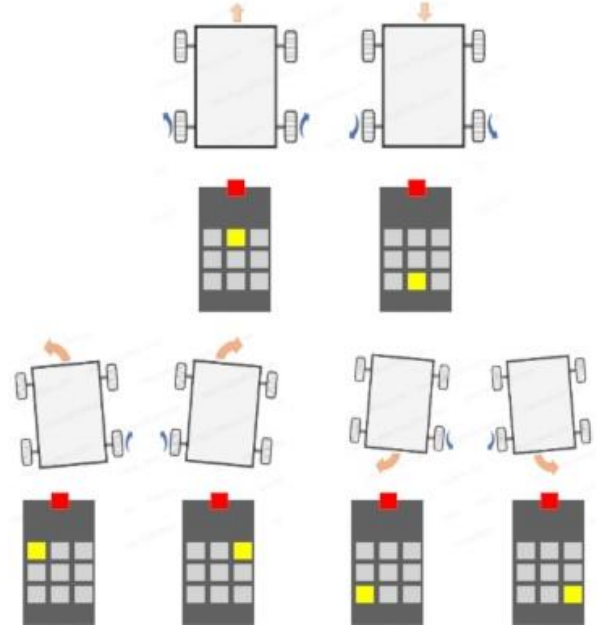
- телеуправление посредством IR предавател (дистанционно управление на телевизор или друго устройство с инфрачервен предавател като дистанционното управление включено в комплекта на стандартна роботизирана платформа) и приемник „IR Infrared Transmitter Module 38khz“.

- телеуправление с джойстик и 2 приемо-предавателни модула „NRF24L01 2.4Ghz wireless data transmission module“ .
- телеуправление посредством бутонен блок с използване на „RF Receiver and Transmitter Module 433Mhz Remote controls“ с който се осъществява комуникацията между оператора и робота.

При производството на софтуера за телеуправление посредством инфрачервен датчик е използвана библиотеката IRremote.h за сканиране на HEX кода на дистанционното устройство с което се управлява робота. С помощта на тази библиотека се сканира кода на всеки бутон от устройството с дистанционно управление и съответния код посредством софтуера може да бъде преобразуван в команда за управление на робота. По този начин приемника разполага с толкова канали колкото са и бутоните на дистанционното устройство с което се осъществява комуникацията предавател-приемник. За задвижване на робота са програмирани седем бутона. Единият бутон отговаря за движението на робота право напред, друг бутон за движението на заден ход и четири бутона за завой наляво и надясно в права и обратна посока, както и бутон за спиране на движението.

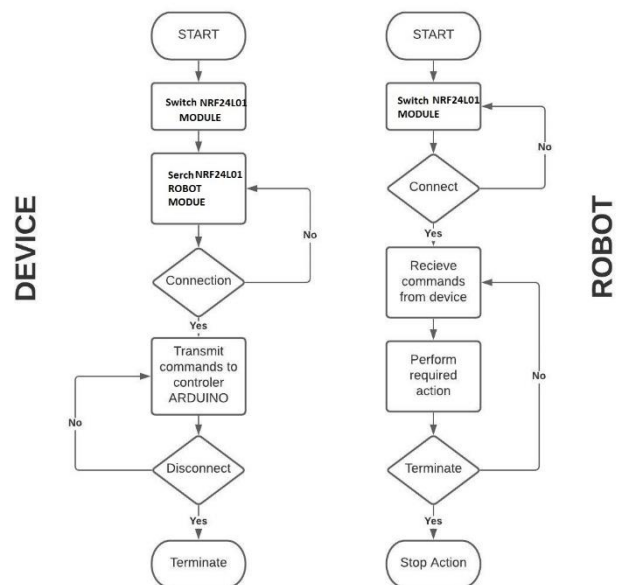


Фиг. 4. Общата блокова схема за телеуправление на робота посредством инфрачервен датчик

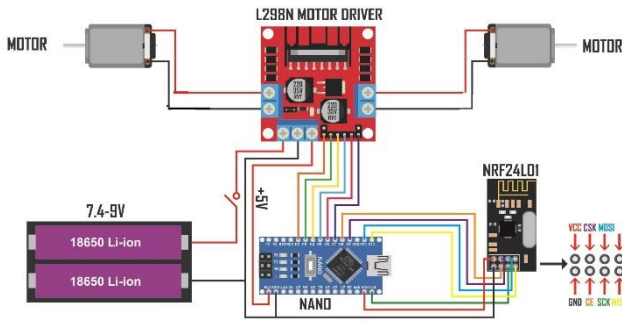


Фиг. 5. Телеуправление на робота с инфрачервено дистанционно управление

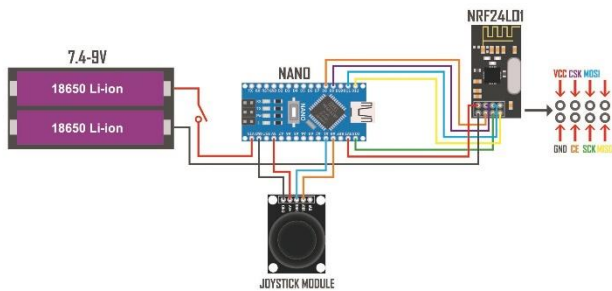
При софтуера за телеуправление с джойстик и 2 приемо-предавателни модула NRF24L01 2.4Ghz са използвани два софтуера. Първия софтуер е предназначен за модула за управление с джойстик, а другия за приемника отговарящ за движението на робота. Използваният е метод за безжична комуникация с Arduino, е модулет nRF24L01. Това е евтин модул, който осигурява двупосочни комуникации, използвайки обхвата 2,4 GHz. Тази лента е безплатна за използване за устройства с ниска мощност без лиценз и в някои случаи може да осъществява връзка до един километър (въпреки че се очакват много по-къси обхвати без специална антена).



Фиг. 6. Обща блокова схема на системата за управление на мобилната робо-платформа с приемо-предавателен модул NRF24L01

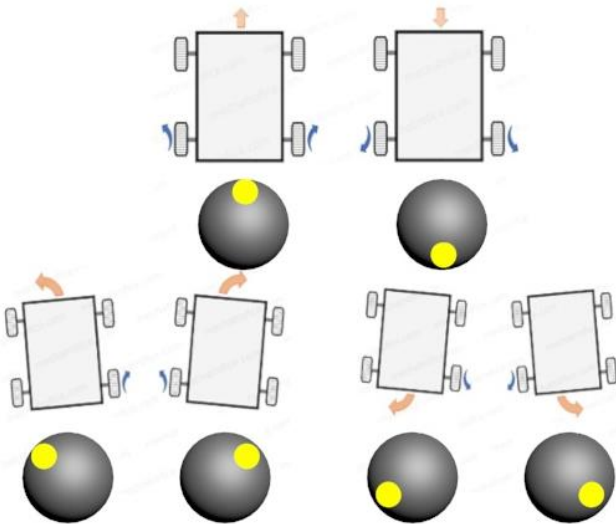


Фиг. 7. Схема на системата за управление на мобилната робо-платформа



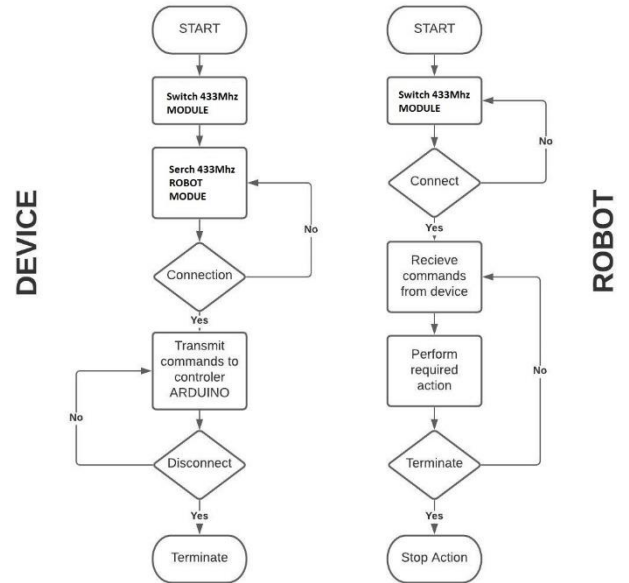
Фиг. 8. Схема на дистанционния модул за управление на мобилната робо-платформа

Управлението се осъществява посредством джойстик както е показано на фиг.9.

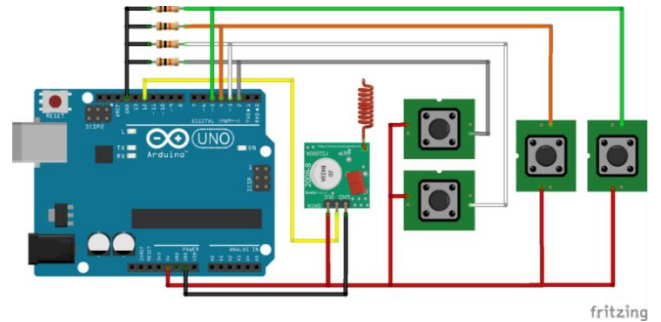


Фиг. 9. Схема за дистанционното управление на мобилната робо-платформа посредством Джойстик

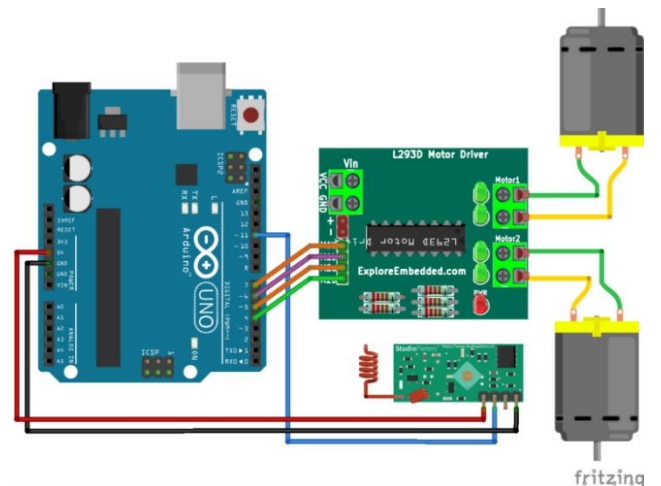
При софтуера за телеуправление с безжичен приемопредавателен модул RF Receiver and Transmitter Module 433Mhz Remote controls са използвани два софтуера. Основната част на този робот е радиочестотното дистанционно управление и задвижващият механизъм. За RF дистанционното управление се използва свтн модул 433mhz, който представлява двойка предавателни и приемни модули. Тук в този проект модула изпраща и получава данни с помощта на библиотека Arduino.



Фиг. 10. Блок схема за дистанционното управление на мобилната робо-платформа с RF Receiver and Transmitter Module 433Mhz Remote controls.

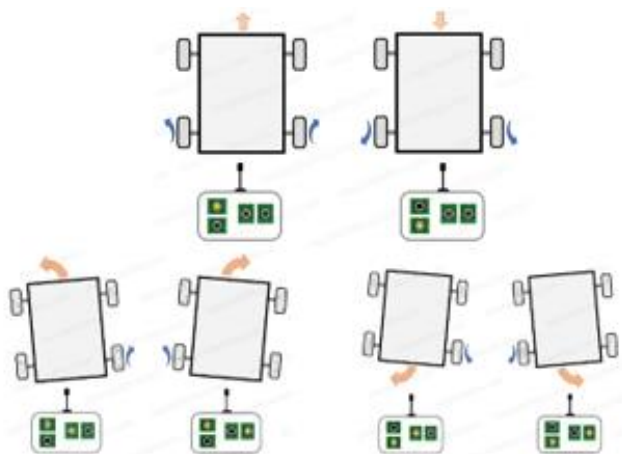


Фиг. 11. Общата схема на дистанционния модул за управление на мобилната робо-платформа



Фиг. 12. Общата схема за управление на мобилната робо-платформа

Механизъм за управление на посоката на робота се осъществява от два задни задвижващи двигателя, чиято посока на въртене може да се управлява пулт за управление снабден с четири бутона. Два за права посока напред и назад и два бутона отговарящи за завоите.



Фиг. 13. Схема за дистанционното управление на мобилната робо-платформа посредством дистанционно устройство с бутони

#### IV. ТЕСТОВЕ

От гледна точка на дизайна, представената мобилна робо-платформа е теле-управляем мобилен робот, разработен в основната си конфигурация и притежаващ всички най-важни за мобилните си функции системи: механична, електронна и софтуер за управление. Описаните алгоритми и опитите които проведохме, доказват функционалността на тази нискобюджетна робо-платформа, която със своята мобилност и динамика по нищо не се различава от скъпите уредби за

телеуправление струващи стотици евро . Разработената мобилната робо-платформа може да бъде надстроена или модифицирана за изпълнение на различни задачи, като транспортен робот или обслужващ робот.. С този робот могат да бъдат провеждани състезания и други инициативи стимулиращи въображението и творческото мислене на учениците и студентите.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване е реализирано като част от изпълнението на проект № 2020-1-BG01-KA202-079200 „Мрежа от ИКТ Клубове по Роботика“, ЕРАЗЪМ +, Ключова дейност 2, Професионално образование и обучение.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] С Йовков, Н. Шиваров, С Шиваров, Ценово ефективна учебна мобилна робо-платформа, АДП-2021, гр. Созопол.
- [2] <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>
- [3] <https://www.dfrobot.com/product-1458.html>
- [4] <https://www.electronicsevolution.bg/bg-product-details-91.html>
- [5] <https://create.arduino.cc/projecthub/MisterBotBreak/how-to-use-a-joystick-with-serial-monitor-1f04f0>
- [6] <https://vetco.net/products/ir-remote-control-receiver-for-arduino-d42>
- [7] <https://www.aliexpress.com/item/1005002531333720.html?>
- [8] <https://dronebotworkshop.com/nrf24l01-wireless-joystick/>
- [9] [https://www.ardboard.com/index.php?route=product/product&product\\_id=75](https://www.ardboard.com/index.php?route=product/product&product_id=75)

## METHODS FOR REMOTE CONTROL OF A EDUCATIONAL MOBILE ROBOT

Stanislav Yovkov  
Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: slavyl@abv.bg

**Abstract:** This article presents a tele-controlled educational mobile robot that uses various remote-control methods. Three different remote-control methods using infrared remote control communicating with infrared sensor receiver are considered, 2.4Ghz multi-channel wireless network with two transceiver modules is used - "NRF24L01", a method is developed for remote control via "RF Receiver - Transmitter Module 433Mhz Remote controls"- wireless transceiver module. The stages of project implementation are described. Algorithms for remote control have been developed. The experiments and the results of the robot control in the application of the different methods of remote control are presented. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of different methods is made.



## УПРАВЛЕНИЕ НА ГРАДСКИ ТРАФИК

Красимира Стоилова  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: krasimira.stoilova@iict.bas.bg

Тодор Стоилов  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: todor.stoilov@iict.bas.bg

**Резюме:** Представена е формализация на управление на градски трафик в мрежа от четири кръстовища. Цел на изследването е намаляване на опашките от коли пред светофарите и увеличаване на изходящия поток коли от всяко кръстовище в мрежата. Методологията, използвана за формализация, е двунивовата йерархична оптимизация. Тя осъществява интегриране и координация на повече целеви функции, ограничения и променливи при оптимизацията. Това позволява по-голяма близост между разработения модел и реалността. Определени са задачите от двете йерархични нива. За синхронизиране на трафика в мрежата е използвана допълнителна техника, заложена в оптимизационния алгоритъм. Представените числени резултати от симулациите са сравнени с решенията на класическа нелинейна задача (едно-нивова задача). От сравнението следва предпочитане на двунивовата оптимизация.

**Ключови думи:** управление на градски трафик, оптимизация, двунивова йерархична оптимизация

## I. УВОД

Управлението на градския трафик е сериозен и актуален проблем в съвременния град. С нарастване на броя на колите в дневно време, става все по-належащо търсенето на решения за намаляване на задръстванията и за по-бързо придвижване на автомобилите в градовете. Поради това, че не е възможно разширяване на инфраструктурата и увеличаване на броя на успоредните потоци от трафик, най-широко използвания метод за управление е посредством настройките на светофарите на кръстовищата [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Обикновено се предлагат алгоритми, чрез които се променят продължителностите на светене на зелените светлини на светофара [2, 3, 4] и по-рядко – за променяне на циклите на светофарите [5, 8]. В настоящата работа се предлага съвместно изменение на циклите на светофарите и на продължителностите на светене на зелените светлини на светофарите. Цел на изследването е синтез на модел за управление, чрез който да се намалят опашките от коли пред светофарите или да се осигури нарастване на изходящия поток в сравнение с входящия поток от коли във всяко кръстовище от разглежданата мрежа от кръстовища. За реализиране на поставената цел е необходимо да се решат следните задачи: да се анализират съществуващи методи за управление на трафика; да се избере подходяща методология за формализиране на управлението на трафика в мрежа от кръстовища; да се определят съответните оптимизационни задачи; да се направи числена симулация на модела за управление; да се

направи сравнение между предложения модел и съществуващ подобен модел, за да се обоснове полезността на изследването.

## II. ОСНОВНИ МЕТОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ГРАДСКИ ТРАФИК

За управлението на трафика се прилагат две основни методологии [1]. Едната е формализиране на потоците трафик на база на аналогията между динамиката на трафика и динамиката на флуидите [9, 10]. Другата се отнася до моделиране на трафика съгласно т.нар. „store-and-forward” модел [11, 12]. Тук ще приложим втората методология като елемент на стратегията за управление. Най-общо, „store-and-forward” модела се отнася до формализиране на опашките пред светофарите. В даден момент от време  $k+1$  броят на колите пред кръстовището  $x(k+1)$  се определя от броя на колите в предишния момент  $x(k)$  като към този брой се добавят идващите към кръстовището коли  $x_{in}(k)$  и се намалят с излизащите от кръстовището коли  $x_{out}(k)$ :

$$x(k+1) = x(k) + x_{in}(k) - x_{out}(k) \quad (1)$$

Изходящият поток  $x_{out}(k)$  се определя от пропускателната способност  $s$  на улицата и продължителността на светене на зелената светлина  $u$  на светофара. Следователно (1) може да се представи във вида

$$x(k+1) = x(k) + x_{in}(k) - su(k). \quad (2)$$

Обикновено,  $k$  формализира управлявания цикъл на светофара, поради което (2) може да се сведе до

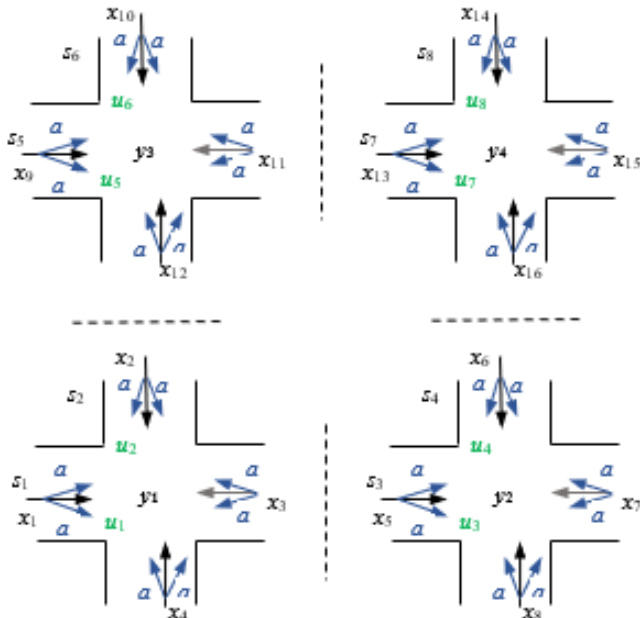
$$x = x_0 + x_{in} - su. \quad (3)$$

Уравнение (3) се използва в настоящия модел за формализиране на опашките пред светофарите. Обаче той не е достатъчен за управление на трафика в мрежа от кръстовища, където има взаимосвързани потоци.

## III. ТОПОЛОГИЯ НА МРЕЖАТА ОТ КРЪСТОВИЩА

Обект на разглеждане е мрежа от 4 кръстовища, представени на фиг.1. Улиците са двупосочни, като всеки транспортен поток може да се движи на право и да прави завой надясно и наляво. За първото кръстовище опашките от автомобили пред светофара са означени като  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  и  $x_4$ . По аналогичен начин са означени и останалите опашки от коли, които са общо 16 за настоящата топология,  $x_i$ ,  $i=1, \dots, 16$ . Приемаме, че са известни капацитетите във всяко направление от мрежата. За първото кръстовище в хоризонтална посока наситеността

на мрежата е  $s_1$  и във вертикална посока е  $s_2$ . Съответните стойности за цялата мрежа са  $s_j, j=1, \dots, 8$ . Управляващите променливи за модела са два вида: продължителност на циклите на светофарите, означени с  $u_k, k=1, \dots, 4$  и продължителности на зелените сигнали  $y_j, j=1, \dots, 8$  на всеки светофар от мрежата. Светофарите регулират трафика посредством зелен, оранжев и червен сигнал. Тук приемаме, че оранжевата светлина представлява 5% от цикъла на всеки светофар.



Фиг. 1. Топология на мрежата от кръстовища

Наличието на 16 транспортни потока, управлявани от 8 зелени сигнала и 4 цикли на светофарите обуславят нелека оптимизационна задача. Класическата постановка е посредством прилагане на един вид управление (на циклите на светофарите или на зелените сигнали). Тук се цели интегрирано управление на 16-те взаимосвързани транспортни потоци както посредством зелените светлини на светофарите, така и посредством подходящо изменение на циклите на светофарите. Поради това класическата оптимизационна задача не може да удовлетвори поставените изисквания.

#### IV. МЕТОДОЛОГИЯ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА

Поради сложността на задачата за управление и наличието на децентрализиран обект (4 взаимосвързани кръстовища), тук се предлага прилагане на йерархично управление на две нива [13, 14]. На долното йерархично ниво ще се решава оптимизационна задача за определяне на най-добрите продължителности на зелените светлини на светофарите в мрежата. На горното йерархично ниво ще се решава оптимизационна задача, определяща оптималните стойности на циклите на светофарите в мрежата. Понеже двете йерархични задачи са взаимосвързани, се осъществява управление на трафика съгласно изчислените оптимални стойности на управляващите променливи от подходящо формулирани целеви функции и изпълнение на заложените ограничения на задачите. Съществен момент тук е

дефинирането на оптимизационните задачи на двете йерархични нива.

#### A. Дефиниране на оптимизационната задача на долно йерархично ниво

Задачата от долното йерархично ниво цели минимизиране на продължителностите на светене на зелените светлини на четирите светофара. Избрана е квадратична форма на целевата функция. Ограниченията на задачата се подчиняват на модела „Store-and-forward” за всеки от 16-те транспортни потока. В тази задача обаче, в ограниченията е направена модификация на модела „Store-and-forward” като се изисква разликата от текущо състояние и изходящ поток да е по-малка от входящия поток. С др. думи се формализира изискването изходящият поток да е по-голям от входящия поток. Входящият поток се определя от интензитета на влизащите коли, отбелязан с  $b_1$  за хоризонтална и  $b_2$  за вертикална посока; от капацитета на улицата  $s_j, j=1, \dots, 8$  и от цикъла на светофара  $u_k, k=1, \dots, 4$ . За първия поток е в сила зависимостта:

$$x_{1in} = b_1 s_1 y_1 \quad (4)$$

Отчетена е и зависимостта между продължителностите на светене на светлините за всеки цикъл на светофара от четирите кръстовища. Така например, за първото кръстовище е в сила зависимостта:

$$u_1 + u_2 = 0.95 y_1 \quad (5)$$

Определяме следната оптимизационна задача от долното йерархично ниво на управление:

$$\min_{j=1, \dots, 8} (u_j^T y_j), \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x_{10} - (1 + 2a)s_1 u_1 &\leq b_1 s_1 y_1 \\ x_{20} + s_6 u_6 + 2as_5 u_5 - (1 + 2a)s_2 u_2 &\leq 0 \\ x_{30} + s_3 u_3 + 2as_4 u_4 - (1 + 2a)s_1 u_1 &\leq 0 \\ x_{40} - (1 + 2a)s_2 u_2 &\leq b_2 s_2 y_1 \\ x_{50} + s_1 u_1 + 2as_2 u_2 - (1 + 2a)s_3 u_3 &\leq 0 \\ x_{60} + s_8 u_8 + 2as_7 u_7 - (1 + 2a)s_4 u_4 &\leq 0 \\ x_{70} - (1 + 2a)s_3 u_3 &\leq b_1 s_3 y_2 \\ x_{80} - (1 + 2a)s_4 u_4 &\leq b_2 s_4 y_2 \\ x_{90} - (1 + 2a)s_5 u_5 &\leq b_1 s_5 y_3 \\ x_{100} - (1 + 2a)s_6 u_6 &\leq b_2 s_6 y_3 \\ x_{110} + s_7 u_7 + 2as_8 u_8 - (1 + 2a)s_5 u_5 &\leq 0 \\ x_{120} + s_2 u_2 + 2as_1 u_1 - (1 + 2a)s_6 u_6 &\leq 0 \\ x_{130} + s_5 u_5 + 2as_6 u_6 - (1 + 2a)s_7 u_7 &\leq 0 \\ x_{140} - (1 + 2a)s_8 u_8 &\leq b_2 s_8 y_4 \\ x_{150} + b_1 s_7 y_4 - (1 + 2a)s_7 u_7 &\leq b_1 s_7 y_4 \\ x_{160} + s_4 u_4 + 2as_3 u_3 - (1 + 2a)s_8 u_8 &\leq 0 \\ u_1 + u_2 &= 0.95 y_1 \\ u_3 + u_4 &= 0.95 y_2 \\ u_5 + u_6 &= 0.95 y_3 \\ u_7 + u_8 &= 0.95 y_4 \\ 0 &\leq u_j \leq 80, \quad u_j, j=1, \dots, 8 \end{aligned}$$

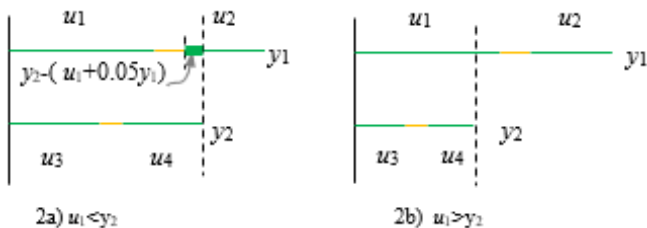
В така дефинираната задача  $u_k, k=1, \dots, 4$  се получават като решения от оптимизационната задача на горно йерархично ниво.

**В. Дефиниране на оптимизационната задача на горно йерархично ниво**

Целта на горната оптимизационна задача е да максимизира продължителността на всеки цикъл от четирите светофари,  $u_k, k=1, \dots, 4$ . Избрана е квадратична форма на целевата функция. Ограниченията включват диапазон на изменение на цикъла на светофара и връзка между циклите на светофарите и зелените светлини (връзка с долната оптимизационна задача). Горната оптимизационна задача определяме във вида:

$$\begin{aligned} \max_y y^T u & \quad (7) \\ 40 \leq y \leq 120 \\ u_1 + u_2 = 0.95y_1 \\ u_3 + u_4 = 0.95y_2 \\ u_5 + u_6 = 0.95y_3 \\ u_7 + u_8 = 0.95y_4. \end{aligned}$$

Горната оптимизационна задача е модифицирана с цел синхронизиране на управлението в транспортната мрежа. За да не се натрупват опашки пред кръстовищата, на всеки цикъл на управление след определяне на оптималните стойности на решенията  $u_k, k=1, \dots, 4$  се проверява кой от изчислените цикли на светофарите е с най-малка стойност. Най-краткият цикъл  $y$  определя и продължителностите на всички останали цикли. Освен това се прави сравнение между най-краткия цикъл и продължителностите на светене на съответните изчислени оптимални стойности на зелената светлина от съседните кръстовища. Съотношенията между най-краткия цикъл и зелените светлини са илюстрирани на фиг.2. Нека разгледаме първо и второ кръстовище. Да предположим, че  $y_2 < y_1$ , фиг.2. Възможни са два варианта:  $u_1 < y_2$  и  $u_1 > y_2$ . В първия случай се изпълнява изчислената оптимална стойност на  $u_1$  и част от  $u_2$ , пропорционална на разликата между най-краткия цикъл и сумата от зелена светлина  $u_1$  и оранжевата светлина, която е 5% от цикъла на светофара,  $y_2 - (u_1 + 0.05y_1)$ , отбелязана с удебелена отсечка на фиг. 2а). Във втория случай когато  $u_1 > y_2$  продължителността на  $u_1$  е толкова, колкото е продължителността на цикъла  $y_2$ . Зелен сигнал във вертикалната посока няма,  $u_2 = 0$ .



Фиг. 2. Съотношения между най-кратък цикъл и зелени светлини

Тези проверки за съотношението между най-краткия цикъл и зелените светлини на съседните светофари са заложили в оптимизационния алгоритъм на изчисление за всяка двойка кръстовища от транспортната мрежа.

**С. Сравнение на синтезирания алгоритъм със съществуващи решения**

Освен чрез йерархична оптимизация, е извършена и оптимизация на едноривна нелинейна задача от

линейно-квадратичното програмиране. Задачата е за минимизиране на зелените светлини и опашките пред светофарите при фиксирани стойности на циклите на светофарите  $u_k = 120, k=1, \dots, 4$  и е от вида:

$$\begin{aligned} \min_{\substack{j=1, \dots, 8 \\ i=1, \dots, 16}} (u_j^T u_j + x_i^T x_i), & \quad (8) \\ x_1 \leq x_{10} + b_1 s_1 y_1 - (1 + 2a) s_1 u_1 \\ x_2 \leq x_{20} + s_6 u_6 + 2a s_5 u_5 - (1 + 2a) s_2 u_2 \\ x_3 \leq x_{30} + s_3 u_3 + 2a s_4 u_4 - (1 + 2a) s_1 u_1 \\ x_4 \leq x_{40} + b_2 s_2 y_1 - (1 + 2a) s_2 u_2 \\ x_5 \leq x_{50} + s_1 u_1 + 2a s_2 u_2 - (1 + 2a) s_3 u_3 \\ x_6 \leq x_{60} + s_8 u_8 + 2a s_7 u_7 - (1 + 2a) s_4 u_4 \\ x_7 \leq x_{70} + b_1 s_3 y_2 - (1 + 2a) s_3 u_3 \\ x_8 \leq x_{80} + b_2 s_4 y_2 - (1 + 2a) s_4 u_4 \\ x_9 \leq x_{90} + b_1 s_5 y_3 - (1 + 2a) s_5 u_5 \\ x_{10} \leq x_{100} + b_2 s_6 y_3 - (1 + 2a) s_6 u_6 \\ x_{11} \leq x_{110} + s_7 u_7 + 2a s_8 u_8 - (1 + 2a) s_5 u_5 \\ x_{12} \leq x_{120} + s_2 u_2 + 2a s_1 u_1 - (1 + 2a) s_6 u_6 \\ x_{13} \leq x_{130} + s_5 u_5 + 2a s_6 u_6 - (1 + 2a) s_7 u_7 \\ x_{14} \leq x_{140} + b_2 s_8 y_4 - (1 + 2a) s_8 u_8 \\ x_{15} \leq x_{150} + b_1 s_7 y_4 - (1 + 2a) s_7 u_7 \\ x_{16} \leq x_{160} + s_4 u_4 + 2a s_3 u_3 - (1 + 2a) s_8 u_8 \\ u_1 + u_2 = 0.95y_1 \\ u_3 + u_4 = 0.95y_2 \\ u_5 + u_6 = 0.95y_3 \\ u_7 + u_8 = 0.95y_4 \end{aligned}$$

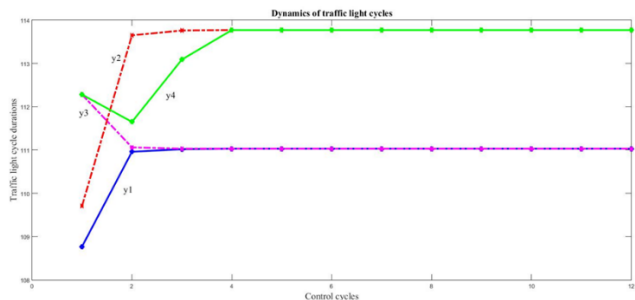
**V. ЧИСЛЕНА СИМУЛАЦИЯ НА МОДЕЛА ЗА УПРАВЛЕНИЕ**

Двунивовата оптимизационна задача (6)-(7) е решавана в среда на MATLAB с прилагане на разширението YALMIP [15]. Симулациите са правени за 12 итерации, еквивалентни на управляващите цикли на светофарите. Решенията на горната оптимизационна задача с определените стойности на циклите на четирите светофара са дадени на фиг.3. В началото стойностите на циклите са различни, но след няколко итерации/управления циклите на първия и третия, както и на втория и четвъртия светофар се уеднаквяват.

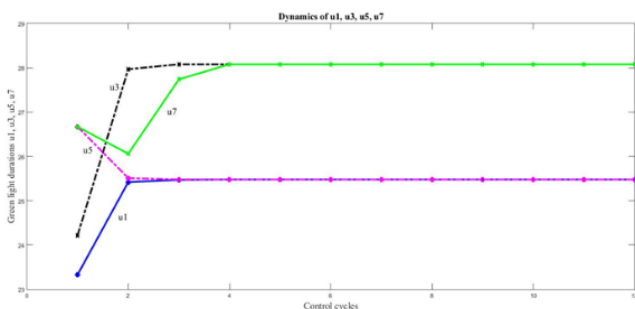
На фиг.4. е илюстрирано изменение на продължителностите на зелените светлини на светофарите в хоризонталните посоки. Подобно на циклите, зелените светлини в хоризонтална посока на първия и третия светофар  $u_1$  и  $u_5$ , както и на втория и четвъртия светофар  $u_3$  и  $u_7$ , са еднакви след няколко итерации от началото на оптималното управление.

На фиг.5 е дадено изменението на опашките пред светофарите  $x_2$  и  $x_6$ . Това са вертикалните направления на свързаните първо и трето кръстовище в мрежата. С плътна линия са решенията от прилагане на двунивовата оптимизация, а с прекъсната линия – при нелинейната оптимизация. Вижда се, че резултатите са по-добри при двунивовата оптимизация.

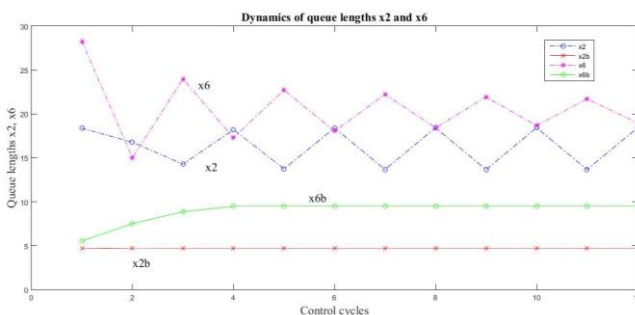
На фиг.6 е дадено изменението на сумата от всички опашки в мрежата при йерархична и класическа оптимизация. И тук по-добрите резултати са при двунивовата оптимизация.



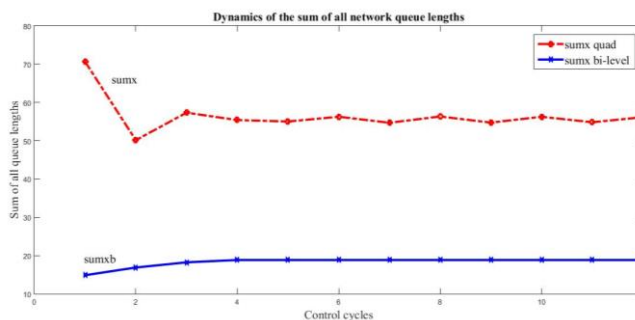
Фиг. 3. Изменение на оптималните решения на горната задача (цикли на светофарите)



Фиг. 4. Изменение на оптималните решения на долната задача (зелени светлини на светофарите)



Фиг. 5. Сравнение на изменението на опашки  $x_2$   $x_6$  между двунивова и нелинейна оптимизация



Фиг. 6. Сравнение на изменението на сумата от всички опашки при двунивова и нелинейна оптимизация

## VI. ИЗВОДИ

Разработен е математичен модел за управление на градски трафик в мрежа от кръстовища. Моделът се базира на двунивовата йерархична оптимизация с прилагане на подхода „store-and-forward” за управление на трафика. Определени са решаваните задачи за

оптимизация на двете йерархични нива. Долната оптимизационна задача определя оптималните продължителности на светене на зелените светлини на светофарите при удовлетворяване на условията изходящите от кръстовищата потоци да са по-големи от текущото състояние и входящите потоци. Горната оптимизационна задача определя оптималните стойности на циклите на светофарите при удовлетворяване на зависимостите между продължителността на светене на трите вида сигнали в рамките на цикъла. За избягване на задръствания в мрежата, горната оптимизационна задача има допълнителни условия за определяне на най-краткия оптимален цикъл с цел синхронизация на настройките на светофарите в мрежата. Отчетени са и допълнителни условия за съотношенията между циклите на светофарите и зелените светлини на всяка двойка светофари.

Моделът е симулиран с числени данни в програмна среда. Резултатите от симулациите са сравнени с традиционна нелинейна задача от квадратичното програмиране за минимални опашки пред светофарите и минимални стойности на зелените светлини на светофарите при постоянна стойност на циклите на светофарите. Предложеният модел за управление на трафика превъзхожда традиционния модел по отношение на опашките в мрежата, което е предпоставка за по-нататъшно усложняване на модела.

## БЛАГОДАРНОСТ

Изследването е финансирано от проект КП-06-НЗ7/6 към ФНИ на тема „Моделиране и оптимизация на градски трафик в мрежа от кръстовища”.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] H. Wei., G. Zheng, V. Gayah, and Z. Li, “A survey on traffic signal control methods”, ACM, vol.1 No1, 2020, <https://arxiv.org/abs/1904.08117>
- [2] S. Nesmachnow, S., R. Massobrio, E. Arreche, C. Mumford, A.C. Olivera, P.J. Vidal, and A. Tchernykh, “Traffic lights synchronization for Bus Rapid Transit using a parallel evolutionary algorithm”, Int. J. Transp. Sci. Technol. 2019, vol.8, pp. 53–67.
- [3] M. K. Tan, H.S.E. Chuo, R. K.Y. Chin, K.B Yeo, and K.T.K. Teo, “Optimization of traffic network signal timing using decentralized genetic algorithm”, In Proceedings of the 2017 IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), Kota Kinabalu, Malaysia, 21–21 October 2017, pp. 62–67.
- [4] Y. Zhang, and R. Su, “An optimization model and traffic light control scheme for heterogeneous traffic systems”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol 124, 2021, 102911
- [5] Y. Xiao-Guang, Z. Jing, and W. Tao, “Optimal cycle calculation method of signal control at roundabout”, China. J. Highw. Transp. 2008, 6, pp. 90–95.
- [6] St. Dimitrov, Y. Boneva, and K. Pavlova, “Control of traffic lights by means of intelligent methods”. 12th National Conference with International Participation “Electronica 2021”, May 27 - 28, 2021, Sofia, Bulgaria, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELECTRONICA52725.2021.9513689,
- [7] E. Trichkova – Kashamova, “Modeling and optimization of traffic flows in a network” International Conference Automatics and Informatics- ICAI, 1-3 October 2020, Technically supported by: Technical University of Varna, IEEE by Bulgarian section and Federation of the Scientific Engineering Unions, Varna, Bulgaria – ICAI2020, pp.1-6, E-ISBN:978-1-7281-9308-3, DOI: 10.1109/ICAI50593.2020.9311314
- [8] V. Builenko, A. Pakhomova, and S. Pakhomov, “Procedure for calculating on-Time duration of the main cycle of a set of coordinated

- traffic lights”, Transportation Research Procedia 20, 2017, pp. 231 – 235.
- [9] M. J. Lighthill, and G. B. Whitham, “On kinematic waves: I: Flow movement in long rivers, II: A theory of traffic flow on long crowded roads”. Proceedings of the Royal Society: A229, London, 1955.
- [10] P. I. Richards, “Shock Waves on the Highway,” Operations Research, Vol. 4, 1956, pp. 42-57.
- [11] D. Gazis, and R. Potts, “The oversaturated intersection”, Proc. of 2nd International Symposium on Traffic Theory, London, 1963, 221-237.
- [12] K. Aboudolas, M. Papageorgiou, and E. Kosmatopoulos, “Store-and-forward based methods for the signal control problem in large-scale congested urban road networks”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2009, Volume 17, Issue 2, pp. 163-174, ISSN 0968-090X, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.10.002>
- [13] K. Stoilova and T. Stoilov, "Integrated management of transportation by bi-level optimization," IEEE International Conference Automatics and Informatics (ICAI), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICAI50593.2020.9311360.
- [14] Y. Boneva, “Cycle length optimization through bi-level optimization”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 878, Issue 1, 21 July 2020, 9th International Scientific Conference “TechSys 2020” – Engineering, Technologies and Systems, Technical University of Sofia, Plovdiv Branch, 14-16 May 2020, pp. 1-6, Paper Open access, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/878/1/012024>
- [15] <https://yalmip.github.io/command/solvebilevel/>

## MANAGEMENT OF URBAN TRAFFIC

Krasimira Stoilova  
Institute of Information and  
Communication Technologies-  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: krasimira.stoilova@iict.bas.bg

Todor Stoilov  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: todor.stoilov@iict.bas.bg

**Abstract: Formalization of urban traffic control is developed. A network of four crossroads is under consideration. The goal of the research is to decrease the queue lengths in front of the junctions and to increase the outgoing flow of each network’s crossroad. The bi-level optimization is the formalization methodology. It integrates and coordinates more goals, constraints and variables of the optimization. In that manner a better closeness between the model and the real urban network is achieved. The problems of the both hierarchical levels are determined. Additional technique for synchronization of the crossroads traffic lights settings is inserted in the developed algorithm. The presented numerical simulations and results are compared with the solutions of nonlinear optimization problem (one-level problem). The comparison gives preferences to the bi-level model.**

## LEO СПЪТНИЦИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ В СЕЛСКОТО СТОПАНСТВО

Красимир Терзиев  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: krasimir@orbitalconnect.com

Димитър Карастоянов  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: dimikara@abv.bg

**Резюме:** Статията разглежда ползването на спътници на ниска земна орбита (LEO) за наблюдение на площи в селското стопанство. Представени са различни видове орбити и са обсъдени LEO спътници и приложението им в 5G мрежите. Предложена е структура на наземна станция с LEO антена.

**Ключови думи:** LEO спътник, 5G мрежа, ОС LEO 1 антена и станция

### I. Увод

През 21-ви век наблюдаваме как в околоземното космическо пространство се изпълва с хиляди спътници от различни видове (комуникационни, комерсиални, военни, изследователски) и на различни орбити, [1]. Основните видове спътникови орбити са както следва:

- GEO - Geostationary Orbit: геостационарна орбита;
- MEO - Medium Earth Orbit: средна земна орбита;
- HEO - Highly Elliptical Orbit: висока елиптична орбита;
- LEO - Low Earth Orbit: ниска земна орбита.

През последните години се наблюдава ръст на услугите, които се предоставят през сателити, които са на ниска наземна орбита и имат за цел да заснемат земната повърхност. По-голямата част от тях оперират на височина от 500-900 км, гравитират около земята в така наречената слънчево-синхронна орбита. Тяхната позиция е значително по-ниска от геостационарните, защото предвид тяхното отстояние от около 36 000 км, би било невъзможно да се направят качествени снимки с висока резолюция, които биха били подходящи за анализ в различни сфери. През 2008 година, в космоса има алокирани около 150 спътника, които предават дневно 10 Tbps данни. През 2018 година броят им нараства до 680, които вече изискват и допълнителна наземна инфраструктура. Телепорт операторите също ще имат възможност да разширят бизнеса си, предвид тази тенденция.

Лидери като Илон Мъск изстрелват хиляди спътници, обединени в т. н. „съзвездия“. На пазара вече могат да се поръчат спътници за частни нужди, които са от порядъка на 1 - 5 кг и служат за тесен кръг наблюдения от тесен кръг потребители, понякога и само за един клиент. Цените на за апаратура и за трафика на данни също падат рязко. Отпада и ограничението да има земна мрежа от станции, [2].

### II. LEO СПЪТНИЦИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ

Според водещи анализатори, около 40% от спътниците на ниска наземна орбита ще изпълняват мисии за наземно заснемане, като това е още един тренд, който води след себе си нови възможности за развитие.

Едни от основните области, в които спътниците намират приложения са земеделието, мониторинг на атмосферата и промени на земната повърхност, водни басейни, превенция срещу бедствия и аварии, като пожари или вулканични дейности и климатични промени. Проектът “Copernicus” включва няколко сателита на име Sentinel, които се финансират от Европейската космическа агенция и Европейската комисия. Името е дадено през 2012 година, като основната мисия е оперативното наблюдение на концентрацията на газовете в атмосферата. Основните измервания се правят на озон, азотен диоксид, серен диоксид и други. Едновременно с това Sentinel снимат постоянно голяма част от земната повърхност, като осигуряват и напълно безплатен достъп до масивите от данни в общ HUB. Така всеки има възможност да достъпи снимки от желана локация. Водеща частна компания от друга страна е PlanetLab, която притежава съзвездие на ниска орбита, което предоставя данни от различни географски локации, но с по-висока честота / на дневна база /, както и с по-висока резолюция, предоставяща възможност за по-прецизно обследване на конкретната географска точка.

Земеделието е например област, в която спътниците на ниска орбита намират широко приложение. За да се случи обаче това, се използват, както спътниковите снимки, така и отдалечени сензори и необходимия софтуер за извършаването на този анализ. Данните, които се съхраняват и анализират, дават информация за нивата на валежи, температурата, изпаренията, влагата, както и цялостното здраве на посевите. Земеделците биха могли да следят активно промените в здравето и растежа на културите, като по този начин предотвратяват различни последващи аномалии, които да намалят общата продукция.

В последните години се отпуснаха и мащабни евросубсидии в областта на земеделието, като с цел проследяемост и контрол на обработваните площи, фермерите бяха задължени да предоставят точно такива снимки като доказателства.

Бурното развитие на технологиите ще отвори още много пазарни ниши през идните години и затова и инвестициите се разширяват, [3], [4].

### III. LEO СПЪТНИЦИТЕ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕТО НА 5G МРЕЖИТЕ

През последните години се наблюдава тенденция за многократно нарастване на трафика на данните през мобилните мрежи. Свързването на така наречените умни устройства, автомобили, градове и комуникацията им помежду им с цел оптимизиране на различни процеси и взаимодействие, наложи изграждането на по-бързи мрежи за пренос на данни. След като видяхме безспорните ползи от имплементирането на LTE мрежите, дойде ред и на 5G технологията.

Защо са важни 5G мрежите:

1. Увеличаване на трафика и броя на връзките извън гъсти градски центрове в по-селски и отдалечени райони с разпространението на устройства за Интернет на нещата (IoT).

2. Осигуряване на покритие за устройства в движение (като кораб в морето или кола, която се движи и има нужда от свързаност).

3. Обработката и кеширането на данни, придвижвайки се все по-близо и по-близо до границите на възможност за капацитет на мрежите (т.е. изчисления на периферията) и по-далеч от областите с плътна наситеност на fiber влакна.

Вземете например нуждите от свързаност при мобилност. Ако изключите кола, камион, самолет, дрон, кораб от оптична мрежа, все още можете да го поддържате свързан чрез WIFI и наземна 5G инфраструктура, стига да е в или е в непосредствена близост до градове. Но когато се преместите в по-селски и отдалечени райони, само сателитната комуникация (SATCOM) има потенциал да осигури надеждно покритие и достатъчна плътност на данните. Тъй като броят, употребите и изискванията за свързаност продължават да се развиват, нараства и значението на разширяването на 5G мрежи извън градските и гъсто свързани в мрежа общности.

Създаването на гъстота от базови станции, които да разполагат с качествена fiber връзка до всяка една от тях се оказва предизвикателство и практически е невъзможно. Fiber мрежите се развиват бързо през последните години, но въпреки това няма как да са налични до всяка една точка на земята. Поради тази причина тук ролята си заемат спътниковите комуникации.

Накратко, спътниците ще играят ключова роля в определянето за нашето 5G бъдеще. Начинът, по който интегрираме наземни и космически компоненти, ще определи вида и степента на свързаност, която 5G мрежите позволяват на практика по света, а не това, което биха могли да позволят на теория.

В 5G мрежите, сателитите могат да изпълняват три потенциални функции, [7], [8]:

- осигуряване на допълнителен пренос,

- създаване на резервираност,
- осигуряване на отдалечени и селски райони с широка и надеждна свързаност.

Във всеки от тези случаи има разнообразие от бизнес модели, които потенциално биха могли да възникнат от директни връзки към устройства до връзки между крайния потребител и основната мрежа, [5], [6].

Нека да разгледаме в детайли всяко едно от тези направления:

Backhaul:

Исторически погледнато, backhaul (преместване на данни между мрежата за радио достъп (RAN) и основната мрежа) се е случвало предимно през влакно или безжична връзка точка до точка. Въпреки това, нарастващите изисквания към телекомуникационните мрежи все повече стимулират „операторите на мобилни мрежи по целия свят да оценят различни технологии за обратна връзка, за да отговорят на бързо нарастващото търсене за внедряването на техните 4G/LTE мрежи“. Необходимостта от по-голямо разнообразие от опции за обратна връзка ще се увеличава само с напредването на внедряването на 5G. Защо? С нарастването на броя на малките клетки (базови станции с ниска мощност, къси разстояния (безжични предавателни системи), покриващи ограничени географски области) в мрежата за радио достъп (RAN), нарастват и изискванията за обратно предаване между RAN и основната мрежа. Сега, с безброй LEO спътници на хоризонта, 5G мрежите имат жизнеспособна алтернатива за обратно предаване на данни в реално време. Като се имат предвид изискванията към 5G мрежите и еволюцията на сателитните системи, е възможно сателитите да допълват съществуващите механизми за обратно предаване, за да отговорят на нарастващото търсене.

Резервираност:

В допълнение към повишените изисквания за обратно предаване, с преминаването към LEO, сателитите вече имат потенциала да предоставят мрежи с наслагване, дублиращи сегменти от наземните мрежи. Тази наслагваща мрежа би могла да замени или разшири съществуващите наземни мрежи, ако тези мрежи имат намалена функционалност поради причинени от човека (физически или кибератаки, но също и просто грешки/аварии) и природни бедствия. Въпреки че тяхната полезност ще бъде ограничена, те потенциално биха могли да дадат приоритет на критичните услуги и да спечелят време на операторите за възстановяване на достъпа до наземни мрежи. Накратко, като се има предвид, че 5G мрежите ще бъдат от съществено значение за ежедневно функциониране не само на нашата икономика, но и на обществото, правителството и военните, те представляват потенциална единствена точка, която да наруши свързаността. Сателитните системи, наслагващи аспекти на наземни системи, считани за стратегически важни или от съществено значение за спешни операции в случай на катастрофи и бедствия, могат да осигурят на тези системи допълнителна устойчивост чрез резервиране и осигуряване на свързаност без прекъсване на услугите.

Осигуряване на свързаност в отдалечени и селски райони:

Исторически погледнато, спътници на GEO орбита са били от решаващо значение за решаването на проблема с „последната миля“. С разпространението на безброй LEO сателити, тази роля може да се увеличи както по отношение на мащаба (броя на връзките), така и по обхвата (където могат да бъдат направени тези връзки). 5G мрежите ще донесат със себе си експоненциално нарастващ брой свързани устройства, включително мобилни телефони, но също и огромен набор от IoT устройства, включително милиарди сензори. Помислете за селските болници, извършващи дистанционни операции; автомобили, преминаващи между държави, самолети, изпълняващи важни полети и кораби в океана; и селскостопански полета, пълни със сензори. Въпреки че тяхната полезност в гъсти градски райони е по-ограничена (сателитите изискват видимост за директна връзка с устройство), възможността сега за комуникации между машини (Machine to Machine) и фактът, че много от тези устройства ще бъдат разпръснати в широк географски район области, увеличава изискванията за събиране и разпространение на данни в 5G мрежи. И тук сателитите, интегрирани в наземни телекомуникационни мрежи чрез нови мрежови архитектури, могат да осигурят важно решение чрез използване на широкото сателитно покритие, предоставено от LEO. В това отношение едно от най-големите предимства е, че LEO, за разлика от GEO, вече могат да предоставят истинско интерактивно изживяване, степен на свързаност, която често липсва в селските и отдалечените райони досега. С добавянето на по-пълно интегрирани сателитни системи в 5G мрежите, свързаността може да бъде разширена до отдалечени райони, където полагането на влакна не е икономически възможно (общности в САЩ и по света) или осъществимо (нефтена платформа край брега, кораб, пресичащ океана, или самолет, летящ над тях).

#### IV. НАЗЕМНА СТАНЦИЯ ЗА ОС LEO 1 GROUND STATION

Системата включва инсталацията на сателитна антена, работеща със спътници на ниска наземна орбита в S, X, UHF и VHF честотен спектър. Това са обикновено сателити, опериращи на височина до 1000 км от земната повърхност. Чрез внедряването на тази иновация, сателитните оператори ще могат да приемат данните от конкретните платформи потребителите ще имат достъп до техните ресурси в космоса, в случай, че притежават собствен сателит. Много често наблюдаваме например научни организации и университети, които изстрелват собствени спътници, чрез които изпълняват конкретни мисии. Основните приложения са спътникови снимки на земята, научни изследвания и анализ на различни данни от сензори, военно разузнаване и шпионаж, както и телекомуникационни нужди. Чрез наземната антена, ще се осигури възможност за достъп до облачно приложение с лесен и интуитивен интерфейс, който ще даде възможност за осъществяването на сателитна мисия, чрез която данните от конкретни спътникови платформи, могат да са достъпни за потребителите. Достъпът може да се осъществи чрез съвсем нормален браузър за Интернет, като се въведе единствено ID на спътника и се резервира конкретен времеви слот, в който да се получи

информацията. Съществуват сателити, които прелитат над определени територии с цел генериране на научни данни – например за животновъдството и земеделието. Тези данни не са криптирани и лесно могат да се свалят чрез използването точно на тази технология – наземна сателитна антена за LEO сателити. Примери за подобни спътници са AQUA (EOS PM-1) и TERRA (EOS AM-1). Тези два спътника са снабдени с инструмента MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), събиращ данни за свойствана на облаците, аерозоли в атмосферата, данни за покритие и изменения на земните маси, пожари и вулкани с максимална резолюция от 250 м. Също така се получават и данни за следните индекси - Soil Water Index (SWI), Surface Soil Moisture (SSM), Normalized, Difference Vegetation Index (NDVI), Burnt Area, които са важен фактор в земеделската дейност. Изследвайки и анализирайки данните от тях, бихме могли да наблюдаваме целия вегетационен цикъл, наличие на междинни култури и да правим регулярен мониторинг. Една от основните задачи на подобни инсталации също е да автоматизира целия процес в подобни сектори, като това допринася за директното получаване на данни на оторизирани сървъри и компютри, тяхното разчитане и евентуално предаване до научните служители, които да оптимизират процесите на работа, както и повишаването на ефективността при добива на различни култури. В допълнение снимките на земята повърхност показват и различни изменения на земната повърхност. Често при обработката на земята от земеделските производители, чрез снимки от космоса се следят конкретните зони, които се обработват и дали се спазват правилата по конкретните оперативни програми. Така се контролира целия процес при финансирането в този сектор и се предотвратяват злоупотреби и загуби на финансови средства. Могат да се следят освен това и зони, които не се обработват директно, но са важни за самия отрасъл – например за животновъдството това са зони с пасища и ливади. Затова и в орбита има голям брой спътници, чиято цел е да правят снимки с висока резолюция, които да се свалят чрез наземни антени. Трябва да се подчертае, че сателитни данни са използват широко и в селското стопанство с цел рационално потребление на вода. Технологията помага чрез спътникови снимки да се видят конкретни засушавания и други екстремни метеорологични явления, които водят до недостиг на вода. Чрез натрупването на мета данни се генерират карти, които показват колко биомаса и добиви се произвеждат на кубичен метър вода. Не можем да пропуснем и ползите, които тази антенна система предоставя и в животновъдството. Голяма част от фермерите разчитат на прогнозите за валежи в конкретни географски райони, което е в права пропорционалност за качеството на храната за добитъка. За тази цел в продължение на определен период от време се снимат целевите пасища и се разчитат данни от сензори, които могат да прогнозира метеорологичните условия. По този начин се наблюдават зоните, в които следва да се пасе добитъка, удължава и подобрява живота на животните, както и улеснява и работата на фермерите. Очакванията са тези технологии, иновации и тяхното приложение да навлизат все повече в тези области, защото ползите за бизнеса, държавните организации и крайните потребители са значителни. Сателитната наземна антена



е част от тази комуникационна мрежа и дава възможност за бърз достъп до широк брой спътникови платформи, които предоставят важна информация за учените и крайните потребители, [9].

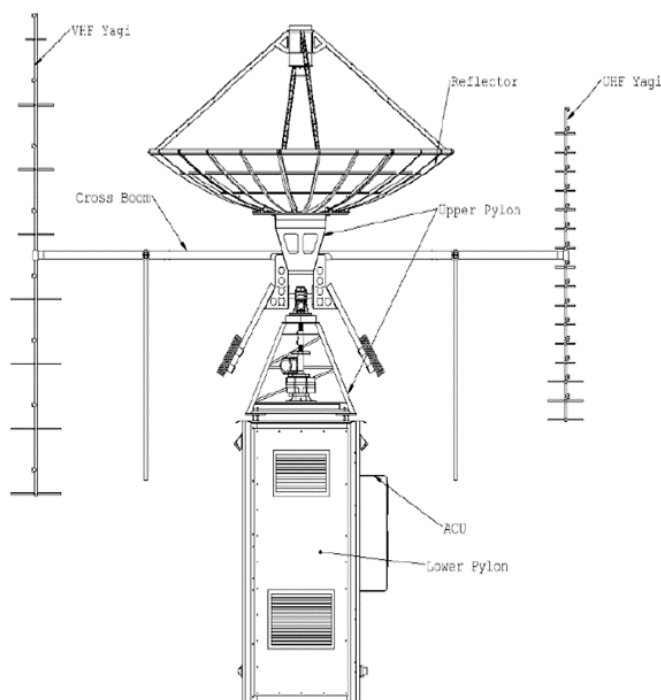
Чрез внедряването на актуалните облачни технологии, всеки клиент ще има достъп бързо и сигурно до масиви от данни, чрез осигуряването на оторизация от оператора. По този начин ще има една иновативна и ефективна система за работа със спътници на ниска наземна орбита, която всъщност е най-често използваната в последни дни.

#### V. ДИЗАЙНА НА ОС LEO 1 АНТЕНА

Основните фази при инсталация на LEO антена са:

- Избор на локация (точка за разполагане),
- Подготовка на точката (основи, връзки, защиты),
- Монтаж, свързване, настройка, безопасност.

Основните компоненти на ОС LEO 1 наземна антена за LEO спътници са – фиг. 1:



Фиг. 1. ОС LEO 1 антена

- Рефлектор (Reflector) 3м метален диск + S/X band feed
- Горен пилон (Upper Pylon) – механична система, която побира моторите за елевация и азимут, както и предаващите елементи
- Долен пилон (Lower Pylon) – Основна колона, която поддържа горния пилон и свързва наземната станция към основите на земята. В него се съдържа и rack-unit на антената.
- ACU – частта за климатизация на антената и rack unit-a.

- Свързващо рамо (Cross Boom) – опорен лост от фибростъкло или алуминий, който поддържа YAGI антените.
- UHF YAGI антена
- VHF YAGI антена

Азимутната ориентация на антената се осъществява на два етапа. Всеки един от тях трябва да се изпълнява стриктно, според предварителното задание, за да се осигури една успешна финална инсталация на съоръжението.

#### VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очакванията за сателитни системи за 5G мрежи се основава на способността им да ни помогнат да увеличим мащаба и обхвата на достъпа до тези мрежи; отговарят на нарастващите изисквания на тези мрежи, особено в селските и отдалечените райони; и да включат свободни капацитети в критични сегменти на тези мрежи. Еволюцията в основата на технологиите и разнообразието от бизнес модели, които компаниите могат да преследват, правят тази интеграция не само възможна, но и осъществима. Въпреки че този резултат далеч не е сигурен и ще изисква инвестиции и желание както от сателитните, така и от 5G доставчиците, тази цел все повече се превръща в устойчив фокус на органите за технически стандарти, изследователите и индустрията в опит да направят 5G обещанието в местна и глобална реалност. С интегрирани LEO сателитни системи в 5G мрежите, свързаността може да се разшири до отдалечени райони, както и да се добавят нови мониторинг функции.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията в статията са извършени с подкрепата на Националната Научна Програма „Интелигентно животновъдство“, договор № D01-62/18.03.2021.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стефан Желев, Спътникови комуникации, Университетско издание „Епископ Константин Преславски“, Шумен 2012
- [2] Комуникации на море и световна морска система за бедствия и безопасност, Чавдар Александров и Соня Тончева, Издателска къща „СТЕНО“, Варна 2019г.
- [3] Global VSAT Training - <https://gvfraining.org/>
- [4] Eutelsat official web site - <https://www.eutelsat.com/en/home.html>
- [5] VIVACOM / Satellite services web site – <https://www.vivacom.bg/bg/business/uslugi-za-dostavchici/satelitni-uslugi>
- [6] International Communications Union – <https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>
- [7] Krasimir Terziev, Dimitar Karastoyanov. The Impact of Innovation in the Satellite Industry on the Telecommunications Services Market. Problems of Engineering Cybernetics and Robotics, vol. 73, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2020, ISSN: 2738-7364, pp 30-38
- [8] К. Терзиев, Д. Карастоянов, Съвременни сателитни комуникационни системи., XXIX Международна научно-техническа конференция – АДП 29.6- 2.7 2020, 2020, ISSN:2682-9584, стр. 149-154
- [9] Терзиев, Красимир, Карастоянов, Димитър. Структура и организация на спътникова комуникационна система. Автоматизация на дискретното производство, 3, Издателство на ТУ-София, 2021, ISSN:ISSN 2682-9584, 181-186



## LEO SATELLITES FOR OBSERVING THE EARTH'S SURFACE IN AGRICULTURE

Krasimir Terziev  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: krasimir@orbitalconnect.com

Dimitar Karastoyanov  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: dimikara@abv.bg

**Abstract:** The article uses low-Earth orbit satellites (LEO) to monitor areas in agriculture. Different types of orbits are presented and LEO satellites and their application in 5G networks are discussed. A ground station structure with a LEO antenna is proposed.

## УПРАВЛЕНИЕ НА ОБОРОТНИ ФИНАНСОВИ СРЕДСТВА

Людмил Илиев  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: s.oronova@ro22.nra.bg

Димитър Карастоянов  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: dimikara@abv.bg

Тодор Стоилов  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска Академия на Науките  
София, България  
e-mail: todor.stoilov@iict.bas.bg

**Резюме:** Разработен е количествен модел за управление на оборотни финансови средства. Оценяван е оптималния размер на необходими оборотни средства за заплащане на работни заплати. Определен е оптималния момент за теглене на кредит за поддържане на оборотните средства като се отчита времезакъснението от постъпващи средства за покриване на кредитите. Моделът е разработен при използване на формална постановка за икономично управление на складови наличности. Представени са числени резултати от актуална финансова ситуация на селскостопанско предприятие.

**Ключови думи:** финансови ресурси, оптимизация, управление на финансови наличности, количествен модел в икономиката

### I. УВОД

Управлението на доставките е съществен елемент в производствената дейност на предприятието. Регулярното подаване на ресурси и материали е предпоставка за ефективно производство, намаляване на разходите и поддържане на активно пазарно присъствие. Разработването и прилагането на количествени методи за управление на доставките е начинът да се постигат оптимални резултати свързани с минимизиране на производствени разходи, максимизиране на реализирана продукция, намаляване на загуби от неизпълняване на клиентски поръчки.

В представената публикация е разработен количествен модел, който определя режим на поддържане на оборотни средства за изплащане на трудови възнаграждения. Особеността на модела е, че е приложен за финансовото управление на елемент от стопанската политика на предприятието. Цели се да се определи нивото на оборотните средства, необходими за трудово възнаграждение като се отчита нерегулярното постъпване на оборотни средства в предприятието. Формалният модел е разработен чрез прилагане на зависимости от областта на оптимално управление на доставки.

### II. ОСОБЕНОСТИ ПРИ УПРАВЛЕНИЕТО НА ДОСТАВКИ ЗА ПРЕДПРИЯТИЕТО

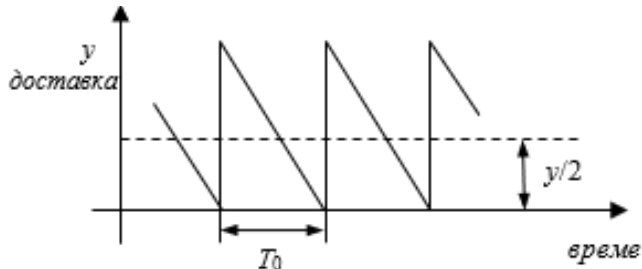
Управлението на доставки (supply chain management) е съществена приложна област от теорията на изследване на операциите [1]. Цели се решаването на проблеми свързани с определянето на оптимален обем на доставките, на оптимално разписание на доставките, намаляване на разходите при доставки на материали и ресурси като се отчитат ограничения за материални и финансови ресурси.

Формалните модели, прилагани в областта на веригите за снабдяване имат самостоятелно съдържание като се използва термина “inventory management” [2, 3]. Моделът, който е основен и по който се правят модификации и усложнения е наименован “economic order quantity (EOQ)”. В много случаи този модел дава много добри резултати при практически задачи за определяне режим на доставки и съхранение на производствени ресурси. Този модел дава оптимални решения, които количествено са обосновани за обем на доставка и време за заявяване на доставка при отчитане на закъснения за нейното изпълнение. Читателят може да намери един анализ на модели и постановки при оптимално снабдяване и доставки в [4]. Особеност на EOQ модела е, че той се прилага основно при планиране и оптимизиране на един вид продукт. Усложняване на формалните зависимости при управление на повече продукти се отчита и в новоразработени модели [5]. При този по-сложен случай системата за управление на доставките по няколко продукта, тяхното съхранение и използване координира реда и количествата на доставките, съгласно производствените потребности на производството. В резултат се цели постигане на плавност в производственото натоварване на машини и персонал. Така се реализира и динамично и своевременно отчитане на бързо променящи се условия на пазарните взаимодействия.

В настоящото изследване е направено приложение на количествени оптимизационни модели от областта на управление и съхранение на доставки за целите на поддържане на оборотни средства за финансовото управление на предприятието. Като обект на доставка се разглеждат финансови ресурси, които се използват за заплащане на труда на работниците. Оборотните средства са елемент на вземане на кредити и погасявания от нерегулярното постъпване на финансови средства в предприятието. Така, чрез прилагане на формален модел от управление на доставките се постига оптимална последователност на заплащане на възнаграждения и поемане на кредитни задължения. Моделът за оптимално количествено определяне на режима на поддържане на оборотни средства, разработван в това изследване е основан на използване и модифициране на EOQ модела от областта на снабдяване и съхранение на материални ресурси. Тук ресурсът не е производствен, а е от областта на финансовото управление на предприятието.

### III. ФОРМАЛЕН МОДЕЛ ЗА ОПТИМАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ОБЕМА НА ДОСТАВКА

Динамиката на снабдяване с производствени материали се илюстрира с динамичния процес, представен на Фиг.1.



Фиг. 1. Елементи на динамиката на доставка

Стойността  $y$  е неизвестното количество, което трябва да се поръча за доставка. Динамиката на потребление е представена с линейното намаляване на количеството на  $y$ . При изразходване на цялото количество,  $y=0$ , се прави заявка за доставка на ново количество  $y$ . В идеалния случай доставката се изпълнява веднага и затова наличното количество рязко се увеличава до ниво  $y$ . Така се формира динамичен процес на заявяване, доставка и изразходване на количеството  $y$ , което графично се изразява в периодично повтарящите се триъгълни графики на фиг.1. Скоростта на намаляване на ресурса  $y$  се определя от заявявано количество за неговото използване. Съгласно тази постановка моделът има следните параметри:

$y$  – количество доставян материал [брой];

$D$  - заявявано количество за потребление и/или производство [брой/единица време].

Следователно периодът на заявяване и изпълнение на нова доставка е:

$$T_0 = y/D \text{ [време]}. \quad (1)$$

Стойността на една заявка се определя от покупката на доставяния материал, разход за направата и изпълнението на доставката и разходи за съхранение на доставката.

**Покупка на доставения материал:** Този разход е специфичен за вида на материала. Разходът се определя и от цената на материала. Тук за целите на оптималната доставка параметърът, който трябва да се определи е количеството на доставката  $y$ . Този параметър ще се използва в модела за формализация.

**Разход за направата и доставянето на материала:** Този разход има постоянен характер. Той може да съдържа няколко компоненти като задължителен начален разход на мястото на доставка, транспортни разходи, разходи за товарене е разтоварване и др. В настоящия модел се приема, че това е постоянна част на разход, който има място при направата на поредна доставка. Използваме означението  $K$  [стойност в лв.].

**Разходи за съхранение на доставката:** Тези разходи се определят от компоненти като наем за склад, режийни разходи за складово пространство, загуба от лошо

съхранение, загуби от кражби и др. Тези разходи се определят като единична стойност за един брой материал за времето на един цикъл на доставка  $T_0$ . Означаваме го с  $h$  [стойност в лв./ за 1 брой за период  $T_0$ ].

Следователно, разходът за доставяне и съхранение на една доставка за период от време  $T_0$  до подаване на нова заявка е сума от постоянните разходи  $K$  и разходите за съхранение за един период  $T_0$ . Разходът за съхранение може да се приема като средна стойност стойност на съдържанието на склада умножено по единичния разход  $h$  и по времето на цикъла  $T_0$  или

$$\text{Разход\_съхранение} = h (y/2) T_0 \quad (2)$$

Съответно общите разходи за един цикъл е сума

$$\text{Разход\_цикъл} = \text{Постоянни\_разход} + \text{Разход\_съхранение}$$

или

$$P(y) = \frac{K + h(\frac{y}{2})T_0}{T_0} \quad (3)$$

Цели се да се минимизаро разходът за цисъл чрез удачен избор на количеството на доставка  $y$  или

$$\min_y P(y) \quad (4)$$

Зависимост (4) се развива с използване на (1) или

$$\min_y \left\{ P(y) = \frac{KD}{y} + h\frac{y}{2} \right\} \quad (5)$$

Отсъствието на ограничения позволява минимизирането на функцията  $P(y)$  да се определи чрез нейната първа производна

$$\frac{d(P(y))}{dy} = 0 = -\frac{KD}{y^2} + \frac{h}{2} \quad (6)$$

След обработване за обема на доставката  $y$  се получава

$$y = \sqrt{\frac{2KD}{h}}. \quad (7)$$

Тази зависимост ще се приложи при планиране на режима за поддържане на оборотни средства в предприятието.

### IV. ПЛАНИРАНЕ НА ОБОРОТНИ СРЕДСТВА В ПРЕДПРИЯТИЕ

Разглежда се случай на селскостопанско предприятие, което трябва да поддържа оборотни средства за заплащане на надниците на своите работници. От счетоводния баланс на предприятието са известни данни за направени плащания за период от една година. Използвани са част от данните съгласно [6] Табл.1. Приходите и разходите са на месечна база. Данните на реда за „закъснение“ определят броя на месеците до получаване на приход от предприятието. Така за месец „1“ приходи ще се получат след 2 месеца, но не в текущия месец. За месец „2“ закъснението е 1 месец, а за месец „3“ няма закъснение (нулева стойност). Така са определени закъсненията за останалите месеци до получаването на приходи от предприятието.

ТАБЛИЦА 1. ПРИХОДИ И РАЗХОДИ ЗА ТРУД НА ПРЕДПРИЯТИЕТО ЗА ГОДИНА

Месец	1	2	3	4	5	6
приходи	0	0	25000	0	0	181250
закъснение	2	1	0	2	1	0
разходи за труд	2000	2000	4000	4000	2000	2000
месец	7	8	9	10	11	12
приходи	0	0	290000	0	0	53750
закъснение	2	1	0	2	1	0
разходи за труд	2000	2000	5000	5000	5000	2000

След алгебрични изчисления средните стойности за един месец на отделните показатели е:

**Ср. Стойност (приходи) = 445833 лв;**

**Ср. Стойност (закъснение) = 1 месец;**

**Ср. Стойност (разход труд) = 3083лв. ≈ 3000 лв.**

В настоящото изследване е изменена времевата скала на процесите от месеци в дни. Необходимостта от тази промяна е мотивирана, че в селскостопанската работа практика е работниците да се наемат за определени дни. Така на тях им се заплаща дневна надница. Затова тук изменението на времевата скала води до промяна на следните стойности, които се използват в модела за изчисление на оптимален размер на доставката, съгласно (7):

**Ср. стойност (закъснение) = 30 дни;**

**Ср. стойност (разход\_труд) = 3000 лв. / 30дни = 100 лв./ден.**

Задачата за оптимално управление на оборотните финанси е дефинирана по следния начин: да се определи оптималната стойност на размера  $y$  на поет кредит, така че да се минимизират разходите по заявяване на кредита  $K$ , като се отчитат пропуснати ползи от направата на депозит със свободни средства и отчитане на нерегулярните приходи на предприятието за покриване на кредитите със средно закъснение от 45 дни.

Формално, задачата за определяне на оптимален размер на кредит ще използва параметри както следва.

- Необходимия размер на финансови ресурси е  $D=100$  лв. на ден.
- Съгласно текущата банкова практика, приема се, че предварителните разходи за отпускане на кредит са  $K=100$  лв.
- Разходите за „съхранение“ на кредита  $h$  се определят като пропуснати ползи от неизползване на наличните ресурси за направа на депозит. Пропуснатата полза е в размер на дневната лихва на депозит. Съгласно текущите стойности на банките за депозити и дните за година се приема стойност от 1% на годишна база. Това определя, че

дневния депозит има доходност  $1/360$  дни. За настоящото изследване разходът от пропуснати ползи има стойност

$$h=1/360=0.002777 \text{ лв./ ден.}$$

Тези данни определят оптималния размер на кредита съгласно (7) като

$$y^{opt} = \sqrt{\frac{2 \times 100 \times 100}{0.002777}} = 2683 \text{ лв.}$$

Тази стойност я закръгляваме на  $y^{opt} = 2700$  лв. от практически съображения за банкови операции.

Така е определен оптималния размер на кредита, който трябва да се взема. Периодът на вземане на кредита се определя съгласно (1) или

$$T_0 = \frac{y^{opt}}{D} = \frac{2700}{100} = 27 \text{ дни.}$$

Кредитът има закъснение от покриване от

**Ср.стойност(закъснение) = 30 дни**

Сравнението между закъснението и цикъла  $T_0$  показва, че закъснението е по-голямо

$$30 = \text{Ср.стойност(закъснение)} > T_0 = 27.$$

Затова е необходимо да се нормира закъснението. Съгласно [7] нормирането на закъснението се прави, като се премахнат целите части на периода  $T_0$  от средните стойности на закъснението. Числото 27 се съдържа в 30 един път. Следователно остатъкът е:

$$\text{Ср.стойност(закъснение)} - T_0 = 30 - 27 = 3 \text{ дни.}$$

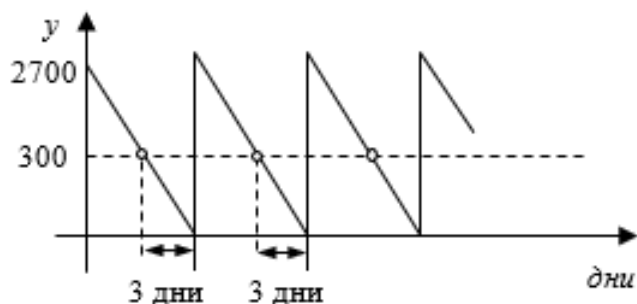
Тази разлика се използва за определяне момента на вземане на нов кредит. Този момент се дефинира като ниво на наличност на оборотен капитал. При намаляване на капитала до това ниво се стартира процедура за вземане на нов кредит. Това ниво на оборотния капитал се изчислява като:

$$\text{Ниво} = (\text{Ср.стойност(закъснение)} - T_0) \times D = 3 \times 100 = 300 \text{ лв.}$$

Направените изчисления определят динамиката на вземане на кредит, неговото ниво и моментите на неговото погасяване. Кредит се взема, когато оборотния капитал намали своето ниво до 300 лв. Тогава се взема кредит с размер 2700 лв. Погасяването на кредитите става в моментите на получаване на приходи от предприятието.

Графичната интерпретация на решението на задачата за оптимално управление на дневните разходи за изплащане на трудови възнаграждения на предприятието е представено на Фиг.2.

Тази динамика на оборотния капитал е основан на изчисления за приходи и разходи, които се правят на дневна база. Причината е, че за селскостопански предприятия практиката е за назначаване на трудов договор за определени дни с изплащане на възнаграждения като дневна надница.



Фиг. 2. Оптимално управление на разходи за трудови възнаграждения

### V. Изводи

Настоящото изследване разработва количествен модел за планиране и управление на наличен оборотен капитал. Приложението на модела е за покриване на дневни разходи на работещи на дневна база и на дневна надница/ставка. Моделът е числено тестван със стойности, които са близки на текущата практика и нива за отпускане на кредити. Определени са оптималния размер на кредита и моментите на неговото теглене. Моделът прилага формални зависимости, които се прилагат при формалната оценка на разходите по управление на складово стопанство.

Потенциални възможности за бъдещо усложняване и модифициране на модела може да се направи за случаите на отчитане:

- Случаен и променлив характер на необходимия размер на оборотен капитал;
- Поддържане на съответен резерв от наличен оборотен капитал, който да покрива изменения в случайния характер на необходими плащания;

- Отчитане на повече видове ресурси или категории капитал, които се прилагат за различни разходни пера на функционирането на предприятието.

Количествената оценка на необходим оборотен капитал е предпоставка за стабилно управление на предприятието и намаляване на риска от недостиг на необходимите средства.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. Warsing. Supply chain management.in Operation researches applications, ed. A.Ravi Ravindran, Taylor&Francis group, 2009, 978-1-4200-9186-1, p.8-1, 8-58
- [2] John A. Muckstadt, Amar Sapra. Principles of Inventory Management. When You Are Down to Four, Order More. 2010. Springer. ISSN 1431-8598, ISBN 978-0-387-24492-1, DOI 10.1007/978-0-387-68948-7, p.339.
- [3] Padmanava Samanta. Introduction to inventory management. (2017), DOI: 10.13140/RG.2.2.14914.99522, <https://www.researchgate.net/publication/317970709>, p.1-35.
- [4] G Priniotakis and P Argyropoulos. Inventory management concepts and techniques. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 459 (2019) 012060, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/459/1/012060, p.1-8.
- [5] Mustafid, D Ispriyanti, Sugito, A R Hakim. Multivariate capability indices in inventory control. Journal of Physics: Conference Series 1524 (2020) 012095, IOP Publishing, doi:10.1088/1742-6596/1524/1/012095, p.1-9.
- [6] Stanislav Dimitrov, Todor Stoilov and Krasimira Stoilova. Intelligent analysis of active management of animal husbandry. SHS Web Conf. Volume 120, 2021, Sixth international scientific conference "business and regional development" 24 June, Stara Zagora. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202112003005>
- [7] H. A. Taha. Operations Research. An Introduction. 2017, Tenth Edition, Pearson, ISBN 9780134444017, p.844.

## MANAGEMENT OF FINANCIAL WORKING CAPITAL

Ludmil Iliev  
Institute of information and  
communication technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: s.oronova@ro22.nra.bg

Dimitar Karastoyanov  
Institute of information and  
communication technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: dimikara@abv.bg

Todor Stoilov  
Institute of information and  
communication technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: toдор.stoilov@iict.bas.bg

**Abstract:** This research develops a quantitative model for the management of working financial capital of an enterprise. It has been evaluated the optimal level of needed working financial resources, for paying the labor wages of the personnel. It is estimated the optimal time for taking out a loan for keeping the needed level of the financial capital taking into account the delay in incoming funds to cover loans. It has been presented numerical simulations and results, considering the current financial state of an agriculture husbandry.

## СЪХРАНЕНИЕ НА ВЪЗБНОВЯЕМА ЕНЕРГИЯ НА БАЗА ФАЗОВО ПРОМЕНЯЩИ СЕ МАТЕРИАЛИ

Милена Бисерова Харалампиева  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии - БАН  
София, България  
e-mail: milena\_biserova@abv.bg

Венета Йосифова  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии - БАН  
София, България  
e-mail: veneta.christova@iict.bas.bg

**Резюме:** Слънчевата енергия се използва в различни системи за съхранение на топлинна енергия по целия свят. За съхраняване на възобновяема енергия, по същество са необходими съвременни материали с подходящи с подходящи топлинни свойства, като материали с променлива фаза, което води до максимално използване на слънчевата енергия и подобряване на енергийната и ексергийната ефективност на соларната система за съхранение на топлина. Тази статия разглежда основните фазово променящи се материали, като показва критериите за избор, работния диапазон на тези материали, развитието на топлинните им свойства и тяхната стабилност. Представени са също така и системи за съхранение на соларна енергия с интегриран материал с променлива фаза, като са показани възможните положения на материала в соларната инсталация.

**Ключови думи:** фазово променящи се материали, слънчеви колектори, съхранение на топлинна енергия, микрокапсулиране, макрокапсулиране

### I. УВОД

Възобновяемата енергия, наричана още „чиста“ или „зелена“ енергия, е процъфтяваща иновация, която намалява разходите за енергия и гарантира по-чисто и по-зелено бъдеще. Енергията е възобновяема, когато се получава от възобновяеми ресурси като слънце, вятър, вода или биомаса.

Слънчевата енергия е най-разпространеният и достъпен постоянен енергиен ресурс за използване на земята. Слънцето излъчва енергия със скорост  $3,8 \times 10^{23}$  kW в секунда. От тази сума само малка част, приблизително  $1,8 \times 10^{14}$  kW, достига до земята. Около 60% от това количество или  $1,08 \times 10^{14}$  достига до повърхността на земята, докато останалата част се отразява обратно в космоса и се абсорбира от атмосферата. Дори само 0,1% от тази енергия да може да се преобразува при ефективност от само 10%, това би било четири пъти повече от общия световен капацитет за генериране от около 3 000 GW. Погледнато по друг начин, общата годишна слънчева радиация, падаща върху земята, е повече от 7 500 пъти по-висока от общата годишна консумация на първична енергия в света от 450 EJ [1].

Съхранението на топлинна енергия играе важна роля в практическото и рационално използване на енергията, тъй като доминирането на търсенето на енергия над производството е световно признато. Подходящото съхранение топлинна енергия е особено необходимо в случаите, когато се генерира енергия с непостоянен характер, като оползотворяване на отпадната топлина и соларна топлина. Това съхранение може да се дефинира

като съхранение на форма на енергия, която по-късно може да се използва в други процеси. Съхранението на топлинна енергия представлява технологии, чрез които енергията се съхранява в термичен резервоар за по-късно целенасочено използване. Възможно е също термичният резервоар да се поддържа при по-ниска (по-студена) или по-висока (по-гореща) температура от тази на околната среда.

Съществуват три основни начина за съхраняване на топлинна енергия, а именно:

- съхранение на осезаема топлина;
- латентно съхранение на топлина;
- термохимично съхранение на топлина.

Съхранението на топлинна енергия обикновено се използва за преодоляване на разликата между енергийните нужди и наличността. Системите за съхранение на гореща вода се нуждаят от значително пространство, поради значителните размери на компонентите. Това възпрепятства използването им в сгради с ограничено пространство. Въпреки това, интегрирането на материали с фазова промяна в системите за съхранение на соларна топлинна енергия може да реши този проблем чрез редуциране на теглото на компонентите и пространството, необходимо за разполагане на тези системи [2].

### II. ПРИНЦИП НА РАБОТА НА МАТЕРИАЛИТЕ С ФАЗОВА ПРОМЯНА

Фазово променящите се материали (ФПМ) съхраняват енергия чрез латентния метод за съхранение. В този случай, по време на фазовата промяна, материалът абсорбира топлинна енергия от околната среда, за да промени състоянието си, а в обратния процес натрупаната енергия се освобождава в околната среда. При повишаване на температурата ФПМ първоначално се държат по същия начин като другите конвенционални материали, но енергията се абсорбира, когато материалът получава топлина при температури близки до температурата на фазовата трансформация. За разлика от конвенционалните материали, при ФПМ абсорбцията или освобождаването на топлинна енергия се извършва при постоянна температура. ФПМ обикновено абсорбира и освобождава топлинна енергия 5-14 пъти повече от други материали за съхранение, като вода или скала. ФПМ могат да съхраняват топлинна енергия в едно от следните състояния на фазова промяна: твърдо-твърдо състояние, твърдо-течно състояние, твърдо състояние -газ и течно състояние-газ. Потенциалът за съхранение на енергия на материала, при преминаване от твърдо в течно състояние,

се намира чрез умножаване на масата на материала и латентната топлина на синтез ( $hf$ ), а именно:

$$E_{stored} = M \cdot hf, \quad (1)$$

където:  $M$  – масата на ФПМ, [kg],  $hf$  – латентна топлина на синтез на ФПМ, 213 kJ/kg.

Тази латентната топлина е мярката за това колко енергия може да бъде съхранена в определена маса материал при преминаването му от твърдо в течно състояние, дадено в единици kJ/kg. Въпреки това, дали ще бъде използван пълният потенциал за съхранение на енергия на материала и скоростта, с която енергията се съхранява, зависи от скоростта на топлопреминаване от/към масата на материала. Скоростта на пренос на топлина зависи от температурната разлика между точката на топене и източника на топлина, граничните условия на материала и началната му температура.

Общата топлина, съхранена при преминаването на ФПМ от твърдо в течно състояние между началната и крайната температура, се изчислява съгласно уравнението:

$$Q_{PCM} = M[C_{ps}(T_m + T_i) + \Delta H_f + C_{pl}(T_f - T_m)] \quad (2)$$

$$(T_f > T_m > T_i),$$

топлинен капацитет на където:  $M$  – масата на ФПМ,  $T_m$  – температура на топене на ФПМ,  $T_i$  – температура на водата, постъпваща в акумулацията съд/бойлера,  $\Delta H_f$  – латентна топлина на синтез на ФПМ,  $T_f$  – крайна температура,  $C_{ps}$  – специфичен ФПМ в твърдо състояние,  $C_{pl}$  – специфичен топлинен капацитет на ФПМ в течно състояние [3].

### III. КЛАСИФИКАЦИЯ НА ФАЗОВО ПРОМЕНЯЩИТЕ СЕ МАТЕРИАЛИ

Материалите с фазова промяна се делят на:

- Органични – тези съединения са химически по-стабилни в сравнение с неорганичните ФПМ. Не са корозивни, но топлопроводимостта им е по-ниска ниска. В резултат на това количеството генерирана енергия е ниско. Към тази група спадат парафинови и непарафинови съединения.
- Неорганични – към тях спадат солните хидрати, нитрати и метали с доста висока топлина на топене. Тези материали също имат високи стойности на латентна топлина. Те са незапалими, евтини и лесно достъпни. Въпреки това техните недостатъци водят до предпочитане на неорганичните ФПМ.
- Евтектични смеси - представляват хомогенна, твърда смес от две или повече вещества, които образуват супер решетка. Сместа или се стапя, или се втвърдява при по-ниска температура от точката на топене на всеки от отделните вещества. Евтектичните материали могат да бъдат смес от органични материали, от неорганични материали или комбинация от органични и неорганични материали [4].

Таблица 1 показва предимствата и недостатъците на трите основни групи ФПМ.

ТАБЛИЦА 1. СРАВНЕНИЕ НА ТРИТЕ ГРУПИ ФПМ

Органични вещества	Неорганични вещества	Евтектични смеси
<b>Предимства</b>		
Некорозивни	Негорими	Широк температурен диапазон на фазов преход
Ниска степен на преохлаждане	Ниска цена	Добра химична и термична стабилност
Химическа и термична стабилност	Висока топлина на синтез	висок топлинен капацитет
Висока топлина на синтез	Добра топлопроводимост	Никаква или малка степен на преохлаждане
Ниско налягане на парите		
Нетоксични		
<b>Недостатъци</b>		
Ниска енталпия на фазов преход	Корозивност	Изтичане по време на фазовия преход
Ниска топлопроводимост	Термично разлагане	Ниска топлопроводимост
Големи обемни промени по време на фазовия преход	Недостатъчна термична стабилност	
	Голяма маса	

Както се вижда от таблица 1, ФПМ от всяка група сам по себе си има много недостатъци, което се отразява на неговата производителност в системите за съхранение на топлинна енергия. За да се преодолеят тези проблеми се прибегва до въвеждането на добавки, подобряващи производителността на конвенционалния ФПМ. Това също така спомага за укрепване на свойствата на единичния материал и в резултат на това разработеният комбиниран ФПМ може да има различни характеристики по отношение на механични, термични и физични свойства в сравнение със самостоятелния ФПМ.

### IV. МЕТОДИ ЗА ВГРАЖДАНЕ И ИЗДРЪЖЛИВОСТ НА ФПМ ВЪВ ВЪЗБНОВЯЕМИ СИСТЕМИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ

ФПМ могат да бъдат включени във възобновяемите системи за съхранение на топлинна енергия по два начина, а именно чрез:

- Макрокапсулиране - тук е заложен ФПМ с размер  $>1$  mm. При тази техника значително количество ФПМ може да се постави в затворен контейнер за последващо използване в термични елементи за съхранение на топлина. За подобряване на енергийната ефективност, се изследват различни конфигурации като необработен ФПМ в метална сфера, ФПМ в алуминиев панел, ФПМ в полипропиленов плосък панел и ФПМ, капсулиран в метална тръба. Резултатите показват,



че металните сфери и алуминиевите панели имат по-добра топлопроводимост, отколкото полипропиленов плосък панел и металните тръби. Това води до подобряване на ексергийната и енергийната ефективност, което осигурява наличието на топла вода на изхода за по-дълго време [5].

- Микрокапсулиране - капсулирана е малка частица с размер  $<1$  mm, като основно е използван филмообразуващ материал за покриване на твърдо или течно вещество и образуване на частици 1–1000  $\mu\text{m}$ , които се наричат микрокапсули. Методите за микрокапсулиране могат да бъдат класифицирани в три категории според механизма на синтеза: физични методи, химични методи и физико-химични методи [6].

Стабилността на цикъла е едно от ключовите свойства на ФПМ, което трябва да бъде проучено, тъй като от това зависи техният живот. ФПМ трябва да има същите или почти същите термични, химични и физични свойства след многократен брой цикли на втвърдяване и топене.

Диференциалният сканиращ калориметър (ДСК) се използва широко в лабораторията за измерване на температурата на топене и топлината на топене на ФПМ. ДСК работи на термоаналитичен принцип. При тази техника разликата в количеството топлина, необходимо за повишаване на температурата на проба и еталон, се получава като функция на температурата. По време на този процес е необходимо да се поддържа почти същата температура на пробата и еталона. Топлинният капацитет в диапазона от температури на референтната проба трябва да бъде добре дефиниран предварително. Алуминият оксид ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) е най-препоръчваният референтен материал за ДСК анализ на ФПМ [7].

По време на ДСК анализа топлината се подава както към пробата, така и към еталона. Топлината се осигурява по такъв начин, че температурата на пробата и референтния материал да се поддържа постоянна. Когато пробата претърпи физическа трансформация, като фазови преходи, тя ще изисква повече или по-малко количество топлина от еталона за поддържане на същата температура. Изискването за по-малък или по-голям топлинен поток към пробата зависи от това дали процесът е екзотермичен или ендотермичен. Чрез наблюдаване на разликата в топлинния поток между пробата и референтния материал, количеството топлина, абсорбирана или отделена по време на такива преходи, се установява от ДСК.

## V. ФАЗОВО ПРОМЕНЯЩИ СЕ МАТЕРИАЛИ В СОЛАРНИТЕ СИСТЕМИ ЗА БИТОВА ГОРЕЩА ВОДА

Топлинната енергия на слънчевата светлина във видимия спектър (инфракчервена и ултравиолетова) може да се абсорбира със слънчеви колектори. Тези колектори имат различни приложения, като едно от тях е производство на битова гореща вода. Температурата на изхода на топлоносителя зависи от различните видове колектори (плоски, вакуум тръбни и параболични концентриращи слънчеви колектори).

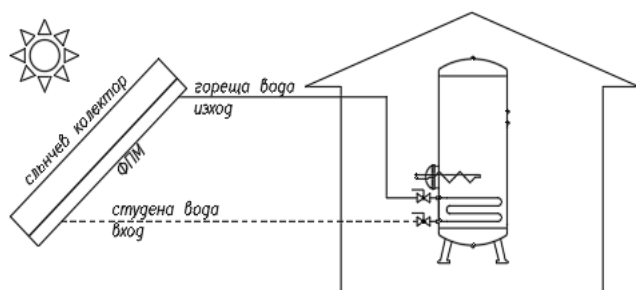
Изходната топлинна мощност на различните видове слънчеви колектори може да се определи може да се определи съгласно уравнението:

$$Q_{KN} = m \cdot C_p \cdot (\theta_{KO} - \theta_{KI}), \quad (3)$$

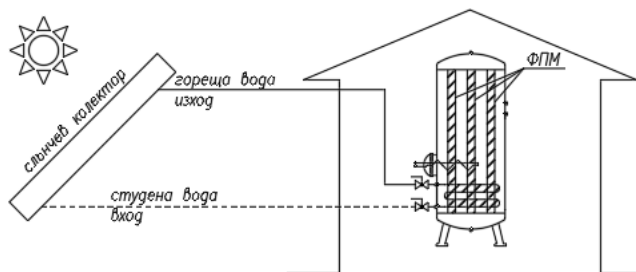
Където:  $Q_{KN}$  - изходна топлинна мощност на колектора (W),  $m$  – масов дебит на топлоносителя (kg/s),  $C_p$  – специфичен топлинен капацитет на топлоносителя (J/kg.K),  $\theta_{KO}$  - температура на изхода на колектора (K),  $\theta_{KI}$  - температура на входа на колектора (K).

Най-предпочитан от трите вида слънчеви колектори е плоският поради това, че производственият процес е опростен, рентабилен е, не изисква скъпа поддръжка и инсталацията е лесна.

В соларната система за битова гореща вода ФПМ може да бъде вграден или в слънчевия колектор (Фигура 1а), или в акумулационния съд за гореща вода (Фигура 1 б).



Фиг. 1. (а) ФПМ вграден в слънчев колектор



Фиг. 2. (б) Фпм вграден в акумулиращ съд за битова гореща вода

Интегрирането на ФПМ в соларната система за битова гореща вода може да намали чувствително нейните разходи, както и да подобри нейната ефективност. Проведени са много числени и експериментални изследвания, за да се проучи интеграцията на ФПМ в соларната инсталация. Този материал може да се разглежда като отделен обект за съхранение на латентна топлинна енергия, може да бъде поставен между източника на енергия и потребителя, а също така да бъде интегриран в плоския слънчев колектор.

Направени са проучвания за три вида ФПМ (п-октадекан, парафинов восък и стеаринова киселина), за да се достигне до оптималният дизайн на система за съхранение на топлинна енергия, спрямо слънчева радиация и температура на околната среда. Изследвано е и влиянието на дебита на водата върху нейната изходяща температура по време на периода на разреждане. Анализът на резултатите, получени в тази

изследователска работа, показва, че използването на п-октадекан като РСМ не е от полза, тъй като изходната температура на горещата вода никога не е по-висока от 28оС. От друга страна при използване на парафинов восък, изходната температура на горещата вода варира в диапазона 36-47оС, но част от ФПМ остава в течно състояние. Резултатите също така показват, че стеариновата киселина предлага приемлив диапазон на температурата на горещата вода на изхода и възможност за пълното ѝ изразходване от акумулацията съд при оптимален масов дебит. Следователно изборът на ФПМ трябва да се извършва внимателно, за да се гарантира производството на гореща вода в приемлив температурен диапазон [8].

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалите с фазова промяна имат висока енергийна плътност и висок потенциал за приложение в соларни системи за битова гореща вода. Те са материали, които имат присъща способност да абсорбират и отделят топлина по време на циклите на фазов преход. Тестът за термичен цикъл е от съществено значение за определяне на издръжливостта на парафина и мастната киселина (стеариновата киселина) преди интегрирането им в системата. Парафинът и мастната киселина имат издръжливост съответно до 14 и 27 години. По-високата топлопроводимост на ФПМ увеличава продължителността на производство на горещата вода, но материалите с ниска топлопроводимост и висока латентна топлина на топене могат да бъдат подобрени с въвеждане на добавка с висока топлопроводимост. Капсулираните ФПМ са малки частици, които лесно могат да бъдат внедрени в акумулиращи съдове за съхранение на гореща вода, а също така и успешно да се интегрират в плоски слънчеви колектори. Във всички тези случаи скоростта на зареждане и разреждане на ФПМ играе важна роля за осъществимостта на избраното приложение, което от своя страна зависи от топлопроводимостта на ФПМ.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите благодарят на Фонд Научни Изследвания към Министерство на образованието и науката по „Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания на млади учени и постдокторанти – 2019 г.“ договор № КП-06-М37/2 от 06.12.201

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] [https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/10/WER\\_2013\\_8\\_Solar\\_revised.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/10/WER_2013_8_Solar_revised.pdf)
- [2] H. Mehling and L. F. Cabeza, Heat and Cold Storage with PCM: An Up to Date Introduction Into Basics and Applications, Springer, 2008.
- [3] Johansen, J. Laboratory Testing of Solar Combi System with Compact Long Term PCM Heat Storage. Energy Procedia 2016, 91, 330–337.
- [4] Харалампиева м.. Нанотехнологии и наноматериали за съхранение на топлинна енергия. Robotics, automation and mechatronics'20, Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 2020, ISSN:1314-4634, 22-26
- [5] Schossig P, Henning HM, Gschwander S, Haussmann T. Microencapsulated phase change materials integrated into construction materials. Solar Energy Materials and Solar Cells. 2005; 89; 297-306.
- [6] G. Alva, Y. Lin, L. Liu, and G. Fang, "Synthesis, characterization and applications of microencapsulated phase change materials in thermal energy storage: a review," Energy and Buildings, vol. 144, pp. 276–294, 2017.
- [7] Cabeza LF. Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications. Woodhead Publishing Series in Energy: Number 66. Elsevier Inc; 2015
- [8] H. E. Qarnia, Numerical analysis of a coupled solar collector latent heat storage unit using various phase change materials for heating the water, Energy Conversion and Management 50 (2009) 247–254)

## RENEWABLE ENERGY STORAGE BASED ON PHASE CHANGE MATERIALS

Milena Biserova Haralampieva  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: milena\_biserova@abv.bg

Veneta Yosifova  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: veneta.christova@iict.bas.bg

**Abstract:** Solar energy is utilized in various heat storage systems around the world. Renewable energy storage essentially requires modern materials with suitable thermal properties, such as variable phase change materials, which maximize the use of solar energy and improve the energy and exergy efficiency of the solar heat storage system. This article discusses the main phase change materials, showing the selection criteria, the operating range of these materials, the development of their thermal properties and their stability. Solar energy storage systems with integrated variable phase change material are also presented, showing the possible positions of the material in the solar installation.

## БАНКОВИ УСЛУГИ ЧРЕЗ ПЛАТФОРМА IDEAL В ИНТЕЛИГЕНТНОТО ЖИВОТНОВЪДСТВО

Милвина Терзиева  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: msalabasheva@yahoo.com

Димитър Карастоянов  
Институт по информационни и  
комуникационни технологии  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: dimikara@abv.bg

**Резюме:** Статията разглежда различни видове подходи за дигитализация на банкови услуги при отворено банкиране. Представена е платформата *Ideal Gateway*. Описани са комуникационни протоколи и структури от данни за общуване с партньори, съобщения за заявки и транзакции, формати на данни, адресации и др. Изследвани са възможностите за *Ideal* банкиране в Интелигентното животновъдство чрез услуги в domeйните *Physical Agent Domain*, *Electronic Agent Domain* и *Customer Service Domain*. Обсъдени са извършване и получаване на плащания от животновъдна ферма при наличие и липса на интеграция.

**Ключови думи:** *отворено банкиране, Ideal Gateway, интелигентно животновъдство*

### I. УВОД

ИКТ услугите за банките са нещо жизненоважно за всеки един процес. Дигитализацията помага на банковия сектор да предостави нов тип услуги за своите клиенти, които те да могат да ползват все по-достъпно, по-бързо и по-удобно в своето ежедневие, както и в ситуации, в които преди това не е било възможно, [1], [2].

Изпращането и получаването на пари вече е много лесно. Това не само улесни управлението на периодичните плащания, но също така даде възможност на малки фирми без физически магазини (например малки селскостопански производители и еднолични търговци) да се появяват почти навсякъде. Вече са много търговците, които дават възможност за онлайн плащане. В допълнение предприятията вече могат да функционират изцяло онлайн. Търговците дори могат да посещават конвенции за продажба на стоки и да използват услуги като *Western Union*, *Venmo* и *PayPal*, за да получат заплащане за стоката си, [3], [4].

Отвореното банкиране е в основата на иновациите и може да трансформира не само банковия сектор, но и всеки отрасъл. Въпреки това, тъй като 2019 г. бе регистрирана като най-лошата година за регистриране *data breaches*, водещи до разкриване на информация, сигурността се превърна в ключов фокус в бранша.

В крайна сметка преминаването към отворено банкиране е знак, че традиционният модел на банкиране на дребно изчезва. То предлага удобство предоставяйки на потребителите по-голяма видимост върху техните финанси и се отървава от традиционните „болки“ при управлението на множество сметки.

### II. ПЛАТФОРМА IDEAL GATEWAY

*Gateway* е индивидуално приложение.

*Ideal Gateway* дава възможност на трети страни да разширят услугата *Ideal* паричен превод на банкови клиенти и каси. Въз основа на съществуващата услуга *Ideal Money Transfer*, чрез *Ideal Gateway* клиентите могат лесно да изпращат и получават пари чрез различни средства като хоствания уеб сайт на банката, местоположение на банкомат и мобилно предлагане. Парите могат да бъдат изпратени директно от или получени директно в банковата сметка на потребителя. Освен това, клиентите и не-клиентите могат удобно да работят с касиери на клонове, работещи като *Ideal* упълномощени агенти, за да извършват парични преводи. Партньорите могат да се възползват от обширната мрежа на *Ideal global Agent*, за да предоставят на своите клиенти несравнима гъвкавост при изпращане и получаване на пари, [5].

*Ideal Gateway* използва стандартни протоколи и структури от данни за общуване с партньори. Системата излага XML документ и SOAP интерфейси през HTTPS, през които се предават всички подробности за заявената трансакция. Цялата комуникация между страните се осъществява чрез XML документ / заявка за SOAP, изпращана до HTTPS крайна точка, използвайки действието POST. Назначеният клиентски SSL сертификат също трябва да бъде изпратен като част от тази заявка. Отговорите на заявките се връщат синхронно на същата връзка, от която е възникнала заявката. Всеки отговор ще съдържа стандартни HTTP кодове за отговор заедно с XML документа за отговор.

*Ideal Gateway* използва стандартни протоколи и структури от данни за взаимодействие с партньори. Системата излага XML документи и SOAP интерфейси през HTTPS, през които се предават всички подробности за заявената трансакция. Цялата комуникация между страните се осъществява чрез XML документ / SOAP заявка, изпратена до HTTPS крайна точка с помощта на действието POST. Присвоеният клиентски SSL сертификат също трябва да бъде изпратен като част от тази заявка. Отговорите на заявките се връщат синхронно на същата връзка, от която е възникнала заявката. Всеки отговор ще съдържа стандартни HTTP кодове за отговор заедно с XML документа за отговор, [6].

Партньорът изпраща съобщение за заявка, подписано с алгоритъм за цифров подпис, до Ideal Gateway. Компонентът Power Data на Ideal Gateway получава подписано съобщение. Data Power препраща това съобщение и цифров подпис на Ideal Digital Signature Service за проверка. Ideal Digital Signature Service дешифрира подписано съобщение за заявка и проверява автентичността на заявката. Ако проверката е успешна, след това съобщението се препраща към Ideal механизма за превод на пари в задната част с помощта на компонента на брокера за съобщения на Ideal Gateway (корпоративен сервиз). Ако проверката не е успешна, заявката се отказва и транзакцията се прекратява. Ideal Двигателят за парични преводи в задния край изпраща отговор на съобщението за заявка обратно към Ideal Gateway. Ideal Gateway отправя искане до услугата за цифрово подписване на WU за създаване на цифров подпис на отговор за превод на пари. Ideal Digital Signature Service кодира преобразуването на съобщения и създава цифров подпис на съобщение чрез личния ключ на Ideal. Ideal Digital Signature Service добавя цифров подпис, за да отговори на съобщението и препраща към Ideal Gateway. Накрая, Ideal Gateway изпраща отговор обратно на партньора.

За да се разграничи дали транзакциите са от физически, електронни или домейни за обслужване на клиенти, в съобщението XML се използва тагът <device>. Стойността на маркера представлява Domain, от който е изпратено съобщението.

Следното трябва да се има предвид при форматиране на XML съобщение за транзакция, тъй като на съобщенията за заявки ще се извърши синтактично валидиране, [7]:

- Изброяванията трябва да използват стойността точно както е посочена, включително случая.
- Етикетите, които не съдържат стойност, трябва да бъдат премахнати от съобщението.
- Всички стойности трябва да са с дължина 1 или по-голяма.

При интегрирането на партньорската системи със системата на Ideal чрез Ideal Gateway трябва да се има в предвид също така:

- Всички полета за суми (главница, сума за изплащане, такси, данъци и др.) Имат последните 2 цифри като десетични знаци. Например: Основната сума в щатски долари е 10010, което е 100 долара и 10 цента.
- Логическите транзакции са съвкупността от транзакции, които ще се осъществят при завършване на пълна услуга. Няколко примера за логическа транзакция биха били:
  - Fee Inquiry -> Send Money Validate -> Send Money Store
  - Receive Money Search -> Receive Money Select (optional) -> Receive Money Pay

- Маркерът <reference\_no> е задължителен при всички транзакции, тъй като този маркер играе важна роля при идентифицирането на дублиращите се транзакции. Маркерът <reference\_no> се попълва с уникална стойност за всяка нова логическа транзакция.
- За проверка на дублираната транзакция се вземат предвид само първите 16 знака от полето <reference\_no>
- Възможно е да има случаи, в които някои полета не съдържат данни в даден момент от времето. Такива полета могат да бъдат получени като празни тагове или понякога изобщо да не се показват в отговор от Ideal Gateway. Такива полета трябва да бъдат игнорирани от партньорските системи и не трябва да причиняват сценарий за грешка.
- Всички заявки, изпратени от партньорски системи, ще бъдат валидирани спрямо дефиницията на схемата. Ideal Gateway ще изведе грешка, в случай че входящата заявка не съвпада със съответната схема на заявка.
- Отговорите на DAS (Data Access Server), различни от английски език, ще се показват като Unicode символи. Партньорските системи трябва да имат своя собствена логика за превод, за да преведат символите на Unicode на съответния език, който търсят.
- За всички бизнес изключения, Ideal Gateway ще върне <error-reply> заедно със съответното съобщение за грешка.
- За мултивалутен партньор полето на държавата на местоназначение трябва да бъде изпратено при получаване на заявки за търсене на пари, така че да се знае вътрешната система на Ideal валутата, в която потребителят възнамерява да изплати и да получи парите.
- Търсенето на следващата страница трябва да бъде последователно и не може да се извършва назад и това трябва да се обработва от страна на клиента. Партньорите трябва да кешират отговора от страна на клиента за всяка страница, която преглеждат, в случай че има няколко страници като част от всяко търсене (Получаване на пари, Статус на плащане, CSC Търсене или Повторно отпечатване на разписка).
- В случай, че държава е изпратила транзакции, всички въпроси за спазването ще се върнат в отговора на шаблона за услугата за доставка от DAS. Партньорът трябва да изпрати кодовете „Y“ или „N“ или „X“, съответстващи на отговора, избран от потребителя. Очаква се партньорът да изпрати кода на стойността, която е избрана от потребителя за падащите полета, налични в шаблона. Тези кодове се получават като част от отговора на шаблона за опция за услуга за доставка на DAS.

- Наличието или отсъствието на празен маркер във всеки XML за отговор не трябва да оказва влияние върху приложението от страна на партньора.

### III. IDEAL БАНКИРАНЕ В ИНТЕЛИГЕНТНО ЖИВОТНОВЪДСТВО

Платформата Ideal, която може да бъде интегрирана в core системата на банката и да бъде двигателът ѝ, но също така може да се интегрира при партньор селскостопански производител, [8].

При такъв тип интеграция Интернет доставчикът играе много важна роля. Той осигурява комуникацията на основният сървър с доставчика на услуги.

Ideal Gateway дава възможност на трети страни да предлагат услугата iDeal паричен превод на банкови клиенти без да е необходимо да посещават банков клон.

Ideal Gateway използва стандартни протоколи и структури от данни за общуване с партньори.

Услугите на Ideal Gateway могат да бъдат категоризирани в три вида домейн:

Physical Agent Domain – представлява онези трансакции, които включват асоцииран партньор, действащ като агент на Ideal.

Electronic Agent Domain - представлява онези трансакции, които се изпълняват директно от клиента с помощта на една от електронните или автоматизирани системи на партньора.

Customer Service Domain - представлява онези трансакции, които се изпълняват от представители на обслужване на клиенти на партньор, използвайки API повиквания.

Домейнът представлява обобщение на начина, по който се изпълнява трансакцията.

Всички трансакции, изпратени чрез Ideal GW, независимо от метода на създаване, се съхраняват в специална база данни. Трансакциите остават в тази база данни в „Изчакващо състояние“, докато не бъдат изплатени на потребителя или не надхвърлят 365 дни. Всички чакащи трансакции могат да бъдат изплатени с помощта на някоя от съществуващите системи или услуги на Ideal. Ключово е, че те могат да бъдат изтеглени в брой от една от хилядите локации по света.

Бързите парични преводи имат за цел да подпомогнат процеса на ускорена цифровизация в животновъдството, която ще позволи на фермерите да се възползват от конкурентните предимства от ИКТ технологиите, като снижаване на разходите, повишаване на ефективността, улесняване и подобряване на вземането на решения в цялостното управление на финансово-икономическата и отчетната дейност.

При партньор животновъдна ферма може да се използва Electronic Agent Domain:

- Ideal GW се инсталира на сървъра като допълнителна апликация на компютъра на собственика или се интегрира в счетоводната програма.

- При необходимост да се направи плащане:

- Създава се запис от оторизирано лице в офиса, който чрез API свързване с онлайн банкирането извлича информация за наличността в сметката и излъчва информацията.
- Генерира се код, който се изпраща на получателя и той от своя страна може да изтегли сумата в брой от локация или при наличие на интегриран iDeal GW да го зададе да захрани банковата си сметка.

- При необходимост да се получи плащане:

- Може да се генерира линк за плащане и да се изпрати към другата страна с криптирано съобщение
- При извършено плащане парите се кредитират директно с банковата сметка на производителя асоциирана с платформата.
- Плащането може да бъде направено на каса в една от локациите на Ideal и получателят да ле логне в системата и с предоставения код да ги изтегли в банковата си сметка

Ако двете страни имат интеграцията:

- средствата се получават за минути
- Избягват се банките кореспонденти при международен партньор
- Има само една такса, която е фиксирана и известна още при създаването на превода и тя се плаща от изпращача/купувача
- Средствата се дърпат от банковата сметка на купувача/изпращач и захранват банковата сметка на продавача/получателя

Ако само едната страни има интеграцията:

- Избягват се банките кореспонденти при международен партньор
- Има само една такса, която е фиксирана и известна още при създаването на превода и тя се плаща от изпращача/купувача
- Средствата се получават в банковата сметка на получателя/продавача на услуги или той може да ги изтегли в брой от една от локациите на Ideal.

Наборът от символи, поддържан от Gateway, е US ASCII. Тази спецификация дефинира набора от символи, използван от хоста на Ideal. Трансакциите, изпратени до хоста, са направени от информация, съдържаща се в различни полета.

- Common Details - Хостът се основава на 7-битова ASCII архитектура
- General Information Fields - Определят се като всички полета с изключение на имената и числовите полета. Това включва всички адресни полета, полета за идентификация, полето за съобщение и всякакви други общи текстови полета.

Всички ASCII символи от интервала (“”) до тилдата (“~”) включително се приемат и съхраняват от хоста. Всички полета с обща информация, върнати от хоста, могат също да съдържат всякакви знаци от интервала (“”) до тилда (“~”). Всяка поява на скоби (“{” или “}”) се преобразува в съответната скоба (“[” или “]”), преди трансакцията да бъде съхранена.

- Name Fields - Това включва всички парични полета като принципал, бруто и такси, както и редица полета, върнати от хоста, като номер на трансакцията, контекст и брой съвпадения.

Хостът ще приеме и върне само цифрови знаци (0-9) в тези полета, като едно изключение е десетичната запетая (“.”).

- 7-Bit ASCII Table:

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синергиите, получени от партньорството между телекомуникационни оператори и банки дават нови възможности за предлагане на все повече продукти и услуги на потребителите, както и за улесняване на финансовите им взаимодействия с тях.

ИКТ в животновъдството с използване на ресурсите на модерното банкиране ще направят влизането на този отрасъл в 21 век по-бързо и по-лесно.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията в статията са извършени с подкрепата на Националната Научна Програма „Интелигентно животновъдство“, договор № D01-62/18.03.2021.

## BANKING SERVICES THROUGH THE IDEAL PLATFORM IN INTELLIGENT ANIMAL HUSBANDRY

Milvina Terzieva  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: msalabasheva@yahoo.com

Dimitar Karastoyanov  
Institute of Information and  
Communication Technologies  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: dimikara@abv.bg

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Weatherford D. History of the money. Obsidian, 2001. ISBN 954-769-003-5. pp 286–290
- [2] <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-11-13-gartner-forecasts-worldwide-public-cloud-revenue-to-grow-17-percent-in-2020>
- [3] <https://resources.flexera.com/web/media/documents/rightscale-2019-state-of-the-cloud-report-from-flexera.pdf>
- [4] Malz, A. M. Financial risk management: models, history, and institution : models, history, and institution , John Wiley & Sons, Inc., 2011, 722 p., ISBN 978-0-470-48180-6 (cloth); ISBN 978-1-118-02291-7 (ebk);
- [5] Karastoyanov D., Terzieva M.. ICT for Innovation in Advanced Banking. problems of engineering cybernetics and robotics, 73, Prof. Marin Drinov“ Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2020, ISSN:2738-7356, 47-54
- [6] М. Терзиева, Д. Карастоянов, Информационно-комуникационни технологии в съвременното банкиране., XXIX Международна научно-техническа конференция – АДП 29.6- 2.7 2020, 2020, ISSN:2682-9584, стр. 155-161
- [7] Terzieva, Milvina, Karastoyanov, Dimitar. Иновации в мобилното и онлайн банкиране. Автоматизация на дискретното производство, 3, Издателство на ТУ-София, 2021, ISSN:ISSN 2682-9584, 209-204
- [8] Terzieva, Milvina, Karastoyanov, Dimitar. Advanced Banking for Digitalization in Animal Husbandry. SHS Web of Conferences, 120, 2021, ISSN:2261-2424, DOI:<https://doi.org/10.1051/shsconf/202112003006>

**Abstract:** The article discusses different types of approaches to digitalization of banking services in open banking. The Ideal Gateway platform is presented. Communication protocols and data structures for communication with partners, messages for requests and transactions, data formats, addresses, etc. are described. The possibilities for Ideal banking in Intelligent Animal Husbandry through services in the domains Physical Agent Domain, Electronic Agent Domain and Customer Service Domain have been studied. Making and receiving payments from a livestock farm in the presence and absence of integration are discussed.

# MULTIPLICATION IN FPGA BASED EDGE DETECTION: MAXIMUM OPERATING FREQUENCY

Dimitre Kromichev  
Department of Marketing and  
International Economic Relations  
University of Plovdiv  
Plovdiv, Bulgaria  
e-mail: dkromichev@yahoo.com

**Abstract:** For edge detection to be used in demanding applications it must work in real time and guarantee exactness of detected contours. Integer multiplication is critical to the ultimate execution speed of FPGA based edge detection with respect to the parameter maximum operating frequency. Presented is a research into the maximum operating frequency of FPGA based multiplication algorithms. Ten Intel (Altera) FPGA families are used to explore the algorithms and conduct the analyses.

**Key words:** multiplication, FPGA, maximum operating frequency, clock cycles

## I. INTRODUCTION

Considerable research has been focused on FPGA based multiplication [4]. Proposed are: (1) booth-2 multiplier for fast computing by reducing carry propagation time [1]; (2) multiple constant multiplication using FPGA DSP blocks [3][14]; (3) matrix multiplication using MUX and Vedic multiplier with the achieved maximum frequency in Spartan 3 FPGA for 8x8 bit multiplication being 50 MHz [8]; (4) area-optimized and accurate signed multiplier which, is found to achieve up to 43% delay reduction as compared with Vivado IP multiplier [22]; (5) multiplier regularization which restructures common multiplier algorithms into faster designs [16]; (6) designs for an 8-bit array multiplication which reduces delay by using multiplexer [7][9]; (7) FPGA implementation of recursive barrel shifter multiplication [13]; (8) method of parallel multiplication in a single DSP block [25]. In [24] comparison of booth, modified booth shift-and-add, array and carry save adder multiplier finds that conventional multiplication provides result in 2.06 sec, booth - in 3.09 sec, shift-and-add - in 2.31 sec., array - in 2.75 sec and modified booth multiplier - in 3.08 sec. Analyzed are: (1) array multipliers distinguished on the basis of the used adder: (a) ripple carry adder; (b) carry look-ahead adder; (c) carry save adder [23]; (2) table based and shift-and-add constant multipliers [11]; (3) designs for large integer multiplication showing that combination multipliers offer lower delay compared to individual multipliers [15][17][18]; (4) approximate multipliers are analyzed in terms of area, delay, energy, and degree of inaccuracy [5][6][10][12][19][20][21]; (5) grid, long, lattice, binary, booth and Wallace tree multipliers; the Virtex 5 FPGA implementation with 4-bit numbers achieve clock frequencies from 71 MHz to 148 MHz [2]. The number of clock cycles for which the clock frequencies are obtained is not specified in any of these works.

The objective of this paper is to explore the maximum operating frequency  $F_{\max}$  of integer multiplication in FPGA based edge detection by using four non-iterative multiplication algorithms on the basis of ten Intel (Altera) FPGA families (Table 1).

TABLE 1. INTEL (ALTERA) FPGA FAMILIES

Intel (Altera) FPGA family	Technology	Intel (Altera) FPGA family	Technology
1. Cyclone	130 nm	6. Stratix	130 nm
2. Cyclone II	90 nm	7. Stratix II	90 nm
3. Cyclone III	65 nm	8. Stratix III	65 nm
4. Cyclone IV	40 nm	9. Stratix IV	40 nm
5. Cyclone V	28 nm	10. Stratix V	28 nm

The task is to explore  $F_{\max}$  as a function of two factors: (1) minimum number of clock cycles required to obtain mathematically accurate result  $nTclk_{\min}$  on the basis of each concrete computational mechanism; (2) entire range of input data widths calculated in FPGA based edge detection. Used tools: Scilab, Intel (Altera) Quartus, TimeQuest Timing Analyzer, ModelSim. The hardware description language is VHDL. Relevant to the analyses and conclusions arrived at are gray scale images.

## II. FPGA BASED MULTIPLICATION: $F_{\max}$ AS A FUNCTION OF

$$nTclk_{\min}$$

In FPGA based edge detection multiplication is used in

Gaussian filtering and gradient direction.

Every integer multiplier implements a concrete computational mechanism. The optimal value of  $nTclk_{\min}$  which guarantees execution of a concrete algorithm at  $F_{\max}$  must be explored in the first place. The focus is on defining which multiplier is applicable with respect to the concept of ultimate execution speed in FPGA based edge detection. Dependence of  $F_{\max}$  on  $nTclk_{\min}$  is specific to each algorithm. It is determined by the computational mechanism of a multiplier and its position in the flow of computations in a particular edge detection stage.

There are four types of non-iterative integer multipliers in FPGA: (1) hard multiplier; (2) multiplier implemented in logic elements; (3) soft multiplier; (4) multiplier implementing parallel additions.

## III. HARD MULTIPLIER

Hard multiplier is a dedicated circuitry in FPGA. It is present as embedded multiplier (Cyclone II - IV) or an integral part of DSP blocks (Cyclone V, Stratix I - V). Hard multiplier's schematic is purely combinational. Therefore,

$$F_{max}(hardMult) = \frac{1}{Tclk} \quad (1)$$

where

$Tclk$  is the period of the system clock, is defined under all test conditions for

$$nTclk_{min}(hardMult) = const = 1 \quad (2)$$

where

$nTclk_{min}(hardMult)$  is minimum number of clock cycles required by hard multiplier to calculate mathematically accurate result.

## IV. LOGIC ELEMENTS BASED MULTIPLIER

This multiplier multiplier is implemented in Cyclone I - V and Stratix I - V. This type is a modification of radix-4 multiplier.  $F_{max}$  of logic elements based multiplier  $F_{max}(LEmult)$  depends on the parallel implementation of calculations in

$$P = (Md = \sum_{s=1}^{m-1} Md_s(2^s)) * (Mr = \sum_{k=0}^{n-1} Mr_k(Mr^k)) = \sum_{k=0}^{n-1} (\sum_{s=0}^{m-1} Md_s Mr_k(2^{s+k})) \quad (3)$$

where

$Md$  is the multiplicand,  $Md \in Z$ ,  $Md \geq 0$ ,  $Md$  is m-bit,

$Mr$  is the multiplier,  $Mr \in Z$ ,  $Mr \geq 0$ ,  $Mr$  is n-bit,

$P$  is the product  $P = Md * Mr$ ;  $P$  is  $(m+n)$  bits

Because the multiplication is by two binary bits instead of one, the result is:

$$nPp(rad-4) = \frac{nPp(parall)}{\log_2(nd)} \quad (4)$$

$$nPp(parall) = 2u, u \in N$$

and

$$nPp(rad-4) = \frac{nPp(parall+1)}{\log_2(nd)} \quad (5)$$

where

$nPp(parall)$  is the number of partial products in the parallel implementation

$nPp(rad-4)$  is the number of partial products in radix-4 multiplication

$nd$  is the number of digits in the multiplier representation.

From (5) it follows that  $F_{max}(LEmult)$  is achieved by inserting registers on the basis of

$$nTclk_{min}(LEmult(pipe)) = \log_2(nd) \quad (6)$$

where

$nTclk_{min}(LEmult(pipe))$  is  $nTclk_{min}$  for which

$F_{max}(LEmult)$  is reached.

Therefore,

$$F_{max}(LEmult) = \frac{1}{Tclk} \quad (7)$$

$$Tclk > T(CP(pipe(\log_2(nd)))) \quad (8)$$

where

$T(CP(pipe(\log_2(nd))))$  is propagation delay of pipelined multiplication for

$$nTclk = \log_2(n)$$

Values of  $nTclk_{min}(LEmult(pipe))$  for various input data widths are in Table 2.

TABLE 2.  $nTclk_{min}(LEmult(pipe))$  FOR VARIOUS INPUT DATA WIDTHS

Pipelining in logic elements based multiplier	
Size of multiplicand and multiplier in bits	Optimal number of clock cycles to achieve $F_{max}(LEmult)$
3 to 4	2
5 to 8	3
9 to 16	4
17 to 32	5

Because in FPGA based gradient direction computations require that

$$nTclk_{min}(LEmult(pipe)) \leq 2 \quad (9)$$

according to row #2 of Table 2  $F_{max}(LEmult)$  cannot be achieved because the largest gray scale image pixel value is  $2^8 - 1$ .

## V. SOFT MULTIPLIER

Soft multiplier is present in Cyclone I - V and Stratix I - V. In this type, embedded memory blocks are used as LUTs to implement multiplication. If  $P$  and  $C$  are the inputs to the fully variable multiplier, then

$$p * c = \frac{(p+c)^2}{2^2} - \frac{(p-c)^2}{2^2} \quad (10)$$

There are two points of critical importance in (10): a) the values for  $\frac{(p+c)^2}{2^2}$  and  $\frac{(p-c)^2}{2^2}$  must be calculated before the start of multication operation; b) the precalculated values for  $\frac{(p+c)^2}{2^2}$  and  $\frac{(p-c)^2}{2^2}$  must be stored in two separate embedded memory blocks.

Because  $2^{17}$  is the largest positive value of central coefficient in Gaussian filter, the total of binary values which must be stored in embedded memory is

$$(2^8 - 1) * 2^{17} = 33423360 \quad (11)$$

As of today, none of the targeted Intel (Altera) FPGA families can store the value from (11) in its memory. Therefore, soft multiplier is not applicable with respect to the concept of ultimate execution speed in FPGA based edge detection.



VI. MULTIPLIER IMPLEMENTING PARALLEL ADDITIONS

Because executing addition by using a multistaged two-input adder structure impacts  $Tclk$  according to the expression:

$$\begin{aligned} L &= P \text{ or } k = 2^P \\ L &= P+1 \text{ for } 2^P < k < 2^{P+1}, P \in N \end{aligned} \quad (12)$$

where

$L$  is the number of consecutive levels of adders ,

$k$  is the number of addends.,

From (12) it follows that if for  $k=2$  the period of the system clock is  $Tclk$  , then for  $k>2$  the period of the system clock becomes  $L * Tclk$  . Therefore, in that case the use of registers between the levels of adders is a must.

On the basis of (12) a multiplication technique is developed. It is based on the fact that for any  $Mr \in N$  one of the following expressions holds true

$$Mr = 2^k + 2^m + 2^n + .. + 2^s \quad (13)$$

where

$$k, m, n, s, .. \in N \text{ and } k > m > n > ..s \geq 1$$

$$Mr = 2^k + 2^m + 2^n + 2^s + .. + 2^0 \quad (14)$$

Because the largest pixel value is  $2^8 - 1$ ,

- according to (13)

$$\begin{aligned} P &= (2^8 - 1 \lll k) + (2^8 - 1 \lll m) + (2^8 - 1 \lll n) + \\ &(2^8 - 1 \lll s) + .. + (2^8 - 1 \lll 1) \end{aligned} \quad (15)$$

- according to (14)

$$\begin{aligned} P &= (2^8 - 1 \lll k) + (2^8 - 1 \lll m) + (2^8 - 1 \lll n) + \\ &(2^8 - 1 \lll s) + .. + (2^8 - 1) \end{aligned} \quad (16)$$

According to (12) the largest output data width of an adder at level #1 is  $2^{3+m}$  . Hence,

$$\text{for (15) } L = nShl$$

$$\text{for (16) } L = nShl + 1 \quad (17)$$

where

$nShl$  is the number of shift left operations.

Therefore, for multiplier implementing parallel additions

$$Tclk > T(\lll m) + Tadd(2^3 + m) \quad (18)$$

where

$T(\lll m)$  is the propagation delay of shift left operation executed for  $m$  number of bits,

$Tadd(2^3+m)$  is the propagation delay of the adder with input data widths equal to  $2^3+m$  bits.

From (12) it follows that

$$nTclk_{min}(multParall(pipe)) = x \quad (19)$$

where

$nTclk_{min}(multParall(pipe))$  is  $nTclk_{min}$  for which multiplier implementing parallel additions achieves its  $F_{max}$  ,

$x$  is used to denote a variable.

From (19) it follows that

$$F_{max}(multParall) = \frac{1}{Tclk} \quad (20)$$

$$Tclk > T(CP(shiftLeft)) + T(CP(add)) \quad (21)$$

where

$T(CP(shiftLeft))$  is the delay of the shift left operation,

From (21) it follows that under equal test conditions:

- $F_{max}(multParall) > F_{max}(LEmult)$
- $F_{max}(multParall) > F_{max}(hardMult)$

VII. FPGA BASED MULTIPLICATION:  $F_{max}$  AS A FUNCTION OF INPUT DATA WIDTH

The upper limit of  $F_{max}$  in FPGA based edge detection is defined by the embedded memory. Therefore,  $F_{max}(hardMult)$  ,  $F_{max}(LEmult)$  and  $F_{max}(multParall)$  must be explored on a comparative basis with respect to the maximum operation frequency of embedded memory  $F_{max}(mem)$  in the targeted FPGA families. The methodology for exploring  $F_{max}(mem)$  is:

- All tests results are for the highest speed grade of each embedded memory type available in a particular FPGA family
- The tests for all types of memory are conducted with 8-bit values. If port configuration (the depth or the width) is more than the amount a memory block can support, additional memory blocks of the same type are used.

The obtained results (Table 3) show that:

TABLE 3.  $F_{max}(mem)$  OF EMBEDDED MEMORY TYPES IN THE TARGETED INTEL (ALTERA) FPGA FAMILIES

FPGA family	$F_{max}(mem)$ of embedded memory types in the targeted Intel (Altera) FPGA families (in MHz)							
	M4K	M9K	M10K	M512	M144K	M20K	MLAB	M-RAM
Cyclone	221							
Cyclone II	252							
Cyclone III		300						
Cyclone IV		307						
Cyclone V			310				412	
Stratix	283			310				280
Stratix II	428			439				403
Stratix III		539			505		577	
Stratix IV		541			507		583	
Stratix V						510	590	

- In the FPGA families where there are two or more memory types  $F_{max}(mem)$  of different embedded memory types is different

- In the FPGA families where there are two or more memory types, the basic memory type has lower (the lowest)  $F_{max}(mem)$ .

$F_{max}$  of integer multiplication must be explored for the entire range of values which can be calculated in FPGA based edge detection.

(1) Multiplication executed by hard multiplier

Methodology:

- Lpm\_mult megafunction is used to implement the hard multiplier in Cyclone II-V and Stratix I-V
- Because there are no hard multipliers in Cyclone no tests are performed with this family. In Cyclone family multipliers are implemented with Lpm\_mult megafunction using logic resources only
- Used are the hard multipliers (embedded and DSP based) with symmetric inputs according to their availability in each particular FPGA family.
- All results are for the highest speed grade in a particular FPGA family
- All tests are performed for the entire range of possible input values defined by the inputs of each size of multiplier available in a particular FPGA family.

The obtained results (Table 4) show that:

- Cyclone II-V and Stratix I-V have two indispensable multiplier sizes: 9x9 and 18x18.

TABLE 4.  $F_{max}(hardMult)$  OF HARD MULTIPLIER

FPGA family	$F_{max}(hardMult)$ of hard multiplier (in MHz)				
	9x9 multiplier	18x18 multiplier	27x27 multiplier	36x36 multiplier	12x12 multiplier
Cyclone	-*	**			
Cyclone II	259	248			
Cyclone III	331	291			
Cyclone IV	334	292			
Cyclone V	337	295	248		
Stratix	313	278		163	
Stratix II	428	401		259	
Stratix III	534	503		317	475
Stratix IV	538	505		320	478
Stratix V	540	507	479	316	

- The impact of multiplier size on  $F_{max}(hardMult)$  is clearly defined for all explored FPGA families
- $F_{max}(hardMult)$  for all input values included in the range of a particular multiplier size is a constant
- For Cyclone II-IV,  $F_{max}(hardMult)$  of 9x9 multiplier is higher than  $F_{max}(mem)$  from 4.1% to 9.3%
- For Cyclone V and Stratix I-V,  $F_{max}(hardMult)$  of 9x9 multiplier is higher than  $F_{max}(mem)$  of the basic memory type from 3.7% to 4.6%

- For Cyclone II-V and Stratix I-V,  $F_{max}(hardMult)$  of 18x18 multiplier is lower than  $F_{max}(mem)$  of the basic memory type from 1.2% to 1.6%.

(2) Multiplication executed by logic elements based multiplier

Methodology:

- Lpm\_mult megafunction is used to implement logic elements based multiplier
- Because tests must be performed under equal test conditions, the two symmetric inputs selected for the multiplier are: 8x8 and 16x16.
- Number of clock cycles required to execute multiplication is limited to 2
- The reference value for optimal number of clock cycles to achieve  $F_{max}(LEmult)$  is according to (6)

The obtained results ( Table 5 and Table 6) show that:

TABLE 5.  $F_{max}(LEmult)$  OF LOGIC ELEMENTS BASED MULTIPLIER OF SIZE 8X8

FPGA family	$F_{max}(LEmult)$ of logic elements based multiplier of size 8x8 (in MHz)	Number of clock cycles required to execute
Cyclone	179	2
Cyclone II	221	2
Cyclone III	301	2
Cyclone IV	305	2
Cyclone V	309	2
Stratix	242	2
Stratix II	367	2
Stratix III	418	2
Stratix IV	437	2
Stratix V	454	2

- The impact of the multiplier size on  $F_{max}(LEmult)$  is defined by the optimal number of clock cycles required to execute multiplication
- The limitation of two clock cycles is critical for  $F_{max}(LEmult)$
- For Cyclone II-V and Stratix I-V  $F_{max}(LEmult)$  of 8x8 multiplier is lower than  $F_{max}(hardMult)$  of 18x18 hard multiplier from 8.1% to 10.2%
- For Cyclone II-V and Stratix I-V  $F_{max}(LEmult)$  of 16x16 multiplier is lower than  $F_{max}(hardMult)$  of 18x18 hard multiplier from 22% to 25.2%.

(3) Multiplication executed by multiplier implementing parallel additions

Methodology:

TABLE 6.  $F_{max}(LEmult)$  OF LOGIC ELEMENTS BASED MULTIPLIER OF SIZE 16x16

FPGA family	$F_{max}(LEmult)$ of logic elements based multiplier of size 16x16 (in MHz)	Number of clock cycles required to execute
Cyclone	132	2
Cyclone II	192	2
Cyclone III	212	2
Cyclone IV	214	2
Cyclone V	217	2
Stratix	192	2
Stratix II	313	2
Stratix III	371	2
Stratix IV	378	2
Stratix V	383	2

- Because comparative explorations must be performed under equal test conditions, the largest value of multiplier  $Mr$  must be 17 bits.
- Because the largest gray scale image pixel value is  $2^8 - 1$ , from (13), (14), (15) and (16) it follows that  $F_{max}(multParall)$  is defined by the critical path of the multiplier which includes:
  - a)  $T(CP(leftShift))$  of  $2^8 - 1 << k$  for  $k=17$  according to (21)
  - b)  $T(CP(add))$  of 25-bit adder for  $k=17$  according to (21)

- From (12) it follows that

$$P = \log_2(k). \tag{22}$$

Hence, from (12) and (22) it follows that

$$L = 5 \text{ for } k = 17 \tag{23}$$

Therefore, optimal value of  $F_{max}(multParall)$  is achieved when multiplication is executed within 5 clock cycles.

The obtained results (Table 7) show that:

TABLE 7.  $F_{max}(multParall)$  OF MULTIPLIER IMPLEMENTING PARALLEL ADDITIONS

FPGA family	$F_{max}(multParall)$ implementing parallel additions for multiplicand $Md = 8$ bits, multiplier $Mr = 17$ bits (in MHz)	Number of clock cycles required to execute
Cyclone	242	5
Cyclone II	292	5
Cyclone III	381	5
Cyclone IV	385	5
Cyclone V	388	5
Stratix	358	5
Stratix II	516	5
Stratix III	702	5
Stratix IV	712	5
Stratix V	727	5

- When multiplication implementing parallel additions is executed within the optimal number of clock cycles  $F_{max}(multParall) > F_{max}(hardMult)$  &  $F_{max}(multParall) > F_{max}(mem)$  of the basic memory type
- For Cyclone II-V and Stratix I-V  $F_{max}(multParall)$  is higher than  $F_{max}(hardMult)$  of 9x9 multiplier from 18.3% to 26.1%.

- For Cyclone  $F_{max}(multParall)$  is higher than  $F_{max}(LEmult)$  of logic elements based multiplier of size 8x8 by 17.2%.
- For Cyclone I-V Stratix I-V  $F_{max}(multParall)$  is higher than  $F_{max}(mem)$  of the basic memory type from 8.8% to 29.9%.

CONCLUSION

In this paper, presented is a research into the maximum operating frequency of FPGA based multiplication algorithms. Maximum operating frequency of integer multiplication in FPGA based edge detection is explored by using four non-iterative multiplication algorithms on the basis of ten Intel (Altera) FPGA families. Maximum operating frequency is explored as a function of two factors: (1) minimum number of clock cycles required to obtain mathematically accurate result with respect to each concrete algorithm's computational mechanism; (2) entire range of input data widths calculated in FPGA based edge detection.

REFERENCES

- [1] Abhinav Behla, Abhilasha Gokhale, Neelam Sharmac, Design and Implementation of Fast Booth-2 Multiplier on Artix FPGA, International Conference on Smart Sustainable Intelligent Computing and Applications under ICITETM 2020, Procedia Computer Science 173, 2020, pp. 140-148
- [2] Anoop C, Anu Chalil, Implementation and Analysis of Multiplication Algorithms for VLSI Applications using FPGA International Journal Of Electrical, Electronics And Data Communication, Volume-5, Issue-9, Sep.-2017, pp. 48-54
- [3] A. C. Mert, H. Azgin, E. Kalali and I. Hamzaoglu, Efficient Multiple Constant Multiplication Using DSP Blocks in FPGA, 2018 28th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL), 2018, pp. 331-3313
- [4] Ayan Palchaudhuri, Rajat Subhra Chakraborty, High Performance Integer Arithmetic Circuit Design on FPGA, Springer, 2016
- [5] C. Liu, J. Han and F. Lombardi, A low-power, high-performance approximate multiplier with configurable partial error recovery, 2014 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), Dresden, 2014, pp. 1-4
- [6] C. Lin and I. Lin, High accuracy approximate multiplier with error correction, 2013 IEEE 31st International Conference on Computer Design (ICCD), Asheville, NC, 2013, pp. 33-38
- [7] Dhanabalan and Tamil Selvi, FPGA Implementation of 8-bit Multiplier with Reduced Delay Time, International Journal of Computer and Communication Engineering, Vol. 2, No. 6, November 2013, pp. 412-416
- [8] Satish S Bhairannawar, Raja K B., Venugopal K R, L. M. Patnaik, EFFICIENT FPGA BASED MATRIX MULTIPLICATION USING MUX AND VEDIC MULTIPLIER, INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS & TECHNOLOGY, Vol 12, No. 5, 2014, pp. 3452-3462
- [9] E. G. Walters, Array Multipliers for High Throughput in Xilinx FPGAs with 6-Input LUTs, Computers, vol. 5 no. 4, 2016
- [10] E. Kalali and R. Van Leuken, Near-precise parameter approximation for multiple multiplications on a single dsp block, IEEE Transactions on Computers, 2021, pp. 1-6
- [11] Florent de Dinechin, Silviu-Ioan Filip, Luc Forget, Martin Kumm, Table-Based versus Shift-And-Add constant multipliers for FPGAs. ARITH 2019 - 26th IEEE Symposium on Computer Arithmetic, 2019, pp. 1-8
- [12] J. Mody, R. Lawand, R. Priyanka, S. Sivanantham and K. Sivasankaran, Study of Approximate compressors for multiplication using FPGA, 2015 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), Coimbatore, 2015, pp. 1-4

- 
- [13] Manoj M Kamble<sup>1</sup>, Dr. Sunita P Ugale, Analysis of different multiplication algorithm and FPGA implementation of recursive barrel shifter method for multiplication, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03 Issue: 01, 2016, pp. 1141-1147
- [14] Martin Kumm, Multiple Constant Multiplication Optimizations for Field Programmable Gate Arrays, Springer, 2016
- [15] M. Kumm, J. Kappauf, M. Istvan and P. Zipf, Resource Optimal Design of Large Multipliers for FPGAs, 2017 IEEE 24th Symposium on Computer Arithmetic (ARITH), London, 2017, pp. 131-138
- [16] M. Langhammer and G. Baeckler, High Density and Performance Multiplication for FPGA, 2018 IEEE 25th Symposium on Computer Arithmetic (ARITH), 2018, pp. 5-12
- [17] Martin Langhammer, Bogdan Pasca, Folded Integer Multiplication for FPGAs, FPGA '21: The 2021 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays February 2021, pp. 160-170
- [18] Rafferty, C., O'Neill, M., & Hanley, N., Evaluation of Large Integer Multiplication Methods on Hardware. IEEE Transactions on Computers, 2017
- [19] S. Rehman, W. El-Harouni, M. Shafique, A. Kumar, J. Henkel and J. Henkel, Architectural-space exploration of approximate multipliers, 2016 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD), Austin, TX, 2016, pp. 1-8
- [20] S. Ullah, S. Rehman, B. S. Prabakaran, F. Kriebel, M. A. Hanif, M. Shafique, A. Kumar, Area-Optimized Low-Latency Approximate Multipliers for FPGA-based Hardware Accelerators, 2018 55th ACM/ESDA/IEEE Design Automation Conference (DAC), 2018, pp. 1-6
- [21] S. Ullah, H. Schmidl, S. S. Sahoo, S. Rehman and A. Kumar, Area-optimized Accurate and Approximate Softcore Signed Multiplier Architectures, Transactions on Computers, Volume 70 Issue 3, March 2021, pp. 384-392
- [22] S. Ullah, T. D. A. Nguyen and A. Kumar, Energy-Efficient Low-Latency Signed Multiplier for FPGA-Based Hardware Accelerators, in IEEE Embedded Systems Letters, vol. 13, no. 2, June 2021, pp. 41-44
- [23] Vikas Kaushik and Himanshi Saini, A Review on Comparative Performance Analysis of Different Digital Multipliers, Advances in Computational Sciences and Technology, Volume 10 (5), 2017, pp. 1257-1272
- [24] V. Swetha, B. Renuka, D. Lakshman Rao, S. Sridhar, K. Harika, Analysis of Different Multiplication Algorithms & FPGA Implementation, IOSR Journal of VLSI and Signal Processing (IOSR-JVSP) Volume 4, Issue 2, Ver. I, 2014, pp. 29-35
- [25] Z. Huang, S. Zhang, and W. Wang, An efficient method of parallel multiplication on a single dsp slice for embedded fpgas, IEEE Access, vol. 7, 2019, pp. 101-108

# FPGA BASED EDGE DETECTION: MAXIMUM OPERATING FREQUENCY OF INTEGER DIVISION WITH A VARIABLE DIVISOR AND DIVISION BY MULTIPLYING WITH THE RECIPROCAL OF DIVISOR

Dimitre Kromichev  
 Department of Marketing and  
 International Economic Relations  
 University of Plovdiv  
 Plovdiv, Bulgaria  
 e-mail: dkromichev@yahoo.com

**Abstract:** Maximum operating frequency of FPGA based edge detection using Gaussian filtering is strongly impacted by integer division. Hence, the concept of ultimate execution speed of FPGA based edge detection has to tackle division in the first place. Proposed in this paper is a thorough research of the maximum operating frequency of division with a variable divisor and division by multiplying with the reciprocal of divisor with respect to two factors: (1) minimum number of clock cycles required for the algorithm to execute; (2) entire range of input data widths calculated in FPGA based edge detection. Ten Intel (Altera) FPGA families are used to explore the integer division algorithms and conduct the analyses.

**Key words:** integer division, FPGA, divisor, maximum operating frequency, clock cycles

## I. INTRODUCTION

There are various division algorithms focused on hardware implementation. In [3] presented are the following algorithms: basic digit-recurrence algorithm; radix-2 division which encompasses non-restoring algorithm, restoring algorithm, binary recurrence algorithm, binary recurrence algorithm with carry-save adder, radix- recurrence algorithm; radix-B algorithm ( $B > 2$ ); convergence algorithm. In [7] analyzed are the following algorithms: multiply and shift algorithm as being essentially equivalent to multiplying by the inverse of the divisor; iterative algorithm; successive approximation algorithm. In [10] described is a subtractive division algorithm in which the basic operations is subtraction. In [11][12] analyzed is division by multiplying with the reciprocal of divisor. Much research is focused on digit recurrence division [1][2][4]. In [8] presented and analyzed are restoring and non-restoring digit recurrence algorithms, SRT division, multiplicative algorithm, approximation algorithms, CORDIC algorithm and continued product algorithm. In [6] proposed and studied are division algorithms based on the non-restoring method with modified delay and the power dissipation corrections. In [5] proposed is an n-bit SRT divider for FPGA implementation. In [9] proposed is 16-bit divider using non-restoring method to obtain quotient bits. The quotient value in each iterative step is in binary form, partial remainders are in redundant binary representations. Iterations use carry-save adder.

The objective of this paper is to explore the maximum operating frequency  $F_{max}$  of integer division with a variable divisor and division by multiplying with the reciprocal of

divisor in FPGA based edge detection using Gaussian filtering. Ten Intel (Altera) FPGA families (Table 1) are used in the research. The task is to explore  $F_{max}$  as a function of two factors: (1) minimum number of clock cycles required to obtain mathematically accurate result  $nTclk_{min}$  on the basis of the algorithm's computational mechanism; (2) entire range of input data widths calculated in FPGA based edge detection. Used tools: Scilab, Intel (Altera) Quartus, TimeQuest Timing Analyzer, ModelSim. The hardware description language is VHDL. Relevant to the analyses and conclusions arrived at are gray scale images.

TABLE 1. INTEL (ALTERA) FPGA FAMILIES

Intel (Altera) FPGA family	Technology	Intel (Altera) FPGA family	Technology
1. Cyclone	130 nm	6. Stratix	130 nm
2. Cyclone II	90 nm	7. Stratix II	90 nm
3. Cyclone III	65 nm	8. Stratix III	65 nm
4. Cyclone IV	40 nm	9. Stratix IV	40 nm
5. Cyclone V	28 nm	10. Stratix V	28 nm

## II. FPGA BASED INTEGER DIVISION WITH A VARIABLE

DIVISOR:  $F_{max}$  AS A FUNCTION OF  $nTclk_{min}$

In FPGA based edge detection which uses Gaussian filtering: dividend  $\geq 0$ , divisor  $\in N$ , quotient  $\geq 0$ , remainder  $\geq 0$ .

Array division is the fastest integer division algorithm with variable divisor. Its basic schematic is combinational.

Therefore, if  $Dd$  is the number of bits in the dividend and  $Dr$  is the number of bits in the divisor, then the critical path includes  $(Dd - Dr) * Dr$  number of full adders and  $(Dd - Dr) * Dr$  number of XOR gates.

Maximum clock frequency of array divider  $F_{max}(divArray)$  is calculated according to:

- If quotient and remainder are calculated within a single clock cycle, and rounding is executed within a separate clock cycle, then

$$F_{max}(divArray) = F_{max}(divArray(Qt)) = \frac{1}{Tclk} \quad (1)$$

$$Tclk > T(CP(Qt)) \quad (2)$$

where

$T(CP(Q_t))$  is the propagation delay of the critical path of the combinational schematic of array divider required to calculate only quotient and remainder.

$Tclk$  is the period of the system clock,

- If the final integer division result (calculation of quotient and remainder plus the rounding) is obtained within a single clock cycle, then

$$F_{\max}(divArray) = F_{\max}(divArray(Q_t + round)) = \frac{1}{Tclk} \quad (3)$$

$$Tclk > T(CP(Q_t)) + T(CP(round)) \quad (4)$$

where

$T(CP(round))$  is the critical path delay of rounding. Expression (3) represents the worst case scenario for  $F_{\max}(divArray)$ . Increase in  $F_{\max}(divArray)$  is achieved by applying two techniques:

- From 2 and (4) it follows that

$$F_{\max}(divArray(Q_t + round)) < F_{\max}(divArray(Q_t)) \quad (5)$$

Therefore, from (5) it follows that rounding must be executed within a separate clock cycle under all test conditions. Thus,

$$nTclk(divArray) = nTclk(Q_t) + 1 \quad (6)$$

where

$nTclk(divArray)$  is the number of clock cycles required to calculate an accurate integer division result (rounding included),

$nTclk(Q_t)$  is the number of clock cycles required to calculate quotient and remainder in the combinational divider.

Because in this case  $nTclk(Q_t) = 1$ , it follows that

$$nTclk(divArray) = 2 \quad (7)$$

- Divider is pipelined. Thus, the total number of clock cycles required to calculate an accurate division result becomes

$$nTclk(divArray) = npTclk(Q_t) + 1 \quad (8)$$

where

$npTclk(Q_t)$  is the number of clock cycles required to calculate quotient and remainder in the pipelined divider.

Because in this case  $npTclk(Q_t) \geq 2$ , it follows that

$$npTclk(divArray) \geq 3 \quad (9)$$

where

$npTclk(divArray)$  is the number of clock cycles required to calculate accurate division result (rounding included) in the pipelined divider.

Thus, for concrete  $Dd$  and  $Dr$   $F_{\max}(divArray)$  depends on  $npTclk(Q_t)$ .

In FPGA based edge detection,  $npTclk(Q_t)$  is restricted by two factors:

- Critical path delay of rounding according to the inequality

$$T(CP_{\max}(pipe)) > T(CP(round)) \quad (10)$$

where

$T(CP_{\max}(pipe))$  is the propagation delay of the longest critical path in the pipelined array divider calculating quotient and remainder

$T(CP(round))$  is the propagation delay of the critical path of rounding.

If (10) is not satisfied, then the maximum value of  $npTclk(Q_t)$  is reached. Beyond this value, there is no increase in  $F_{\max}(divArray)$ . Hence,

$$Tclk > T(CP(round)) \quad (11)$$

Therefore, in case of (11)  $F_{\max}(divArray)$  is determined by the critical path delay of rounding operation.

- Organization of computations in Gaussian filtering and Gaussian filter size. If (10) is satisfied, for pipelined Gaussian computations to be possible, the following inequality must be satisfied

$$nTclk(divArray) < nTclk(GaussNumer) \quad (12)$$

where

$nTclk(GaussNumer)$  is the number of clock cycles required to calculate the numerator of Gaussian filtering function.

The number of clock cycles required for executing Gaussian filtering is at its minimum when

$$nMult = nAdd = z \quad (13)$$

where

$nMult$  is the number of multiplications required for Gaussian filtering a single input image pixel,

$nAdd$  is the number of additions required for Gaussian filtering a single input image pixel,

$z$  is the size of Gaussian filter.

With multiplication and accumulation executed within separate clock cycles

$$nTclk(GaussNumer) = z + 1 \quad (14)$$

Therefore, from (12) it follows that

$$nTclk(div) \leq z \quad (15)$$

Because rounding is executed in a separate clock cycle, it follows that

$$npTclk(Q_t) \leq z - 1 \quad (16)$$

Thus, the maximum value of  $npTclk(Q_t)$  is reached for

$$npTclk(Q_t) = z - 1 \quad (17)$$

Therefore, according to (12) the value of  $z$  is a critical restriction for  $F_{\max}(divArray)$  in FPGA based edge detection which uses Gaussian filtering.

The optimal ratio of clock cycles for ten Gaussian filters is in Table 2.

TABLE 2. OPTIMAL RATIOS OF CLOCK CYCLES FOR TEN GAUSSIAN FILTERS IN PIPELINED IMPLEMENTATION OF ARRAY DIVIDER

Optimal ratio of $nTclk(divArray)$ , $npTclk(Q_t)$ and $nTclk(GaussNumer)$ for various $Z$ under the condition $T(CP_{\max}(pipe)) > T(CP(round))$			
Size of Gaussian filter	$nTclk(divArray)$	$npTclk(Q_t)$	$nTclk(GaussNumer)$
3x3	3	2	4
5x5	5	4	6
7x7	7	6	8
9x9	9	8	10
11x11	11	10	12
13x13	13	12	14
15x15	15	14	16
17x17	17	16	18
19x19	19	18	20
21x21	21	20	22

In array divider, (10) and (11) present a very specific problem:  $T(CP(round))$  is a function of the mathematical accuracy of rounding operation. The core FPGA integer division algorithm does not provide any computational mechanism for accurate execution of rounding. Mathematically accurate rounding in the integer domain requires two different approaches on the basis of:

- divisor is an even number
- divisor is an odd number.

Otherwise, if rounding is executed on the basis of one and the same comparison function ( $>/\geq$ ) without taking into account the even/odd characteristic of the divisor, it is guaranteed that exactly 50% of all integer division results will be wrong.

Thus, the task is to explore the relation between mathematical accuracy and  $F_{\max}(divArray)$  in terms of rounding operation.

$T(CP(round))$  is a dynamic value which is proportional to  $Dr$ . Hence, it presents a critical restriction to  $F_{\max}(divArray)$ .

There are two possible cases:

(1) The upper limit of  $F_{\max}(divArray)$  can be achieved, if rounding is executed within a single clock cycle.

Because the largest quotient value is  $2^8 - 1$ , in this case  $F_{\max}(divArray)$  is achieved for

$$npTclk(Q_t) = 4 \quad (18)$$

Up to that number, every additional clock cycle drives the clock frequency to a higher value. Beyond this number, increasing the number of clock cycles is not effective according to (10) and (11). Therefore, from Table 2 and expression (12), it follows that in this case the upper limit of  $F_{\max}(divArray)$  is reached for Gaussian filter of size 5x5.

(2) If rounding is executed within two clock cycles, then

$$npTclk(Q_t) = 8 \quad (19)$$

Therefore, from Table 2 and (12), it follows that in this case the upper limit of  $F_{\max}(divArray)$  in the pipelined array divider is reached for Gaussian filter of size 11x11. For both cases, because the number of full adders and XOR gates in the longest critical path of the pipelined array divider is a factor of  $Dr$ , it follows that  $F_{\max}(divArray)$  is a function of  $Dr$ .

The exploration of computational mechanism proves the following facts about the pipelined array divider:

- $nTclk(divArray)$  is a function of two variables:  $z$  and  $T(CP(round))$
- Pipelining is restricted as a tool to increase  $F_{\max}(divArray)$ . It is not capable to guarantee constant value of  $F_{\max}(divArray)$  under various test conditions
- The increase in  $nTclk(divArray)$  used as a tool to increase  $F_{\max}(divArray)$  is not applicable to the use of distributive law for calculating Gaussian function. The consequence is that adding up all convolution results and executing a single division reduces  $F_{\max}(divArray)$  due to the increased value of the dividend.

### III. FPGA BASED INTEGER DIVISION WITH A VARIABLE DIVISOR: $F_{\max}$ AS A FUNCTION OF INPUT DATA WIDTH

Methodology:

- Lpm\_divide megafunction is used to implement array divider
- Dividend and divisor maximum size is calculated on the basis of Gaussian filter coefficients. The ratios are:

a) divisor

$$LIDW(divisor) = LNF = LCC * LR[CC - NF] = 2^{17} * \left[ \frac{2^8}{2} - 1 \right] \quad (20)$$

where

$LIDW(divisor)$  is the largest input data width of divisor,

$LNF$  is the largest value of normalization factor,

$LCC$  is the largest central coefficient value,

$LR[CC - NF]$  is the largest ratio between central coefficient and normalization factor.

Thus, the largest divisor is 24 bits wide.

b) dividend

$$LIDW(dividend) = LIDW(divisor) * [2^8 - 1] \quad (21)$$

where

$LIDW$  (*dividend*) is the largest input data width of dividend,

$2^8 - 1$  is the largest gray scale image pixel value.

Thus, the largest dividend is 32 bits wide.

- The number of clock cycles used to calculate only quotient and remainder is based on Table 2.
- Two options are used to execute rounding:
  - a) within a single clock cycle
  - b) within two clock cycles.
- Input data widths used for the tests are in the range 4 - 32 bits. Therefore, the experiments are conducted using values which include Gaussian filter central coefficients in the interval  $[2^1, 2^{17}]$  and normalization factors in the interval  $[2^3 + 2, 2^{32} - 1]$ .
- The impact of input data width on  $F_{\max}(divArray)$  is tested for both entirely combinational schematic of array divider and pipelined array divider. In this way, the applicability of array divider in Gaussian filtering by using distributive law can be assessed on a comparative basis.

The obtained results show that:

- $F_{\max}(divArray)$  is inversely proportional to input data width
- The number of clock cycles in the pipelined schematic used as a technique to increase  $F_{\max}(divArray)$  is limited by the critical path of rounding
- Dependence of  $F_{\max}(divArray)$  on  $z$  and  $npTclk(Qt)$  is not linear
- For equal input data widths, increase of  $F_{\max}(divArray)$  on the basis of increase in  $npTclk(Qt)$  is limited to  $z=5$  and  $z=11$
- For  $npTclk(Qt)=4$  and rounding executed within a single clock cycle  $F_{\max}(divArray)$  reaches its largest value
- For  $npTclk(Qt)=8$  and rounding executed within two clock cycles  $F_{\max}(divArray)$  reaches its largest value
- For Cyclone II-IV and Stratix I-V, for dividend width = 12 bits, divisor width = 4 bits,  $npTclk(Qt)=4$  and rounding executed within a single clock cycle  $F_{\max}(divArray)$  is higher than  $F_{\max}(hardMult)$  of 18x18 hard multiplier from 8.2% to 9.9%
- For Cyclone, for dividend width = 12 bits, divisor width = 4 bits,  $npTclk(Qt)=4$  and rounding executed within a single clock cycle  $F_{\max}(divArray)$  is higher

than  $F_{\max}(hardMult)$  of  $F_{\max}(LEMult)$  of logic elements based multiplier of size 16x16 by 28.2%.

- For Cyclone II-IV and Stratix I-V, for dividend width = 12 bits, divisor width = 4 bits,  $npTclk(Qt)=8$  and rounding executed within two clock cycles  $F_{\max}(divArray)$  is higher than  $F_{\max}(hardMult)$  of 18x18 hard multiplier from 27.9% to 29.5%
- For Cyclone, for dividend width = 12 bits, divisor width = 4 bits,  $npTclk(Qt)=8$  and rounding executed within two clock cycles  $F_{\max}(divArray)$  is higher than  $F_{\max}(hardMult)$  of  $F_{\max}(LEMult)$  of logic elements based multiplier of size 16x16 by 52.3%
- For Cyclone II-IV and Stratix I-V, for all other input data widths (dividend width = 16, 24, 32 bits, divisor width = 8, 16, 24 bits),  $npTclk(Qt)=4$  and rounding executed within a single clock cycle  $F_{\max}(divArray)$  is lower than  $F_{\max}(hardMult)$  of 18x18 hard multiplier from 48.4% to 84.5%
- For Cyclone, for all other input data widths (dividend width = 16, 24, 32 bits, divisor width = 8, 16, 24 bits),  $npTclk(Qt)=4$  and rounding executed within a single clock cycle  $F_{\max}(divArray)$  is lower than  $F_{\max}(LEMult)$  of logic elements based multiplier of size 16x16 from 43.2% to 88.6%
- For Cyclone II-IV and Stratix I-V, for all other input data widths (dividend width = 16, 24, 32 bits, divisor width = 8, 16, 24 bits),  $npTclk(Qt)=8$  and rounding executed within two clock cycles  $F_{\max}(divArray)$  is lower than  $F_{\max}(hardMult)$  of 18x18 hard multiplier from 19.2% to 77.2%
- For Cyclone, for all other input data widths (dividend width = 16, 24, 32 bits, divisor width = 8, 16, 24 bits),  $npTclk(Qt)=8$  and rounding executed within two clock cycles  $F_{\max}(divArray)$  is lower than  $F_{\max}(LEMult)$  of logic elements based multiplier of size 16x16 from 17.4% to 83.5%.

IV. FPGA BASED INTEGER DIVISION BY MULTIPLYING WITH THE RECIPROCAL OF DIVISOR:  $F_{\max}$  AS A FUNCTION OF INPUT DATA WIDTH

In division by multiplying the dividend with the reciprocal of divisor multiplication is executed by hard multiplier. Hence, its maximum clock frequency  $F_{\max}(divBYmult)$ :

- Depends only on input data width
- Is a constant value for a concrete hard multiplier size
- Cannot be impacted by rounding if executed within a separate clock cycle and the required number of clock



cycles to secure an accurate division result  $nTclk(divBYmult) = 2$ .

Therefore, multiplication of dividend with the reciprocal of divisor can be used in Gaussian filtering to:

- Divide a single convolution result. The input to the multiplier executing division is the output to the multiplier executing convolution. Therefore, because the largest gray scale image pixel value is  $2^8 - 1$ ,  $F_{max}(divBYmult)$  is achieved for

$$LIDW(dividend) = 2^{17} = 2^8 * 2^9 \quad (22)$$

where

$LIDW(dividend)$  is the largest input data width of dividend (22) limits the largest central coefficient value to

$$LCC = 2^9 - 1. \quad (23)$$

- Divide the sum of all convolution results. In that case

$$dividend = \sum(GaussCoeff) * 2^8 - 1 \quad (24)$$

where

$\sum(GaussCoeff)$  is the sum of all Gaussian coefficients.

Therefore,  $F_{max}(divBYmult)$  is achieved when the largest value of divisor is limited to

$$LNF = 2^9 - 1 \quad (25)$$

where

$LNF$  is the largest value of the normalization factor of

Gaussian filter.

Methodology:

- Lpm\_mult megafunction is used to implement the hard multiplier in Cyclone II-V and Stratix I-V
- Because there is no hard multiplier in Cyclone family, logic elements based multiplier is implemented using Lpm\_mult megafunction to execute division by multiplying with the reciprocal of divisor
- Tests are conducted with the following maximum widths of dividend: 17 bits, 26 bits and 32 bits. The widths of dividend in Cyclone are: 16 bits, 24 bits and 32 bits.

The obtained results show that:

- In Cyclone II-V and Stratix I-V, for maximum width of dividend = 17 bits  $F_{max}(divBYmult) = F_{max}(hardMult)$  of 18x18 hard multiplier
- In Cyclone II-IV the largest hard multiplier size is 18x18. Therefore, for maximum width of dividend = 26 bits and 32 bits two 18x18 hard multipliers are cascaded. Hence, the 50.5% decrease in  $F_{max}(divBYmult)$
- In Cyclone V and Stratix V multiplication is executed by 27x27 hard multiplier for dividend = 26 bits. This leads to 16.1% and 12.1% decrease in  $F_{max}(divBYmult)$  for Cyclone V and Stratix V

- In Stratix I-V, for maximum width of dividend = 32 bits multiplication is executed by 36x36 hard multiplier. Hence, the decrease in  $F_{max}(divBYmult)$  is from 39.9% to 20.2% compared to  $F_{max}(divBYmult)$  for dividend = 17 bits
- In Cyclone, for dividend = 16 bits, 24 bits and 32 bits the logic elements based multiplier has only a single clock cycle to calculate quotient. It requires 4 clock cycles for 16 bits and 5 clock cycles for 24 bits and 32 bits to achieve the optimal value of  $F_{max}(LEMult)$ . Hence, the 37.9%, 67.5% and 84.1% decrease in  $F_{max}(divBYmult)$  compared to  $F_{max}(LEMult)$  of logic elements based multiplier of size 16x16 and multiplication executed within 2 clock cycles

### CONCLUSION

In this paper proposed is a thorough research of the maximum operating frequency of division with a variable divisor and division by multiplying with the reciprocal of divisor with respect to two factors: (1) minimum number of clock cycles required to obtain mathematically accurate result on the basis of the algorithm's computational mechanism; (2) entire range of input data widths calculated in FPGA based edge detection. Ten Intel (Altera) FPGA families are used to explore the integer division algorithms and conduct the analyses.

### REFERENCES

- [1] Ayan Palchoudhuri, Rajat Subhra Chakraborty, High Performance Integer Arithmetic Circuit Design on FPGA: Architecture, Implementation and Design Automation, Springer, 2016
- [2] Carl Hamacher, Zvonko Vranesic, Safwat Zaky, Naraig Manjikian, Computer Organization and Embedded Systems, McGraw-Hill, 2012
- [3] Dechamps, J., Sutter, G. D., Canto, E., Guide to FPGA Implementation of Arithmetic Functions, Springer Science & Business Media, 2012
- [4] E. M. Kulisen, Rapid, Division Algorithms of the arithmetic design and its performance parameter comparative analysis, 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference, 2017, pp. 630- 633
- [5] J. Kumari, M. Y. Yasin, Design and Soft Implementation of N-bit SRT Divider on FPGA through VHDL, International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, vol. 3, no. 4, pp. 13-19, Apr. 2015
- [6] J. Kunn, S. E. Landerswartz, Advanced division algorithms based on the non-restoring with modified delay and the power dissipation corrections, 47th conference on signals and systems and digital computers, 2013, pp. 1461-1465
- [7] Kiltz, S., Advanced FPGA Design. Architecture, Implementation, and Optimization, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2007
- [8] Rohini S. Hongal, Anita DJ, Comparative Study of Different Division Algorithms for Fixed and Floating Point Arithmetic Unit for Embedded Applications International Journal of Computer Sciences and Engineering IJCSE Volume-4, Issue-9, 2016, pp. 48-54
- [9] S. Dixit, M. Nadeem, FPGA Accomplishment of a 16-Bit Divider, Computer Science, vol. 3, no. 2, 2017, pp. 140-143
- [10] Vladitiu, M., Computer Arithmetic: Algorithms and Hardware Implementations, 2012
- [11] Moller, N., Granlund, T., Improved division by invariant integers, IEEE Transactions on Computers, Vol. 60, 2011, pp. 165-175
- [12] Werbrouck, A. E., Cavagnino, D., Efficient Algorithms for Integer Division by Constants Using Multiplication, The Computer Journal, Vol. 51 (4), 2008, pp. 470-480

## 3D МОДЕЛИРАНЕ НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО

Слав Димитров  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Ренета Димитрова  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Васил Стоименов  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: vasil.stoimenov4@gmail.com

**Резюме:** С настоящата статия се цели разработване на нискостойностен автоматизиран стенд за изследване на процесите по изработка на елементи от тънки метални повърхности за незрящи. За изпълнение на поставената цел е необходимо да се моделират основните елементи и възли на новопроектирания автоматизиран стенд за отпечатване на Брайлово писмо върху тънки метални повърхности в дигитална среда.

**Ключови думи:** 3D моделиране, автоматизация, Брайлово писмо, задвижване, винто-гаечна предавка, метална повърхност.

### I. Увод (ЗАГЛАВИЕ I)

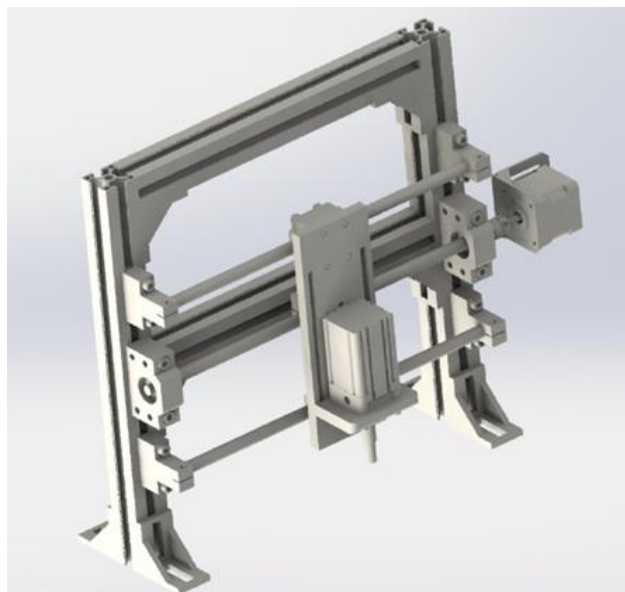
В процеса на проектиране при създаване на конструкцията на автоматизирания стенд, трябва да бъдат използвани колкото е възможно повече стандартизирани, типизирани и унифицирани детайли и възли. С цел намаляване на себестойността, улесняване на компоноването, както и улесняване на поддръжката и сервисните дейности. При конструирането на нестандартизираните детайли, трябва да бъде взета предвид тяхната технологичност, монтажнопригодност и структура, показатели влияещи пряко на точността и икономическия показатели [1].

Проектиран е автоматизиран стенд за отпечатване на Брайлово писмо върху тънки метални повърхности, движещ се по оси X и Y. Използват се две винто - гаечни предавки, разположени перпендикулярно една спрямо друга. Зададени са следните параметри:

- Маса на премествания обект (ос X) – 5 [kg].
- Маса на премествания обект (ос Y) – 10 [kg].
- Номинална линейна скорост по ос X - 0,8 [m/s].
- Номинална линейна скорост по ос Y - 0,8 [m/s].
- Дължина на ход по ос X – 330 [mm].
- Дължина на ход по ос Y – 550 [mm].
- Дълготрайност – 30 000 [h].
- Ускорение до номинална скорост – 0,2 [s].
- Точност на позициониране -  $\pm 0,1$  [mm].

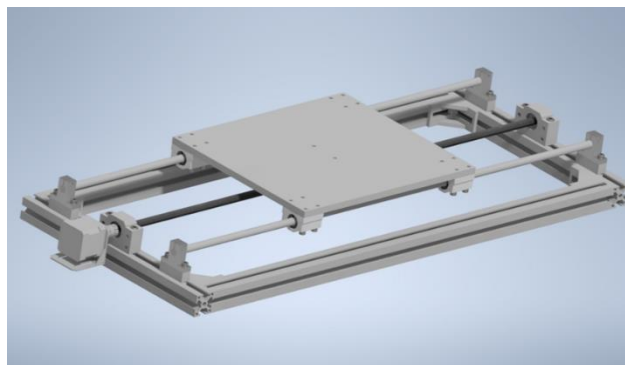
### II. ЕТАПИ НА ПРОЕКТИРАНЕ

#### A. Проектиране на вертикална част на задвижващия механизъм.



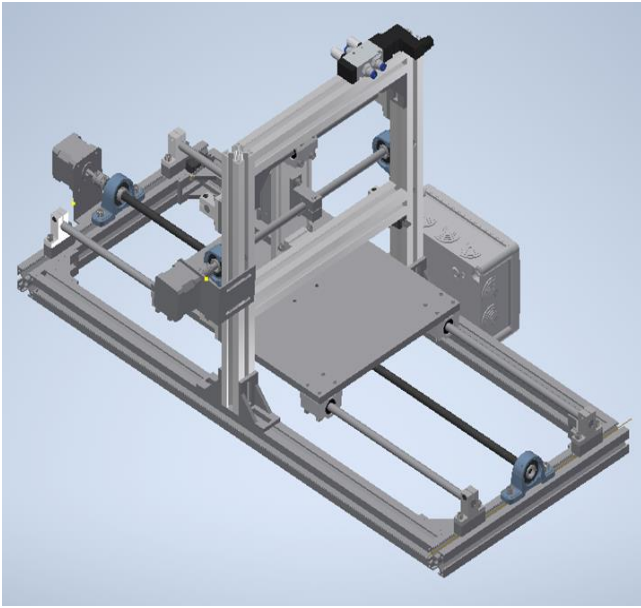
Фиг 1. 3D модел на вертикална част на задвижващ механизъм

#### B. Проектиране на хоризонтална част на задвижващия механизъм.

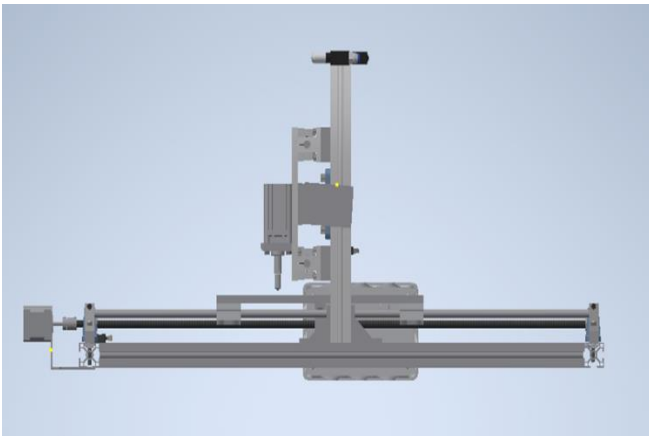


Фиг 2. 3D модел на хоризонтална част на задвижващ механизъм

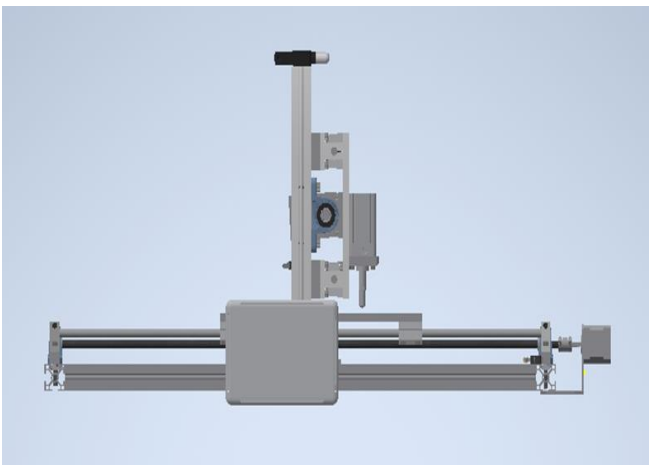
С. Комплектоване на вертикална и хоризонтална част на задвижващия механизъм.



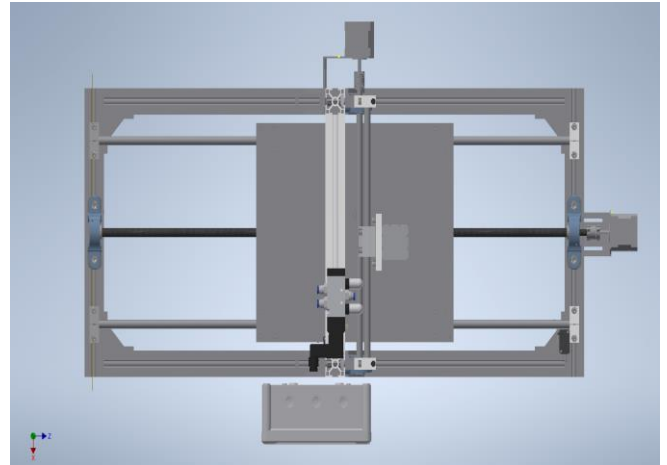
Фиг 3. 3D модел на вертикална и хоризонтална част на задвижващ механизъм



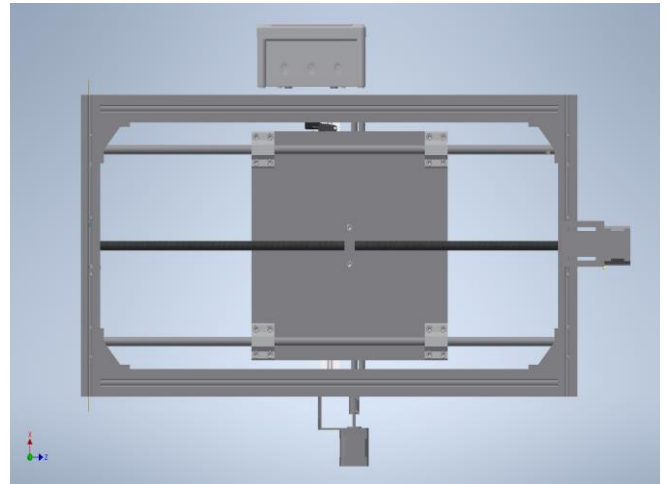
Фиг 4. 3D модел на вертикална и хоризонтална част на задвижващ механизъм – изглед отляво



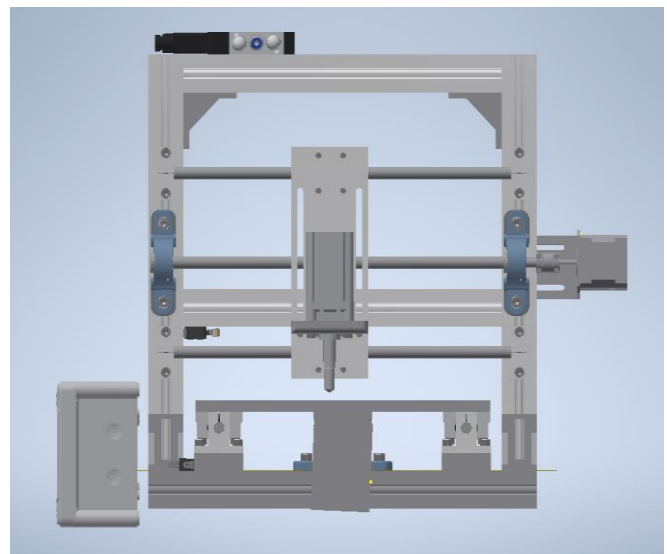
Фиг 5. 3D модел на вертикална и хоризонтална част на задвижващ механизъм – изглед отдясно



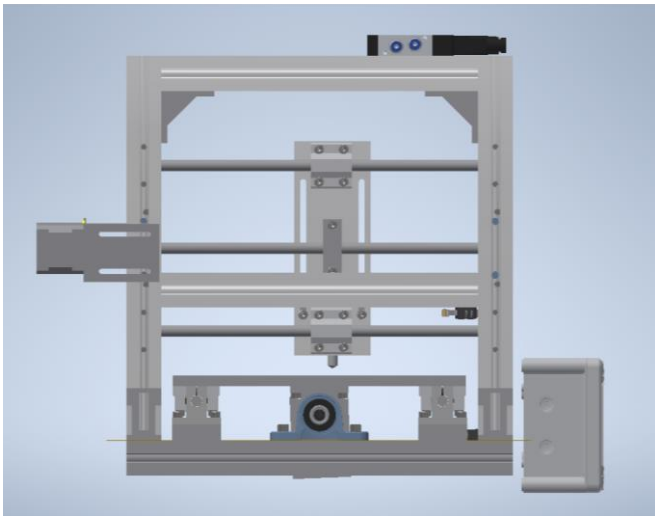
Фиг 6. 3D модел на вертикална и хоризонтална част на задвижващ механизъм – изглед отгоре



Фиг 7. 3D модел на вертикална и хоризонтална част на задвижващ механизъм – изглед отдолу



Фиг 8. 3D модел на вертикална и хоризонтална част на задвижващ механизъм – изглед отпред



Фиг 9. 3D модел на вертикална и хоризонтална част на задвижващ механизъм – изглед отзад

*D. Избор на подходящи материали и задаването им в 3D софтуера.*



Фиг 10. Избор на материали

### III. 3D МОДЕЛИ НА ХАРАКТЕРНИ ДЕТАЙЛИ

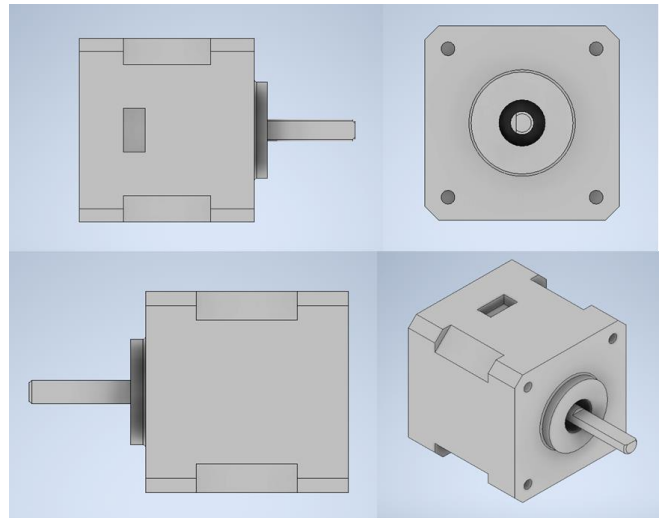
A. Стандартизирани детайли

1) Профил за конструкция



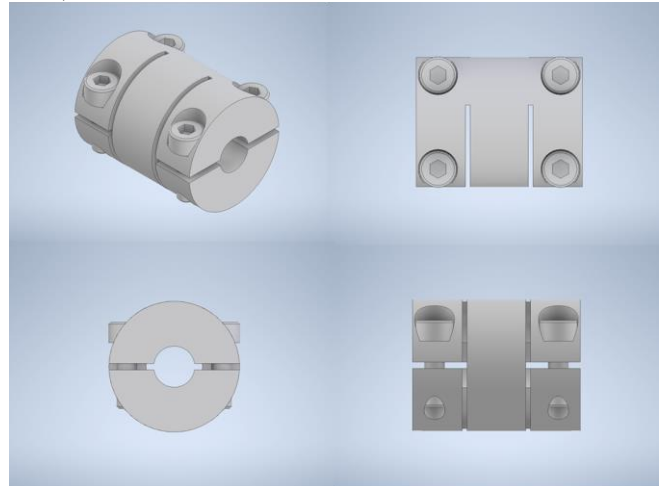
Фиг 11. 3D – модел на профил за конструкцията

2) Електродвигател



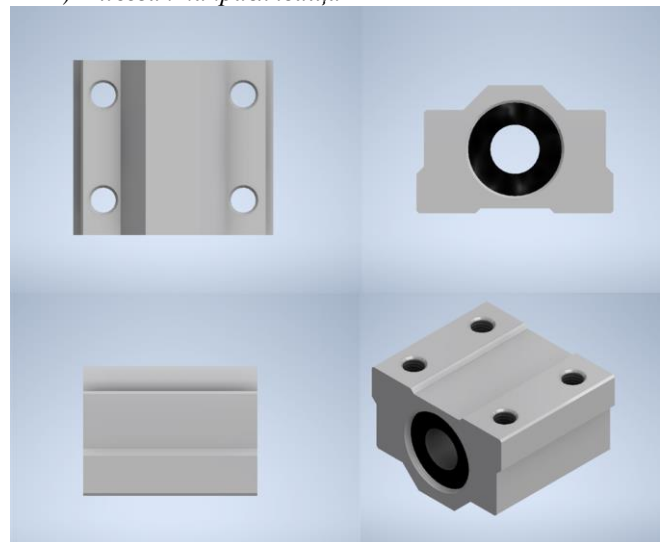
Фиг 12. 3D – модел на електродвигател NEMA17

3) Съединител



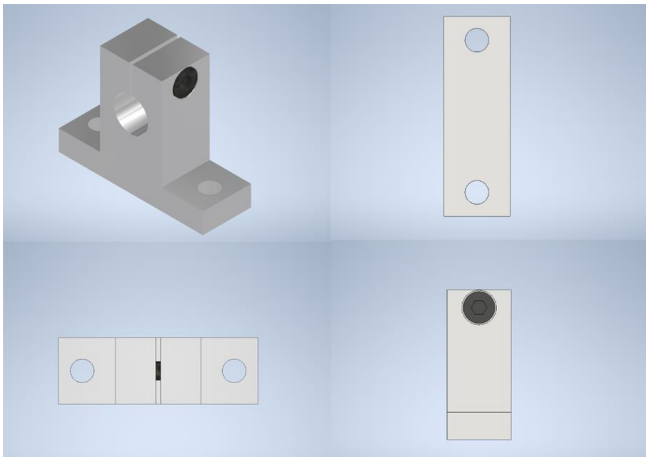
Фиг 13. 3D – модел на съединител

4) Плъзгач направляваща



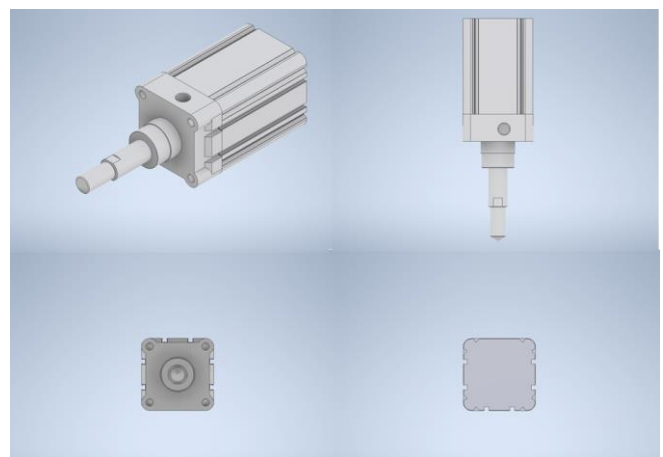
Фиг 14. 3D – модел на плъзгач направляваща

5) Държач на винт и направляваща



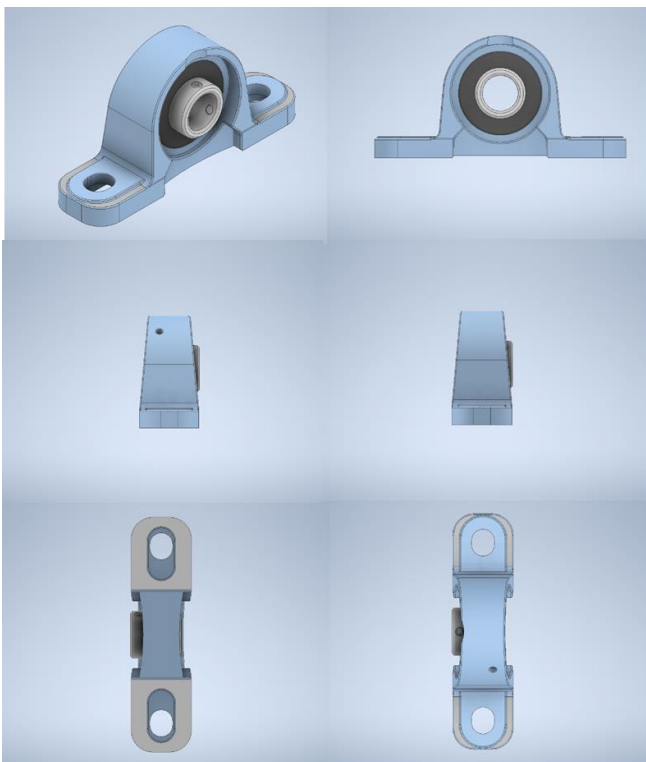
Фиг 15.3D – модел на държач на винт и направляваща

8) Пневматичен цилиндър



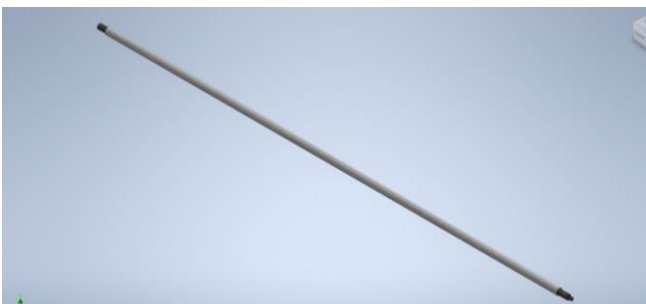
Фиг 18.3D – модел на пневматичен цилиндър

6) Лагерно тяло



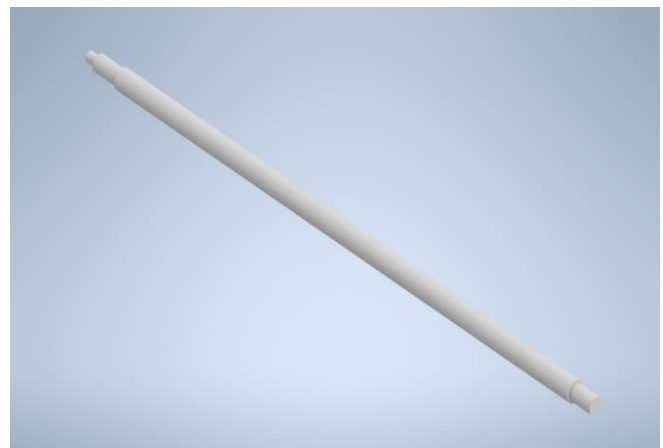
Фиг 16.3D – модел на лагерно тяло

7) Винт



Фиг 17.3D – модел на винт

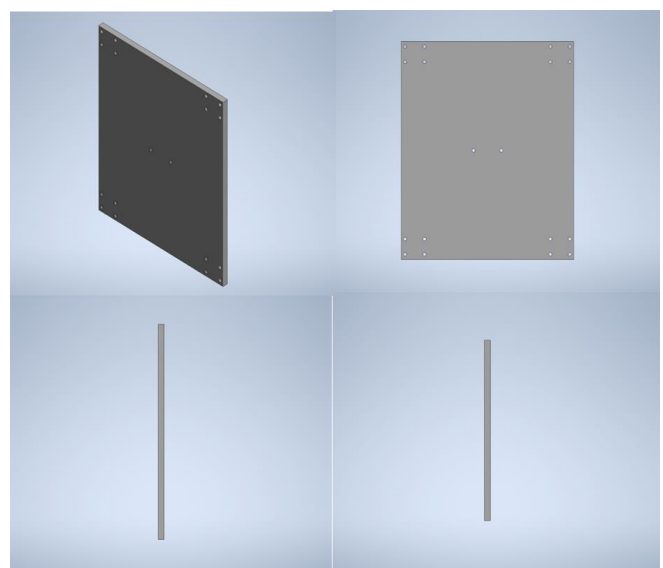
9) Направляваща



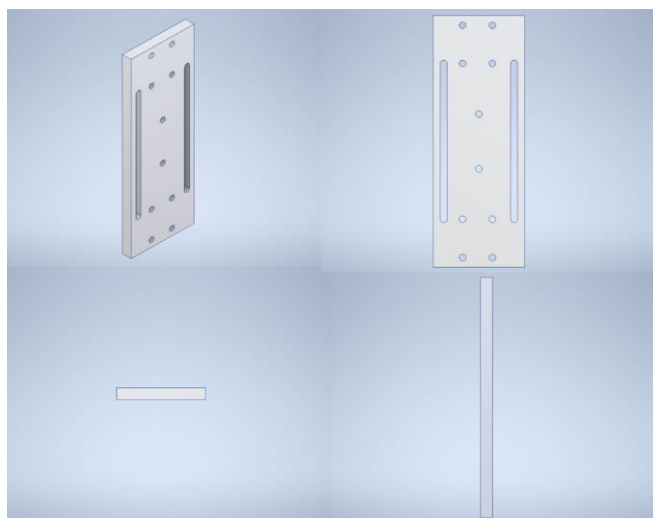
Фиг 19.3D модел на направляваща

В. Нестандартни детайли

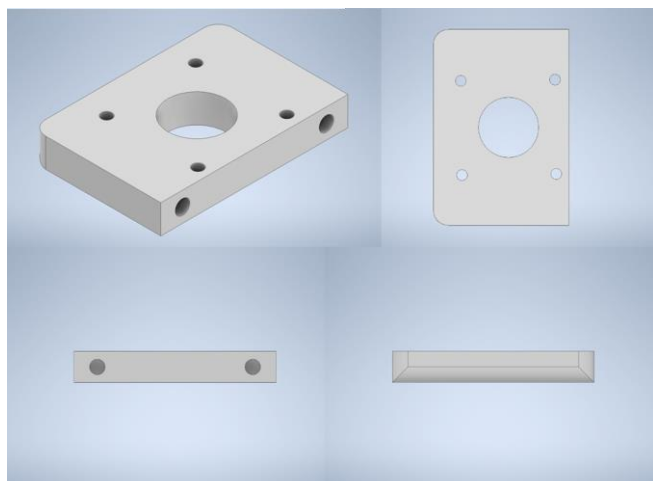
1) Хоризонтална маса



Фиг 20.3D – модел на хоризонтална маса

**2) Вертикална маса**


Фиг 21.3D – модел на вертикална маса

**3) Подложка за пневматичен цилиндър**


Фиг 22.3D – модел на подложка за пневматичен цилиндър

**БЛАГОДАРНОСТИ**

Резултатите в настоящото изследване са получени по проект № 211ПР0006-06/2022 г., финансиран от субсидията за научни изследвания в Технически университет – София.

**ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА**

- [1] С. Цолов, Р. Димитрова, Проектиране на паралелен DELTA робот, XXVIII МНТК „АДП – 2019“, Созопол, 29.06 – 02.07.2019 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство“, бр.1/юли 2019г., ISSN: 2682-9584, (92-98).
- [2] Р. Димитрова, 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, 2015 г., стр. (16-23).
- [3] R. Dimitrova, V. Zhmud, N. Petrov, T. Vakarelska, "Study accuracy of a transportation system positioning of a test rig for automated mounting of luster terminals", 9th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems (IRMES 2019) 5–7 September 2019, Kragujevac, Serbia, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, October 2019, Volume 659 (012031).
- [4] S. Dimitrov, L. Dimitrov, R. Dimitrova, S. Nikolov, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps, International Conference on Information Technologies ICIT-2019: Information and Communication Technologies for Industry and Research, 7-8.02.2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, ISBN 9783030120726 (online), 9783030120719 (print), pp. (502-514).
- [5] R. Dimitrova, M. Kambushev, S. Biliderov, METHOD FOR DESIGN OF SPECIAL MECHATRONIC DEVICES AND SYSTEMS, XXIX МНТК „АДП – 2020“, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство“, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [6] Nikolov S., R. Dimitrova, L. Dimitrov, MATHEMATICAL MODEL OF DISPLACEMENTS IN TOOLS USED IN BORING OPERATIONS ON MACHINING CENTERS, 25th IEEE International Conference on PROBLEMS OF AUTOMATED ELECTRIC DRIVE Theory and practice PAEP 2020, September 21-25, 2020, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, Scopus, (9240838).

## 3D MODELING OF AUTOMATED DEVICE FOR PRINTING BRAILLE LETTER

Slav Dimitrov  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Reneta Dimitrova  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Vasil Stoimenov  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: vasil.stoimenov4@gmail.com

**Abstract:** This article aims to develop a low-cost automated device for research on the processes of making elements of thin metal surfaces for the blind. To achieve this goal, it is necessary to model the main elements and components of the newly designed automated stand for printing Braille on thin metal surfaces in a digital environment.

## ИНЖЕНЕРЕН АНАЛИЗ НА АВТОМАТИЗИРАН СТЕНД ЗА ОТПЕЧАТВАНЕ НА БРАЙЛОВО ПИСМО

Слав Димитров  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Сисак Маркосян  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: sisak@abv.bg

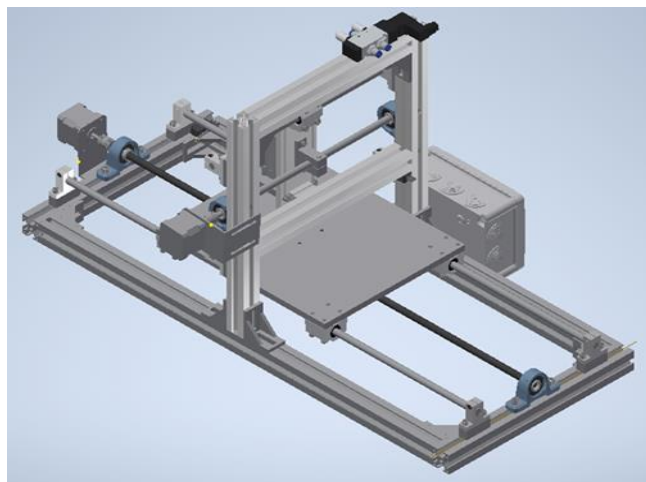
Христофор Рачев  
Технически университет - София  
София, България  
e-mail: hrachev@tu-sofia.bg

**Резюме:** С настоящата статия се цели извършване на инженерен анализ на проектиран автоматизиран стенд за отпечатване на Брайлово писмо върху елементи от тънки метални повърхности за незрящи. За изпълнение на поставената цел е необходимо да се направи статичен анализ на симулационен модел в дигитална среда при различни натоварвания.

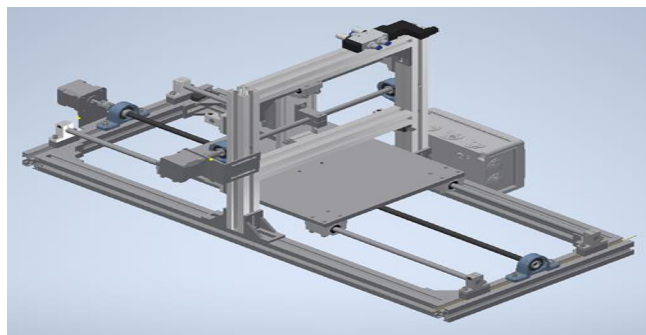
**Ключови думи:** 3D моделиране, автоматизация, Брайлово писмо, задвижване, винто-гачна предавка, метална повърхност.

### I. Увод

След етапа на проектиране е необходимо да се направи инженерен анализ, а именно линеен статичен анализ в CAD среда, с цел апробация якостта на конструкцията при различни напрегнати състояния, за доказване на нейната устойчивост при така проектираната структура и елементи.



Фиг. 1. 3D модел на вертикална част на задвижващ механизъм



Фиг. 2. 3D модел на вертикална част на задвижващ механизъм

Линейният статичен анализ позволява да се определят възникващите в изследвания обект под действие на приложеното натоварване премествания, деформации и напрежения. При него натоварването нараства равномерно до достигане на зададената стойност, след което остава постоянно. Деформацията представлява изменението на формата и размерите на твърдо тяло под действие на външни натоварвания. Тя е безразмерна величина, зависеща от преместването, предизвикано в изследвания обект при приложеното натоварване. Деформацията бива или пластична, или еластична.

В основата на линейния статичен анализ стои обобщеният закон на Хук, даващ връзка между  $\sigma$  – напреженията и  $\epsilon$  – деформациите, възникващи в областта на еластичност на материалите. За извършване на анализа е необходимо да са известни: модула на еластичност; коефициента на Поасон; модула на срязване и граница на провлачване за материалите на изследваното изделие.

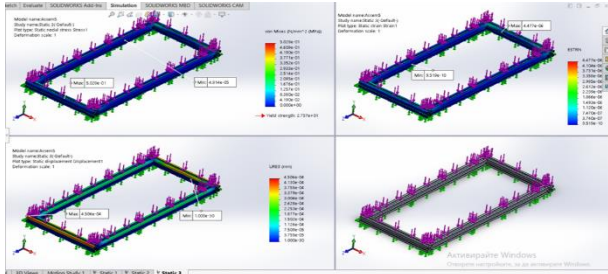
След приключване на анализа ще се получи информация за получените: премествания, деформации и напрежения в изследвания обект. Преместванията могат да бъдат направени в направление на координатните оси спрямо координатната система в която се извършва съответното изследване или еквивалентни премествания. Деформации отново могат да бъдат в направление на координатните оси  $x$ ,  $y$  и  $z$  или деформации в направление на главните оси, както и ъгловите деформации. Главните деформации се определят въз основа на формули, които са заложили в съответната CAD система като се отчита средната деформация и деформациите в направление на съответните оси.

Напреженията могат да бъдат отново напреженията в направление на различните оси, напрежения в главните оси, тангенциални напрежения и еквивалентни напрежения, като еквивалентните напрежения могат да бъдат получени по различни теории (теорията на Мор – Кулон и теоремата на фон Мизес). За по-аналитично представяне конструкцията е разделена на отделни модули и ще бъде направен анализ на всеки поотделно. Натоварванията и ограниченията ще бъдат идентични за всички модули със стъпка на вариране от 50 [N] до 250 [N]. На всеки модул ще бъдат изведени приложено четири снимки подредени по следния начин:

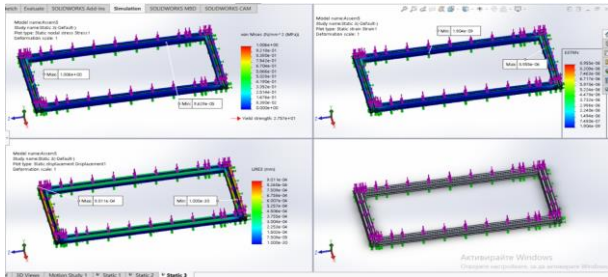
- Напрежения по фон Мизес (Stress 1).
- Деформации (Strain 1).
- Премествания (Displacements).

II. СТИМУЛАЦИОНЕН АНАЛИЗ

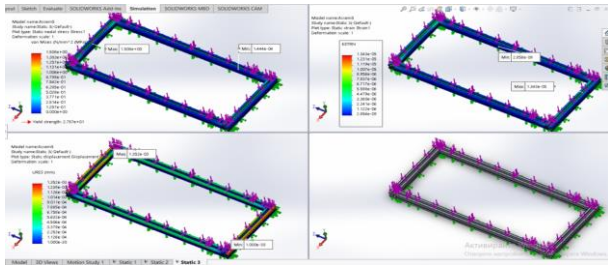
A. Хоризонтална основа.



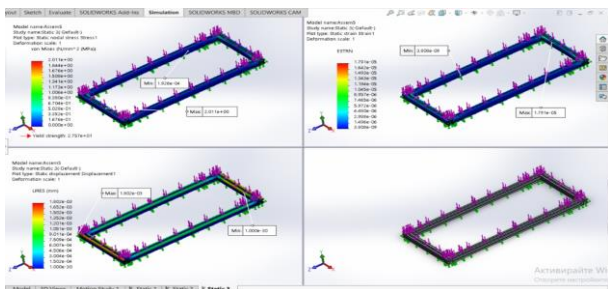
Фиг. 3. Натоварване 50 [N]



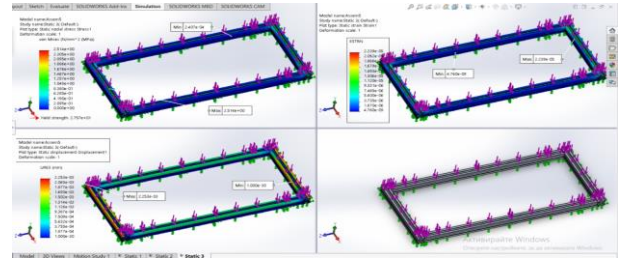
Фиг. 4. Натоварване 100 [N]



Фиг. 5. Натоварване 150 [N]



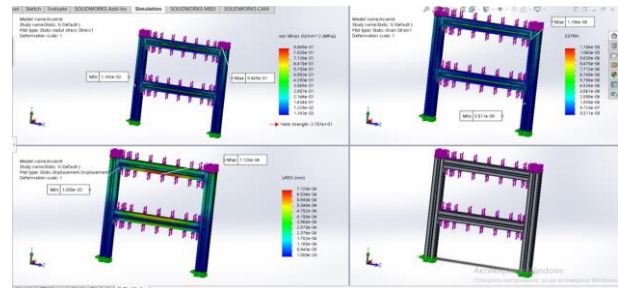
Фиг. 6. Натоварване 200 [N]



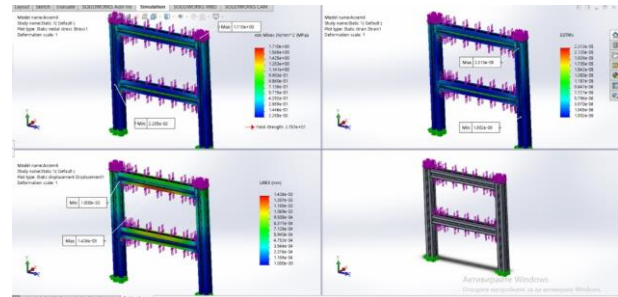
Фиг. 7. Натоварване 250 [N]

Хоризонталната основа и избраните елементи поемат натоварванията, не се наблюдават критични напрежения и деформации. Най-голямото преместване при натоварване от 250 [N] е  $2,253 \cdot 10^{-3}$ , което реално е 0,02253 [mm] и следователно може да се счита за незначително.

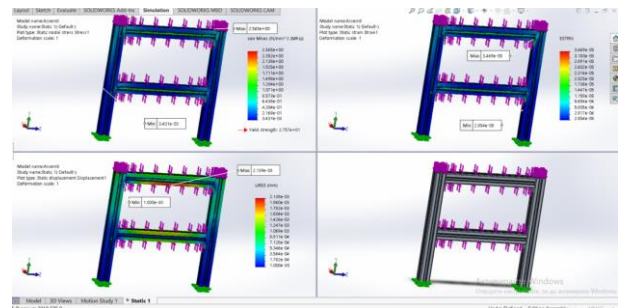
B. Вертикална основа.



Фиг. 8. Натоварване 50 [N]

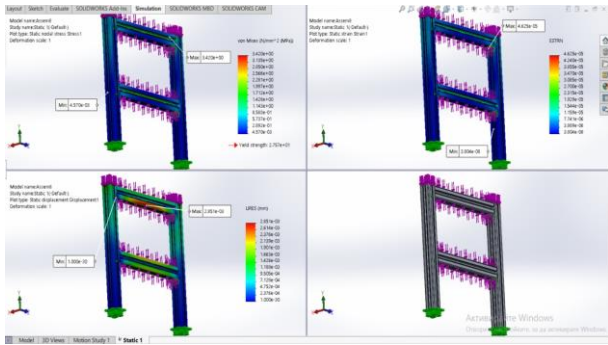


Фиг. 9. Натоварване 100 [N]

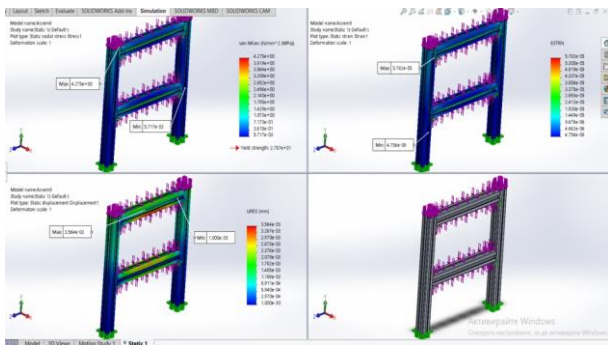


Фиг. 10. Натоварване 150 [N]





Фиг. 11. Натоварване 200 [N]



Фиг. 12. Натоварване 250 [N]

Стимулационният анализ на вертикалната основа е извършен с двупосочно – срещуположно насочени натоварвания – отгоре надолу и отдолу нагоре, с цел по-реално пресъздаване на отката, който би се получил в следствие от работата на изпълнителното звено (пневматичния цилиндър) при изпълнение на функционалното му предназначение.

Получените напрежения (Stress 1), деформации (Strain 1) и премествания (Displacement 1) при приложените натоварвания са незначителни и нищожни. При най-голямото натоварване от 250 [N] анализът показва, че зоната, която би претърпяла някаква деформация и преместване е долната страна на горната напречна греда, вероятно в следствие на отката. Преместване в рамките  $3,564 \cdot 10^{-3}$ , което реално е 0,03564 [mm], може отново да се счита за незначително и следователно да се пренебрегне. Това доказва, че избора на материали и сглобка на вертикалната основа на конструкцията е адекватен и отговаря на критериите за якост и надеждност.

*С. Симулационен анализ на работна маса.*

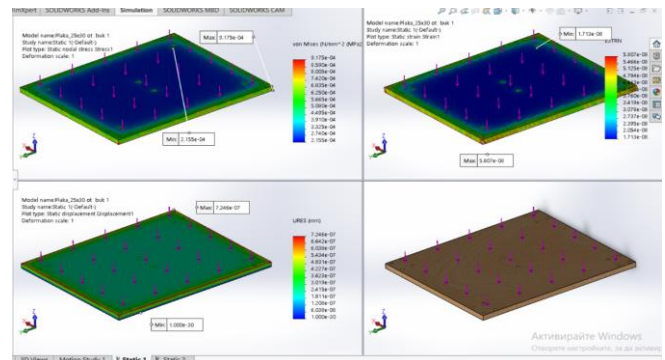
Направен е стимулационен анализ на хоризонталната работна маса като за изработването и е прието за материал да се използва дървесина. Избора е сведен между букова и дъбова дървесина, с оглед по-високите якостни и механични характеристики на двата вида. Решението работната маса да се реализира с дървесен материал е продиктувано от следните причини:

- За да изпълнява функционалното си предназначение, всъщност естеството на работа на

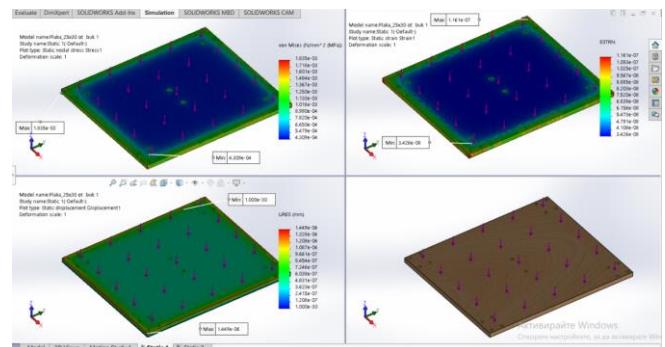
стенда се свежда до удар с найкрайник върху тънка метална пластина.

- За да се образува от другата страна изпъкналост (релеф) на пластината и така да се формират букви, символи и т.н. от Брайловата азбука.
- Материалът от който е направена хоризонталната маса, върху която се поставя пластината, следва да бъде от ковък и еластичен материал, за да може да се образува релеф.
- Следователно тази маса, след определен брой работни цикли ще се деформира, ще има нужда от подмяна и може да се счита за консуматив.
- От друга страна ще абсорбира и до някаква степен вибрациите, породени от пневматичния цилиндър по време на работа.

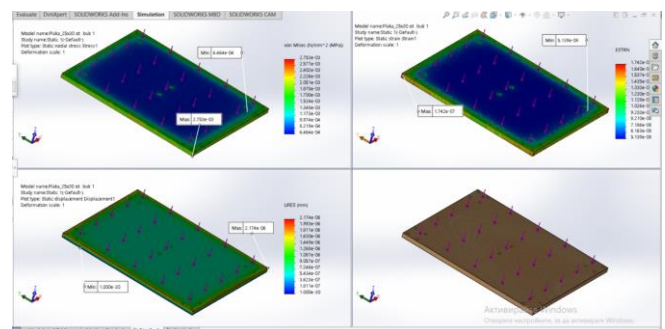
Дървесината е подходящ за тази цел материал, леснодостъпен, лесен за обработка и икономически изгоден.



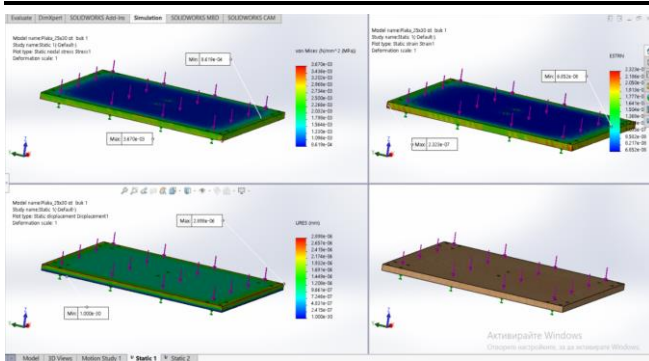
Фиг. 13. Натоварване 50 [N]



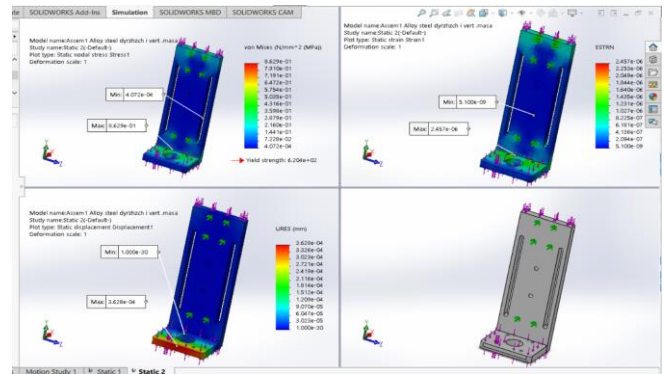
Фиг. 14. Натоварване 100 [N]



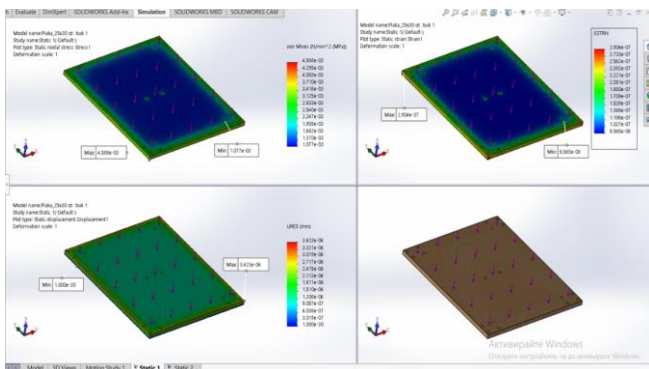
Фиг. 15. Натоварване 150 [N]



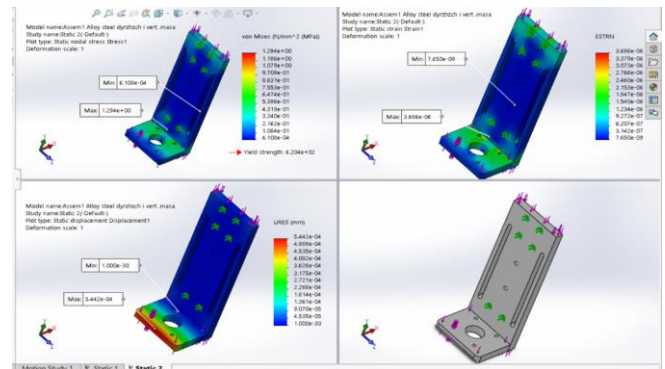
Фиг. 16. Натоварване 200 [N]



Фиг. 19. Натоварване 100 [N]



Фиг. 17. Натоварване 250 [N]

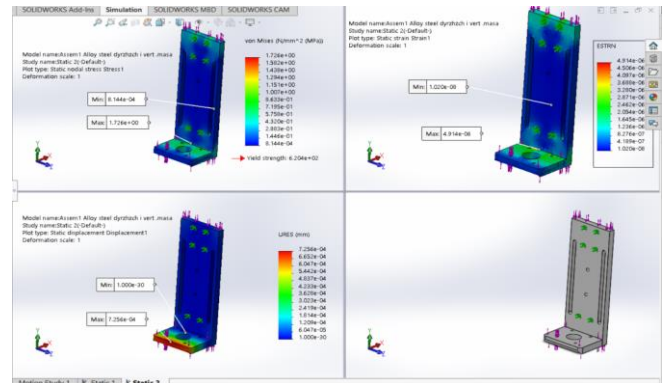


Фиг. 20. Натоварване 150 [N]

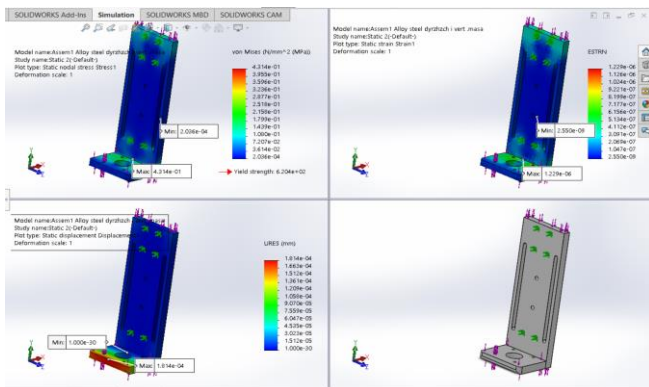
Не се наблюдават зони с критични напрежения, деформации и премествания дори и при най-голямото 250 [N] натоварване. Следва да се направи заключение, че избора на материал за хоризонталната работна маса е адекватен, отговаря на заложените изисквания и може да се приложи.

### D. Симуляционен анализ на вертикална планка.

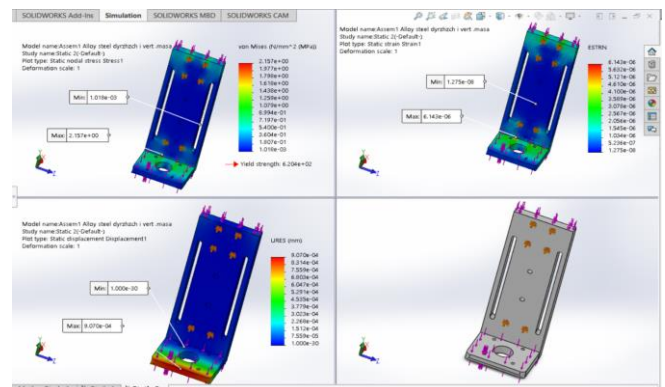
Вертикалната маса е основата за която се захваща крайното изпълнително звено – пневматичния цилиндър. Обективно тя е изложена на най-голямото натоварване от цялата конструкция и следва материала, от който е направена да е с по-високи якостни и механични характеристики. Избора е сведен до стоманена сплав с модул на еластичност  $2,1 \cdot 10^{11}$  [N/m<sup>2</sup>] и плътност 7700 [kg/m<sup>3</sup>].



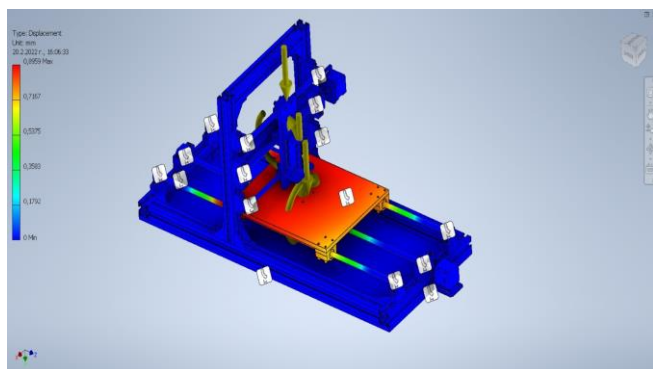
Фиг. 21. Натоварване 200 [N]



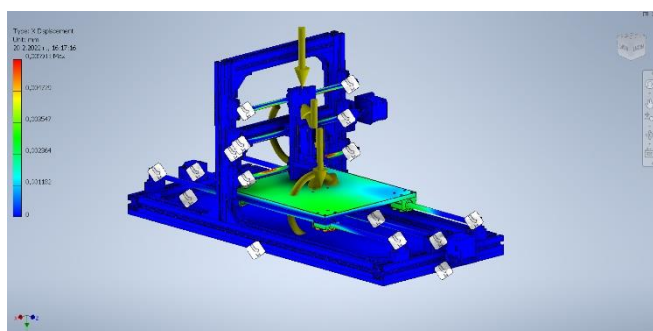
Фиг. 18. Натоварване 50 [N]



Фиг. 22. Натоварване 250 [N]



Фиг. 23. Цяла конструкция



Фиг. 24. Цяла конструкция

От направеният анализ може да се направи заключение, че избора на материал за вертикалната маса отговаря напълно на изискванията и ще издържи на натоварванията. При най-голямото натоварване от 250 [N], най-голямото пртеместване е в предната част на елемента и е в рамките на  $9,070 \cdot 10^{-4}$  [mm], което е пренебрежително малко и следва да бъде игнорирано като влияещ деструктивен фактор.

**БЛАГОДАРНОСТИ**

Резултатите в настоящото изследване са получени по проект № 211ПР0006-06/2022 г., финансиран от субсидията за научни изследвания в Технически университет – София.

**ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА**

- [1] С. Цолов, Р. Димитрова, Проектиране на паралелен DELTA робот, XXVIII МНТК „АДП – 2019”, Созопол, 29.06 – 02.07.2019 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.1/юли 2019г., ISSN: 2682-9584, (92-98).
- [2] Р. Димитрова, 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, 2015 г., стр. (16-23).
- [3] R. Dimitrova, V. Zhmud, N. Petrov, T. Vakarelska, "Study accuracy of a transportation system positioning of a test rig for automated mounting of luster terminals", 9th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems (IRMES 2019) 5–7 September 2019, Kragujevac, Serbia, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, October 2019, Volume 659 (012031).
- [4] S. Dimitrov, L. Dimitrov, R. Dimitrova, S. Nikolov, Examination of the process of automated closure of containers with screw caps, International Conference on Information Technologies ICIT-2019: Information and Communication Technologies for Industry and Research, 7-8.02.2019, Saratov, Russia, Springer International Publishing, DOI 10.1007/978-3-030-12072-6\_41, ISBN 9783030120726 (online), 9783030120719 (print), pp. (502-514).
- [5] R. Dimitrova, M. Kambushev, S. Biliderov, METHOD FOR DESIGN OF SPECIAL MECHATRONIC DEVICES AND SYSTEMS, XXIX МНТК „АДП – 2020”, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство”, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [6] Nikolov S., R. Dimitrova, L. Dimitrov, MATHEMATICAL MODEL OF DISPLACEMENTS IN TOOLS USED IN BORING OPERATIONS ON MACHINING CENTERS, 25th IEEE International Conference on PROBLEMS OF AUTOMATED ELECTRIC DRIVE Theory and practice PAEP 2020, September 21-25, 2020, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University, Ukraine, Scopus, (9240838).

## 3D MODELING OF AUTOMATED DEVICE FOR PRINTING BRAILLE LETTER

Slav Dimitrov  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Sisak Markosyan  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: sisak@abv.bg

Hristofor Rachev  
 Technical University of Sofia  
 Sofia, Bulgaria  
 e-mail: hrachev@tu-sofia.bg

**Abstract:** This article aims to develop a low-cost automated device for research on the processes of making elements of thin metal surfaces for the blind. To achieve this goal, it is necessary to model the main elements and components of the newly designed automated stand for printing Braille on thin metal surfaces in a digital environment.

# КОНЦЕПЦИЯ НА СИСТЕМА ЗА ИНФОРМАЦИОННО ОСИГУРЯВАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПРОЕКТИРАНЕ С ИЗИСКВАНИЯТА ЗА БЕЗОПАСНОСТ

Петър Горанов  
ТУ - София  
София, България  
e-mail: pvgor@tu-sofia.bg

Десислава Георгиева  
ТУ - София  
София, България  
e-mail: desy@tu-sofia.bg

Лука Банкелли  
ТУ – София,  
Студент МФ  
София, Българи

**Резюме:** За да подобрят и запазят позициите си на международните пазари, фирмите трябва да поддържат високо качество на своите продукти и да гарантират спазването на изискванията за безопасност. Това условие може да бъде постигнато, ако във всеки един етап на жизнения цикъл на изделията се спазват основните изисквания на Европейските директиви от „Нов подход“. В настоящата работа се разглежда нуждата от създаване и използване на системи за информационно осигуряване, които да осъществяват връзката между отделните етапи на конструиране на дадено изделие и нормативната база на която то трябва да отговаря.

**Ключови думи:** *информационно осигуряване, проектиране, безопасност, хармонизирани стандарти*

## I УВОД

За да има един продукт правото на свободно движение в ЕЕП (Единен Европейски Пазар) то той трябва да бъде безопасен по своето предназначение. Това става само когато е оценено и доказано неговото съответствие с изискванията на техническото законодателство (ЕТЗ). [1] Това съответствие трябва да бъде доказано и при четирите фази от жизнения цикъл на създаване и употреба на продуктите – Проектиране, Производство, Оценяване на съответствието, Употреба [1].

Въпреки, че стандартите са нормативни документи които са доброволни за прилагане и съдържат изисквания за безопасност, то прилагането им от производителите създава презумпция за съответствие на дадения продукт със съществените изисквания[4]. Прилагането на хармонизирани стандарти от производителите означава, че тяхната номенклатурна листа отговаря на директивите и не е нужно допълнително доказване на спазването на тези изисквания.

Поради значителния брой директиви и хармонизирани стандарти и множеството информация в тях, конструкторите срещат затруднения при отсяването на съществената информация нужна им при разработването на конкретно ново изделие или усъвършенстването на вече съществуващо.

Съществуват разнообразни информационни системи, предназначени за улеснение оценяването на съответствието на продукти. Основен недостатък на предложените решения е, че те са независими от основния инструмент на конструктора – CAD системата,

което трудно ги интегрира в цялостния процес на конструиране.

В настоящата работа се предлага нова концепция на информационна система за изискванията за безопасност, според която конструкторът трябва да получава филтрирана информация, свързана само с конкретната задача, която решава в момента. Формулират се основните проблеми, които трябва да се решат за практическата реализация на такава система.

## II НОРМАТИВНА БАЗА

Техническото законодателство на ЕС включва европейските директиви и регламенти – наречени технически нормативни актове. Те определят изискванията към характеристиките на продуктите. Стойностите на тези характеристики обикновено осигуряват безопасното им приложение от потребителите – когато продуктите се използват според тяхното предназначение [2].

### A. Видове директиви и стандарти

Директиви за хармонизация, които се отнасят за групи от продукти и определят техните съществени изисквания за безопасност без да навлизат в подробности. Под безопасност се разбира отсъствието на неприемлив риск от вреда [3]

Хармонизирани стандарти изработени от европейските организации по стандартизация, в които по-конкретно са описани съществените изисквания за група от продукти или конкретни продукти.

Според [3] стандарт – това е документ който е създаден чрез консенсус и е приет от признат орган. Определя за общо и повтарящо се прилагане на правила, указания или характеристики за дейности или техните резултати за постигане на оптимален ред в дадена съвкупност от обстоятелства.

Стандартите могат да бъдат: международни, регионални, национални, териториални и др. Освен това могат да бъдат отрасли, за изделия или за отделни компоненти.

В процеса на проектиране и конструиране на едно изделие трябва да се вземат в предвид и редица други документи като: техническа спецификация, правила за работа, нормативни актове и технически нормативни актове.

### В. Постигане на съответствие и неговото оценяване

Когато става въпрос за изделие което е съвкупност от множество градивни елементи, фактът, че всеки един от тях отговаря на изискванията за безопасност не е гаранция, че готовото изделие ще отговаря на изискванията за безопасност по своето предназначение.

Съгласно [4] постигането на съответствие може да се извърши по следните начини, подредени по предпочитание:

- безопасно конструиране
- защитни устройства
- ръководство за безопасна експлоатация

Оценяването на съответствието може да се извърши по два начина:

- самостоятелно от производителя;
- от специализирана трета страна, което е задължително при продукти с висок риск.

### III ЕТАПИ НА СЪЗДАВАНЕ НА ИЗДЕЛИЯТА И ВРЪЗКАТА ИМ С НОРМАТИВНАТА БАЗА

Изделията се създават в два основни етапа - проектиране и производство. Много често техническите специалисти припокриват понятията за проектиране и конструиране. Анализът на жизнения цикъл на изделията показва, че конструирането трябва да се разглежда като подетап на проектирането.

Процесът на конструиране обхваща тези дейности от проектирането, чрез които се създава моделът на конструкцията на изделието [2]. Този процес може да бъде разделен на няколко подетапа:

- Концептуално конструиране – в него се прави най – общо описание на изделието и изискванията на потребителите.
- Предварително конструиране – преминаване от концептуално описание на изделието чрез схеми към пространствено оформление с помощта на технически чертежи.
- Окончателно конструиране – при него се съставя пълна конструкторска документация, съдържаща всички данни необходими за производството.

Във всеки един етап на конструирането на ново изделие или усъвършенстването на вече създадено, конструкторът, а при по-мощни проекти и конструкторския екип, трябва да се съобразява с изискванията на множество нормативни документи. За да може да се осъществи нормативното осигуряване на проекта, конструкторът трябва да определи характеристиките на продукта които го правят опасен при употреба [1].

За да може изделието да придобие правото на свободно движение в ЕЕП то трябва да бъде безопасно при употреба по своето предназначение. При положение, че са спазени изискванията и предписанията към характеристиките, определени с нормативни документи

на продукта може да бъде поставена Европейска маркировка за съответствие (CE) [1]

### IV ПРОБЛЕМИ, СВЪРЗАНИ С ИНФОРМАЦИОННОТО ОСИГУРЯВАНЕ В ПРОЦЕСА НА КОНСТРУИРАНЕ

Съществен проблем в процеса на проектиране е, че изискванията към дадения продукт или отделни негови компоненти са разпръснати измежду множество директиви и хармонизирани стандарти. Конструкторът трябва да прави справки с приложимите документи и да определя кои от тези изисквания са свързани с конкретния продукт. Поради голямото количество и разнообразие на задачи е възможно да бъдат допуснати грешки в процеса на проектиране, които да доведат до лоша функционалност на изделието или несъответствие със задължителните изисквания.

От казаното до тук може да се направи изводът, че за решаване на посочените проблеми е необходимо да се създаде подходяща информационна система за изискванията на нормативните документи.

### V КОНЦЕПЦИЯ НА СИСТЕМА ЗА ИНФОРМАЦИОННО ОСИГУРЯВАНЕ

#### A. Съществуващи решения

Съответствието с приложимите директиви и хармонизирани стандарти е от особена важност както за пускането на продукта на пазара, така и за отговорностите, които носи производителят. Високият интерес към оценяване на съответствието е причина за наличието на редица решения като онлайн инструменти за автоматизация на процеса за издаване на CE маркировка [6], цялостно управление на съответствието [7] или локално инсталируем софтуер като [8], предназначен за оценка на риска и CE документиране в съответствие с Машинната и Нисковолтова директива.

#### B. Нов подход за информационно осигуряване

Основен проблем при прилагане на съществуващите решения е обстоятелството, че те представляват отделни системи, които не са свързани с конкретните задачи, които конструкторът решава. Това допълнително затруднява конструктора, понеже той трябва да работи едновременно с различни системи, и създава потенциална възможност за грешки и пропуски.

Тук се предлага нов подход за информационно осигуряване, при който справочното информация за съществените изисквания става неразделна част от електронната документация на продукта на всички етапи от неговото развитие.

Въз основа на казаното по-горе може да се формулират следните изисквания към система за информационно осигуряване с изисквания за безопасност:

- получаваната справочна информация да зависи от текущата задача, която се изпълнява от конструктора;
- конструкторът удовлетворява изискванията на стандарта посредством ново конструиране или използва препоръка, ако такава е налична;

- записване/използване на натрупания опит по отношение безопасността на продуктите.

Филтрирането на съществените изисквания, които не са свързани с конкретния задача, повишава ефективността на конструкторската дейност и намалява вероятността от грешки поради пропускане на някои изискване.

Третото изискване създава предпоставки за известна автоматизация на процеса на търсене на конструкторско решение – системата може да предложи вариант, който вече успешно е намерил приложение при предишни конструкции.

### С. Филтриране на съществените изисквания

Основният проблем при създаване на система за информационно осигуряване е формулиране на еднозначно съответствие между CAD модела, представляващ материализация на намеренията на конструктора, и съществените изисквания, записани в хармонизираните стандарти.

Анализът на хармонизираните стандарти показва, че значителен брой от съществените изисквания не са свързани с конкретен компонент, а са формулирани в по-абстрактна форма като напр. „проводниците не трябва да влизат в контакт с въртящи се части“. В този случай не е възможно да се направи формална връзка между компонентите и изискванията на стандарта.

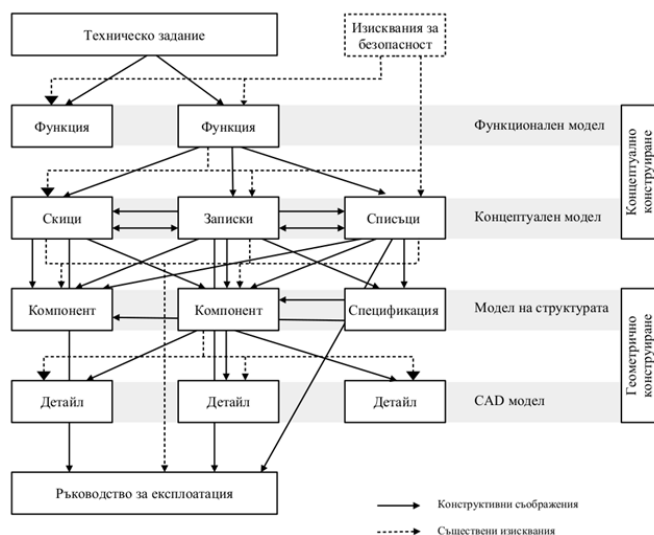
Тук се предлага разпределянето на съществените изисквания по конструкторски задачи да се извършва постепенно на различните етапи от процеса на конструиране:

#### 1. Определяне на приложимия продуктов стандарт

След като се вземе решение за проектиране на конкретно решение се определя продуктовия стандарт, който определя съществените изисквания за това изделие.

#### 2. Концептуално конструиране

Етапът на концептуално конструиране трябва да постигне заложената функционалност на изделието. Резултат от този етап обикновено е структурната схема на изделието и концептуални скици.



Фиг. 1. Йерархична схема на процеса на конструиране и движение на информацията за съществените изисквания

Концептуалното конструиране трябва да се осигури и изпълнението на съществените изисквания на стандартите. Поради това трябва да се обсъдят всички групи изисквания и да се опрели по какъв начин те ще бъдат изпълнени. Наличието на структурна схема позволява всяко съществено изисквания или група съществени изисквания да се свържат с един или няколко компонента.

### 3. Геометрично оформяне

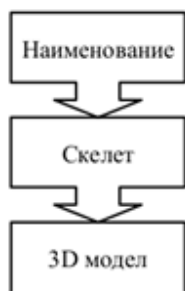
На етапа на геометрично конструиране конструкторът, с помощта на CAD система, създава окончателното геометрично описание на изделието. На този етап конструкторската цел е постигане на необходимата функционалност. За да не се отклонява вниманието на конструктора от непосредствените задачи е важно да бъдат филтрирани съществените изисквания, които не са свързани с конкретната инженерна задача. Това може да се осъществи, като информацията, свързана с изискванията на приложимите стандарти, на етап концептуално конструиране да се пренесе в CAD системата.

### D. Интегриране на съществените изисквания в процеса на конструиране

На фиг.1 е илюстрирана предложената концепция за интегриране на съществените изисквания с електронната документация на процеса на конструиране. Основната идея е всички задачи, свързани с безопасността на продукта да се решат на етап концептуално конструиране и след това приетите решения да се разпространят на етапа на геометрично оформяне.

В защита на изказаното по-горе твърдение може да се посочи, че етапът на концептуално конструиране е най-важният етап от процеса на конструиране, който в значителна степен определя крайният успех на продукта. Това до голяма степен се отнася също и за изискванията за безопасност, които съгласно техническото законодателство са задължителни условия, за

изпълнението на които носи отговорност производителят. Всички грешки или пропуски трудно може да се отстранят на следващите етапи и тяхното преодоляване обикновено е свързано с влошаване на функционалните или икономическите характеристики на крайното изделие. Промяната на концепцията налага, ако не пълно, то поне частично реструктуриране, което увеличава разходите за проектиране и увеличава срокът за разработване на изделието.



Фиг. 2. Нива на абстракция при представяне на геометрията в CAD модел

Според фиг.1 концептуалното конструиране се състои от два етапа:

- разработване на функционалния модел;
- разработване на концептуалния модел.

Функционалният модел представлява декомпозиция на основната функция на изделието. От гледна точка на съществените изисквания моделът включва функции, с които се постига безопасността на изделието, или ако те се изискват от нормативните документи.

Концептуалният модел се разглежда като преход от абстрактното функционално описание към възможностите за практическата му реализация. Той включва три компонента, които от гледна точка на съществените изискванията изясняват следните въпроси:

- скици – частични конструктивни решения за осигуряване на безопасността на изделието;
- записки – формулиране на изисквания, които трябва да се удовлетворят на следващите етапи от процеса на конструиране; условия на експлоатация и предпазни мерки, които трябва да се включат в документацията, предназначена за потребителя;
- списък на критични за безопасността компоненти, за които трябва да има налични декларации за съответствие.

Тук се защитава мнението, че всички въпроси, свързани с удовлетворяването на съществените изисквания трябва да са коментирани на етапа на концептуално конструиране. Документацията на този етап трябва да съдържа конкретни препратки с указания към етапа на геометрично оформяне, на който се осъществява тяхната реализация.

Геометричното конструиране на фиг.1 е разделено на два етапа:

- разработване на структурата на изделието;
- окончателно геометрично оформяне на оригиналните детайли.

Освен пълен списък на компонентите, моделът на структурата трябва да включва и връзките между тях. За да стане компонентите на структурата трябва да имат известно абстрактно представяне. Това представяне трябва да позволява освен дефинирането на геометричните връзки, необходими за функционирането на изделието, но и да позволяват да се налагат ограниченията, които удовлетворяват съществените изисквания.

Последният етап от процеса на конструиране е разработване на ръководството за експлоатация. То трябва да включва всички аспекти на безопасната експлоатация, които касаят потребителя.

*Е. CAD модел, съдържащ информация за съществените изисквания*

Свързването на информацията за съществените изисквания с CAD модела формулира два проблема:

1. Съхраняване на информацията за съществените изисквания в CAD модела;
2. Пренасяне информацията за съществените изисквания от концептуалния модел на изделието.

Нивата на абстракция на геометричното представяне на компонент – детайл или сглобена единица от по-нисък ред, са илюстрирани на фиг.2. Наименованието е най-високата степен на абстракция, но дава възможност за позоваване на документа в текстови документи. Директивите от Новия подход и хармонизираните стандарти са текстови документи и наименованието може да се използва като директна връзка към съществените изисквания, при условие че проблемната област е една и съща.

Списъкът с наименованията на компонентите (спецификацията) може да се разглежда едновременно като краен резултат от концентрираното конструиране и начало на геометричното конструиране. Съществените изисквания, обсъждани на концептуално ниво, може да се конкретизират към частичните конструкторски задачи и да се пренесат на геометрично ниво.

На геометрично ниво се извършва физическото удовлетворяване на съществените изисквания. Съгласно фиг.2, освен наименованието на компонента, нивата на абстракция включват скелета на компонента и 3D модела като завършено геометрично описание.

Скелетът на компонент включва представяне на негови основни функционални елементи посредством справочна геометрия. Към него може да се добави и съвкупността от функционални повърхнини. Изброените елементи служат като инструмент за постигане на заложената функционалност на изделието и опростяват пълното геометрично оформяне. Те може да служат също така и за удовлетворяване на съществени изисквания, свързани с пространствени ограничения или специални условия към определени повърхнини.

За практическо осъществяване на интегрирането на съществените изисквания в геометричния модел, може да се използва следната функционалност, която обикновено се предлага от CAD системите:

- връзка на компонент (в редица случаи и на отделен елемент) с външна система;
- добавяне на справочна информация към компонент или негов елемент.

От гледна точка на конструктора няма съществено значение начинът на реализация, понеже и в двата случая той използва информационната система в CAD средата. Тук трябва да се посочи, че CAD системите работят основно с геометрична информация. Това означава, че концептуалното конструиране трябва да се извърши с помощта на други средства и резултатите да се пренесат в CAD системата в последствие.

Използването на външна система като напр. PDM/PLM, която съхранява и управлява данните за продукта на всички етапи от негово развитие, би позволило по-лесно интегриране за съществените изисквания в целия жизнен цикъл. Също така по-лесно ще се поддържа състоятелността на информацията за безопасността на изделието ако се налага да се извършват промени на етапа на геометрично конструиране или при модификации на готовото изделие.

#### VI Изводи и заключение

Удовлетворяването на изискванията за безопасност е важен аспект от процеса на конструиране. Съответствието със съществените изисквания позволява продуктът да се пусне на пазара и намалява рискът на производителя.

В настоящата работа се обсъждат въпроси, свързани с разработване на информационна система за изискванията за безопасност, предназначена за целите на процеса на конструиране. Направени се следните основни заключения:

- всички въпроси, свързани с осигуряване на безопасността на продукта, трябва да са обсъдени на етапа на концептуално конструиране;
- информацията за съществените изисквания трябва да е интегрирана в компютърния модел на изделието, което позволява тази информация да се разпространява на всички етапи от процеса на конструиране;
- информационната система трябва да осигурява филтрирана информация и конструкторът да получава само изискванията, които са свързани с частичната задача, която решава в момента.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от вътрешния конкурс на ТУ-София-2022/№ 221ПР0009-06.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сандалски Бр., Сандалски М. Свободно движение и конкурентноспособност на продуктите в европейския съюз. София, Софтрейд, 2009.
- [2] Сандалски Бр., Горанов П., Динев Г., Николива И. Основи на конструирането и CAD, София, Софтрейд, 2007
- [3] БДС EN 45020:2007
- [4] The 'Blue Guide' on the implementation of EU products rules 2016, Official Journal of the European Union, C 272, Volume 59, 26 July 2016
- [5] SO/IEC Guide 51:2014 - Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards, Third edition 2014-04-01
- [6] <https://ce-tool.com>, CE Marking Online
- [7] <https://clevercompliance.io>, Compliance Management Software Solutions
- [8] <https://www.ibf-solutions.com>, IBF - Your partner for CE marking and Machinery Directive

## CONCEPT OF INFORMATION PROVISION SYSTEM FOR THE DESIGN PROCESS WITH SAFETY REQUIREMENTS

Petar Goranov  
TU-Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: pvgor@tu-sofia.bg

Desislava Georgieva  
TU-Sofia  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: desy@tu-sofia.bg

Luca Banchelli  
TU-Sofia  
Student  
Sofia, Bulgaria

**Abstract:** In order to improve and maintain their position in international markets, companies must maintain the high quality of their products and ensure compliance with safety requirements. This condition can be achieved if the basic requirements of the European New Approach directives are met at each stage of the product life cycle. The present paper considers the need to create and use information security systems that make the connection between the various stages of construction of a product and the regulatory framework to which it must comply.



## МОДЕЛИРАНЕ И ЕКСТРУДИРАНЕ НА СФЕРА ЧРЕЗ 3Д АДИТИВНА ТЕХНОЛОГИЯ

Миглена Панева

Институт по информационни и комуникационни технологии,  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: m.paneva7@gmail.com

Петър Панев

Институт по информационни и комуникационни технологии,  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: panevv@gmail.com

Габриела Коцева

Институт по информационни и комуникационни технологии,  
Българска академия на науките  
София, България  
e-mail: gabriela.kotseva@iict.bas.bg

**Резюме:** Направено е изследване с технология на печат Fused Deposition Modeling (FDM). Чрез два вида 3Д принтери е анализирано експериментално най-добрият начин за екструдиране на сфера. Представени са моделите за принтиране с различни видове подложки и поддържащ материал и получените резултати. Избран е видът, при който формата и външният вид са с най-добро качество и е реализирано изработването на по-голям брой сфери едновременно.

**Ключови думи:** 3Д принтери, екструдиране, сфера

### I. ВЪВЕДЕНИЕ

Аддитивното производство или 3Д печатането е популярен метод за създаване на прототипи от 80-те години на миналия век и бързо се превръща в най-бързия и най-достъпен начин за създаване на потребителски стоки. Най-широко използваният е процесът, известен като моделиране на степенно отлагане (FDM). FDM принтерите използват термопластична нишка, която се нагрява до точката на топене и след това се екструдира, слой по слой, за да се създаде триизмерен обект [1].

FDM се използва в процеса на разработване на продукти, прототипи и производствени процеси.

Целта на настоящата работа е да се принтират сфери чрез 3Д адитивна технология с различни материали.

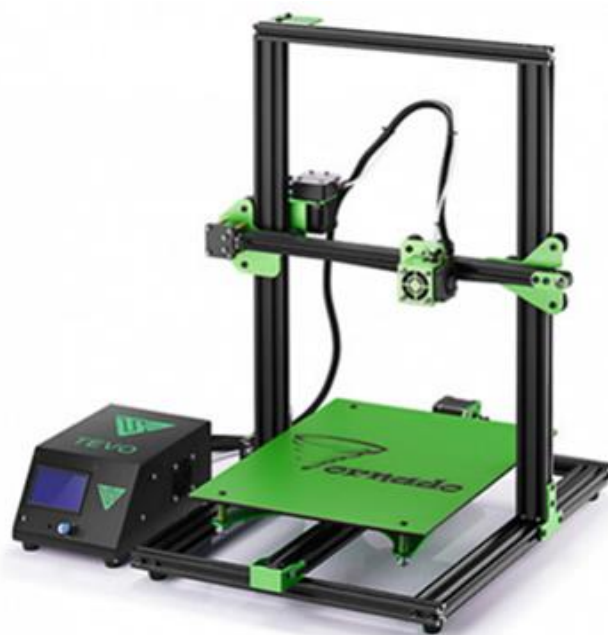
### II. ИЗПОЛЗВАНА АПАРАТУРА

#### A. 3Д принтер Tevo Tornado (Фиг. 1)

Максималният размер на формование на продукт е 300x300x400 mm с голяма подгряваща плоча до 100°C [2].

Титан екструдерът е в стил Боудън с подобрен дизайн на отопление с висока скорост на движение и максимална скорост на печат от  $60 \pm 150$  mm/s. Диаметъра на дюзата е 0,4 mm с максимална температура на принтиране 260°C. Качеството на печат е с висока точност 50 микрона. Задаването на модела за принтиране става офлайн чрез SD карта с памет към компактна хранваща кутия с LCD контролен панел. Формата на файловете е с G-код или STL.

Използваните материали са ABS, въглеродни влакна, гъвкави нишки, PETG, PLA, PVA, дърво с диаметър на материала 1,75 mm.



Фиг. 1. Tevo Tornado [3]

#### B. 3Д принтер Ultimaker S5 (Фиг.2)

Максималният обем на формование на продукт е 330x240x300 mm с подгряваща стъклена плоча от 20 до 140 °C. Печатаща глава е с двойно екструдиране с уникална система за автоматично повдигане на дюзи и сменяеми печатащи ядра и максимална скорост на печат <math>< 24 \text{ mm}^3/\text{s}</math>. Диаметъра на дюзите е 0,4 mm. Резолюцията на слоя е с точност  $200 \pm 20$  микрона. Задаването на модела за принтиране се осъществява лесно чрез Wi-Fi, LAN, cloud или USB памет, с NFC разпознаване на материали и наблюдение с вътрешна камера. Формата на файловете е с G-код или STL.

Голям избор от материали: Приложими са почти всички видове материали, включително композити (изисква се печат ядро CC): лесни за принтиране (PLA, Tough PLA, PETG), механично здрави (ABS, PC, CPE), износоустойчиви (Nylon, PP, PF), топлоустойчиви (CPE+, HT), гъвкави (TPU 95A, DuPont™ Hytrel® 3D4100FL), подсилени композити и спорт материали с диаметър на филамента 2,85 mm.



Фиг. 2. Ultimaker S5 [4]

### III. ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА 3D ПРИНТЕРИТЕ

Обектите, създадени с FDM принтер, започват като файлове за компютърно проектиране (CAD). Преди даден обект да бъде отпечатан, неговият CAD файл трябва да бъде преобразуван във формат, който 3D принтерът може да разбере – обикновено STL формат [5, 6, 7].

Изследванията се осъществяват при различни материали PLA, SteelFeel (полимер, с наличие на метални частици с повишени характеристики), CarbonFill (полимерен материал с наличие на въглеродни частици с повишени характеристики на твърдост).

По време на печата тези материали приемат формата на пластмасови нишки или нишки, които се развиват от намотка и се подават през екструзионна дюза. Дюзата разтапя нишките и ги екструдира върху основа, понякога наричана платформа за изграждане или маса. И дюзата, и основата се управляват от компютър, който превежда размерите на обект в координати X, Y и Z, за да следват дюзата и основата по време на печат.

Времето за печат зависи от размера на обекта, който се произвежда. Малките обекти — само няколко кубични инча — и високите, тънки обекти се отпечатват бързо, докато по-големите, по-сложни геометрични обекти отнемат повече време за отпечатване [8-10].

След като даден обект се свали от FDM принтера, неговите поддържащи материали се отстраняват чрез счупване на поддържащия материал на ръка. Обектите могат също да бъдат шлайфани, фрезовани, боядисани или покрити, за да подобрят тяхната функция и външен вид.

### IV. ПРИНЦИП НА РАБОТА

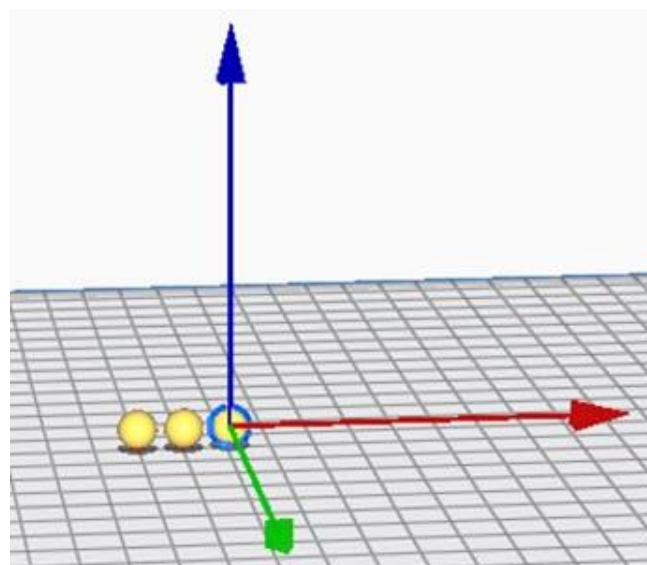
След подготовката на CAD модела на сферата, с размер 9 mm се записва в STL формат и се обработват настройките на програмата Ultimaker Cura за 3D принтиране. В нея се задават параметри на температурата на дюзата, температурата на масата, които са специфични за различните видове филаменти, процента на запълване на детайла, скоростта на принтиране, вида на „подложка“ за адхезия и броя на детайлите.

Осъществени са различни опити с „подложки“ при печат на сфери при различни температури при пълно запълване на детайла. За да се определи най-добрата технология за принтиране на сфери са направени експерименти с 3 броя, за да не се губи време и материал. Изразходваното количество материал за 3-те броя сфери и времето за екструдирание варира в зависимост от вида използвана „подложка“ и използваният принтер. В Таблица 1 са представени отчетените данни от компютърната програма.

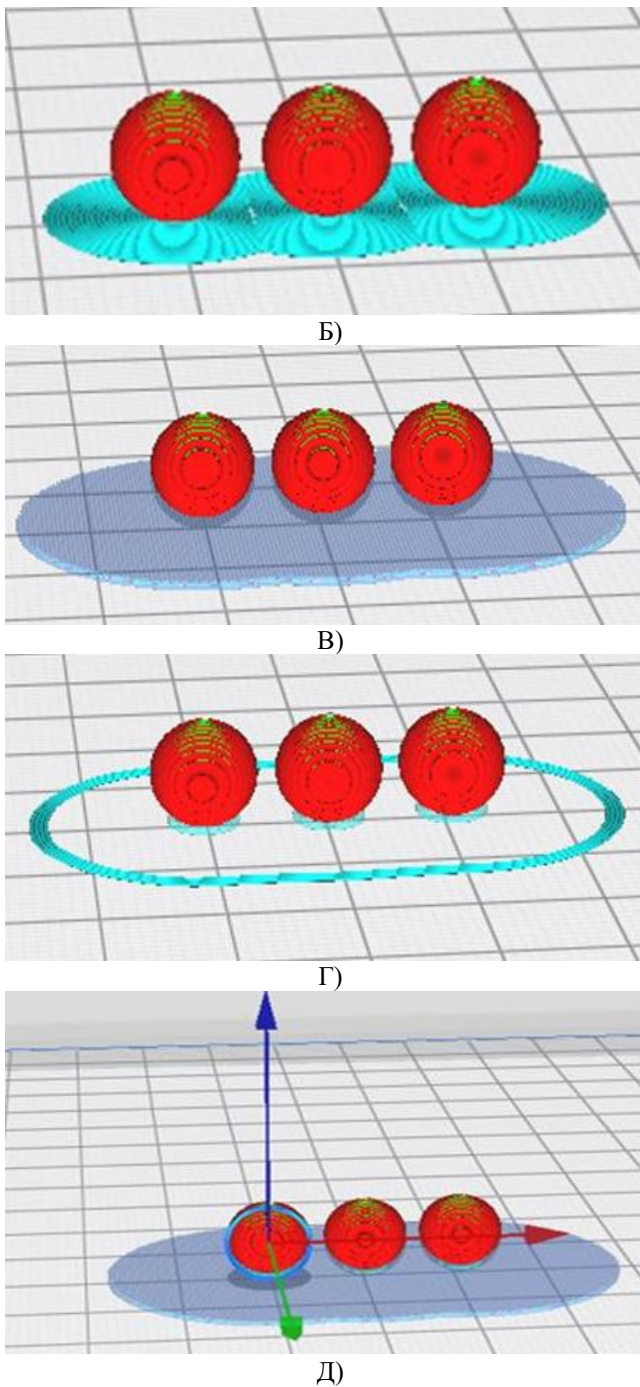
ТАБЛИЦА 1. КОЛИЧЕСТВО ИЗПОЛЗВАН МАТЕРИАЛ И ВРЕМЕ ЗА ПРИНТИРАНЕ

Тип „подложка“	Tevo Tornado		Ultimaker S5	
	Време, min	К-во суровина, g	Време, min	К-во суровина, g
None	19	1	10	1
Brim	20	2	13	1
Raft	27	3	18	2
Raft support	30	3	20	2
Skirt support	20	2	12	1

На фиг. 3 е представена визуализация на принтираният обект сфера с различни типове „подложки“ - без подложка (А); подложка Brim (Б); подложка Raft (В); подложка Skirt Support (Г) и подложка Raft Support (Д).



А)



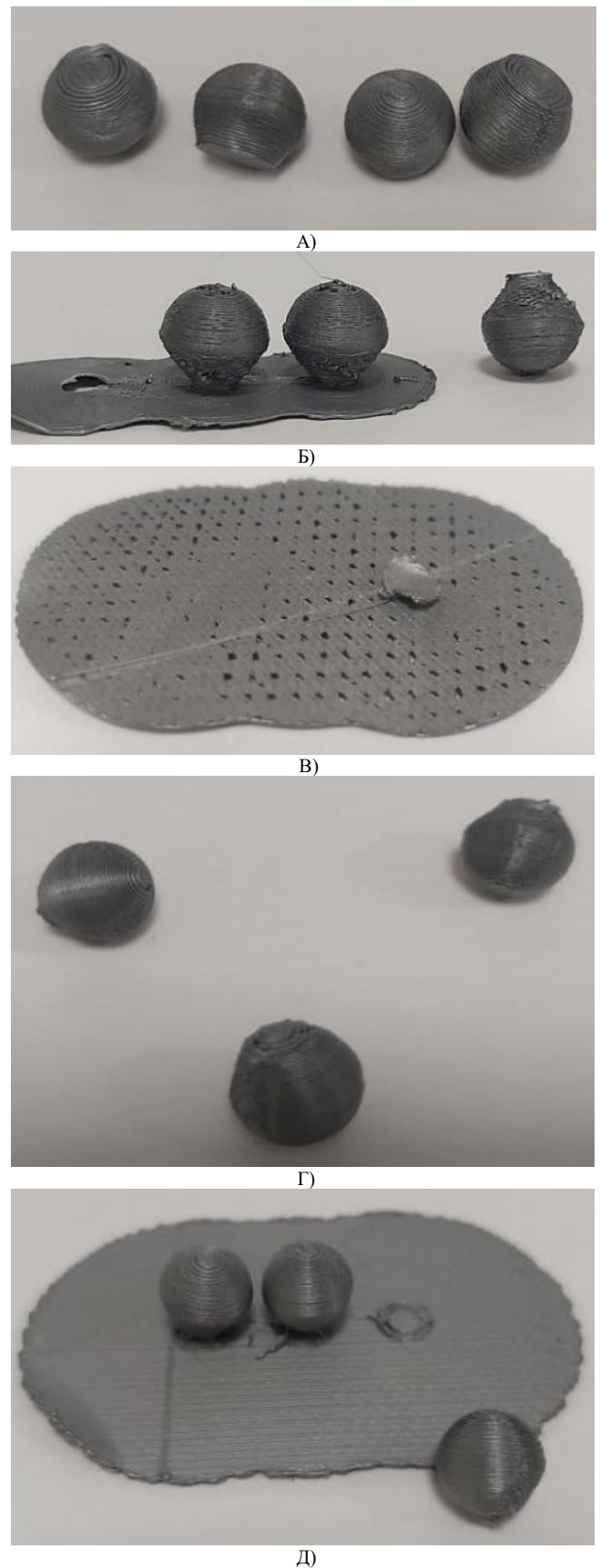
Фиг. 3. CAD модел на сфери: А) без подложка; Б) подложка Brim; В) Подложка Raft; Г) Подложка Skirt Support и Д) Подложка Raft Support

#### V. ОПИТНИ РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИИ

Направени са тестове с два вида 3Д принтери Tevo Tornado и Ultimaker S5 с различните видове подложки и поддържащ материал. Всички тестове са направени с филамент PLA.

##### A. От 3Д принтер Tevo Tornado

След посоченото в Таблица 1 технологично време за принтиране на модела сфера със скорост 45 mm<sup>3</sup>/s – са анализирани постигнатите резултати, като на фиг. 4 е представена визуализацията им.



Фиг. 4. Принтирани сфери- 9 mm от 3Д принтер Tevo Tornado: А) без подложка; Б) подложка Brim; В) подложка Raft; Г) подложка Skirt Support и Д) подложка Raft Support

На фиг. 4А) са показани сфери получени без използването на подложка и поддържащ материал. Както се вижда на снимката цялостната структура на сферата е добре оформена, но основата е заела плоска форма, което допринася за несферичност и непостигане на задоволителен резултат.

Фиг. 4Б) представя сфери с добавена подложка „Brim“. Поради тънката повърхност на подложката, основата на сферите е плоска и слоевете не са добре изградени по цялата си периферия. Отново резултатът е незадоволителен.

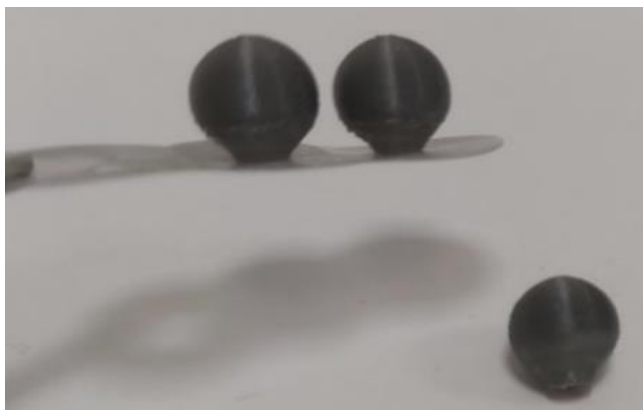
При използването на подложка „Raft“, фиг. 4В) има наличие на не добра адхезия между подложката и сферите. Екструдираният материал не се залепва за подложката и принтирането е стопирано.

Типът подложка „Skirt“ е всъщност очертаване на принтираната област, фиг. 4Г), именно затова е добавен поддържащ материал (Support) под ъгъл 50°. Резултатите показват, че само наличие на поддържащ материал не е достатъчно за добра форма на сферите, а също така се установява, че съпорта се отстранява трудно, което допринася за тяхната груба форма от едната страна.

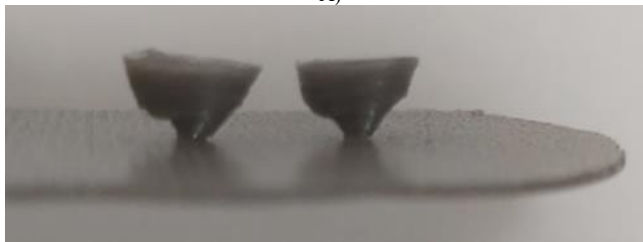
Последната използвана комбинация е използването на подложка „Raft“ със Support, фиг. 4Д). Благодарение на поддържащия материал, сферите се залепват успешно за подложка „Raft“ и формата на сферите е със задоволителни резултати.

### В. От 3Д принтер Ultimaker S5

Аналогично на 3Д принтер Tevo Tornado и тук са използвани същите подложки и поддържащ материал (Фиг. 5), с изключение на 3Д принтиране без подложка, защото вероятността да се получи добра форма е невъможна. Скоростта на екструдиране е 70 mm3/s.



А)



Б)

Фиг. 5. Принтирани сфери- 9 mm от 3Д принтер Ultimaker S5: А) подложка Brim; Б) подложка Raft;

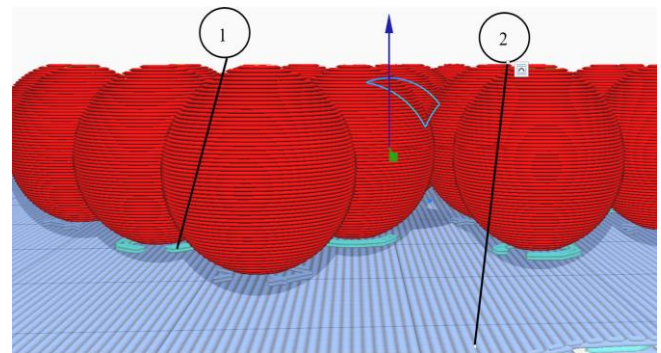
При използването на подложка „Brim“, фиг. 5А) резултатът е незадоволителен. Прецизността на принтиране при този модел е доста по-висока, сферите са гладки, но поради прекалено фината дебелина на подложката основата добива плосък вид.

При прилагането на подложка „Raft“, фиг. 5Б), основата е във вид на конус и е изкривена, което влошава качеството на сферата. Процесът по принтиране е прекъснат.

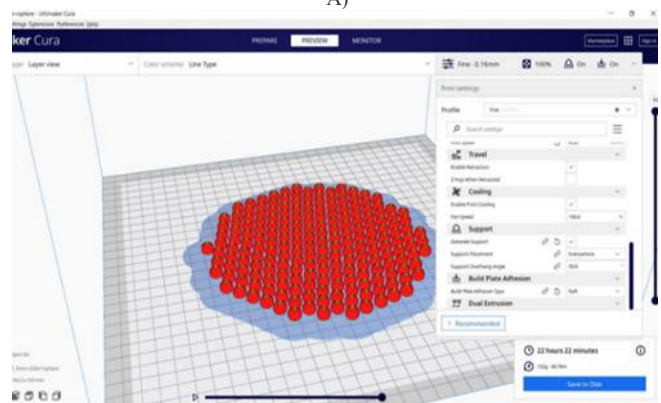
Тестовите с подложка Raft и Support са провалени, поради лоша адхезия между подложката и сферите и принтирането беше прекъснато.

### С. Избор на вариант за принтиране

От всички използвани видове начини за принтиране на сфера, най-добър резултат бе получен от 3Д принтер Tevo Tornado, с подложка „Raft“ и Support. Резултатът от използвания вариант е по-цялостен детайл с по-малко дефекти, добра адхезия, както и по-лесно отлепване на детайла от плочата и от подложката за печат, като по-голямата част от поддържащия материал остава на нея. Изграден е CAD модела на сфери с размер 9 mm и е заложен в програмата Ultimaker Cura, с общ брой сфери, принтиращи се едновременно- 202 бр. Запълването на сферите е 100 %, общото тегло на използван филament е 122 g и времето за принтиране е 22 ч и 22 мин със скорост на печат 45 mm3/s. Ъгълът на поддържащия материал е 50°, Фиг. 6 А), Б). Фиг. 6А) представя 1- поддържащ материал (Support) и 2- подложка “Raft”, а фиг. 6Б) параметрите заложи в програмата за принтиране.



А)



Б)

Фиг. 6. Сфери с подложка тип “Raft” с наличие на поддържащ материал: А) Сфери, подложка и поддържащ материал; Б) Изглед на сфери в програма Ultimaker Cura.

Температурите за екструдирание- дюзата и подгриване на масата при различните видове филamenti са посочени в таблица 2.

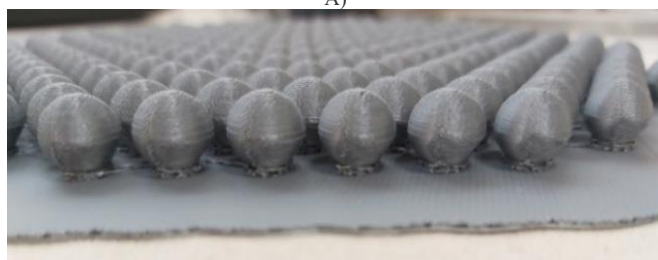
ТАБЛИЦА 2. ТЕМПЕРАТУРИ НА ЕКСТРУДИРАНЕ ПРИ РАЗЛИЧНИТЕ ВИДОВЕ ФИЛАМЕНТИ

Материал	Температура на дюзата, °C	Температура на масата, °C
PLA	205	60
Carbon	240	
PETG	240	
SteelFil	220	
TOUGH PLA	200-230	

На фиг. 7 са представени готовите 3Д принтирани сфери с размер 9 mm, заедно с подложката Raft и поддържащ материал.



А)



Б)

Фиг. 7. 3Д принтирани сфери: А) Изглед отгоре; Б) Челен изглед

## VI. БЪДЕЩИ ПРОЕКТИ

Нуждата от високо качество и външен вид с добра сферичност е от изключителна важност. Получените сфери ще се използват при изследване на процеса на взаимодействие между мелещите тела при лабораторна топкова мелница. Ще бъдат отчетени параметри като критична скорост, ъгъл на отделяне и ъгъл на падане на мелещи тела и др. Моделът на принтиране ще бъде приложен и при създаването на сфери от други материали, които също ще бъдат изследвани. Запълването на мелницата ще се осъществява със специализиран за целта грипер-хвасач, който ще отчита точното дозиране на мелещите тела [11-13].

## VII. ИЗВОДИ

След направен обзор и анализ на 3Д принтери Tevo Tornado и Ultimaker S5, бяха направени CAD модели на сфери с размер 9 mm. Направени са различни тестове, чрез които да се избере най-добрият вариант с най-добра форма и сферичност на детайла. Използвани са следните разновидности на принтиране: без подложка, с подложка Brim, с подложка Raft; с подложка Skirt и Support и с подложка Raft и Support. Моделът с най-задоволителен резултат е постигнат с 3Д принтер Tevo Tornado и с подложка Raft и Support. Резултатът от използвания вариант е по-цялостен детайл с по-малко дефекти, добра адхезия, както и по-лесно отлепване на детайла от плочата и от подложката за печат, като по-голямата част от поддържащия материал остава на нея. Получените сфери ще се използват при изследване на процеса на смилане при лабораторна топкова мелница и именно затова е необходима добра структура и външен вид.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепата на проект по Фонд Научни Изследвания, „Конкурс за финансиране на фундаментални научни изследвания – 2020, тема „Изследване и оптимизация на взаимодействието между мелещи тела и среди с иновативна форма“, договор ФНИ № КП-06-Н47/5“.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- <https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html> (последно посетен март 2022 г.)
- <https://www.tevousa.com/products/tevo-tornado-3d-printer-kit> (последно посетен март 2022 г.)
- <https://top3dshop.ru/kupit-3d-printer/personal/3-d-printer-tevo-tornado.html> (последно посетен март 2022 г.)
- [https://bg.farnell.com/ultimaker/ultimaker-s5/3d-printer-330mm-x-240mm-x-300mm/dp/2992573?gclid=CjwKCAjw9qiTBhBbEiwAp-GE0YUe5GThpxOXKbt\\_z5fs-6YEDSZNAbhhKcTdpGwTiHBqcLf240qgihoCN7cQAvD\\_BwE&mckv=sA6OJsUoy\\_dclpcrid438384075062|keyword|ultimaker%20s5|mat ch|p|lid|slid|product|pgrid|105402432641|ptaid|kwd-661739002732|&CMP=KNC-GBG-GEN-SKU](https://bg.farnell.com/ultimaker/ultimaker-s5/3d-printer-330mm-x-240mm-x-300mm/dp/2992573?gclid=CjwKCAjw9qiTBhBbEiwAp-GE0YUe5GThpxOXKbt_z5fs-6YEDSZNAbhhKcTdpGwTiHBqcLf240qgihoCN7cQAvD_BwE&mckv=sA6OJsUoy_dclpcrid438384075062|keyword|ultimaker%20s5|mat ch|p|lid|slid|product|pgrid|105402432641|ptaid|kwd-661739002732|&CMP=KNC-GBG-GEN-SKU) (последно посетен март 2022 г.)
- Lai, H., Gong, B., Yin, J., Qian, J., 3D printing topographic cues for cell contact guidance: a review, *Materials & Design* (2022), doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110663>
- W. Oropallo, L.A. Piegł challenges in 3D printing *Engineering with Computers. Eng. Comput.*, 32 (1) (2016), pp. 135-148, 10.1007/s00366-015-0407-0
- <https://all3dp.com/fdm-vs-sla/> (последно посетен март 2022 г.)
- Б. Попов, М. Панев, Н. Стоименов, Л. Клочков, Обзор и анализ на материали за 3d печат, XXVII МНТК, Автоматизация на дискретното производство „АДП – 2021“, Юни, Созопол, ISSN 2682-9584, стр. 218-221.
- А. Христов, И. Стоянов, М. Велева, Г. Пачов, „Машина за 3D принтиране използваща FDM технология“, XXVII МНТК, Автоматизация на дискретното производство „АДП – 2018“, Юни, Созопол, ISSN – 13 10 -3946, 2018, стр. 318-323.
- M. Savi, D. Villani, M.A.B. Andrade, O. Rodrigues, M.P.A. Potiens, „Study on attenuation of 3D printing commercial filaments on standard X-ray beams for dosimetry and tissue equivalence“, *Radiation Physics and Chemistry*, Volume 182, ISSN 0969-806X, 2021, 109365.
- Stoev P., Chivarov N., Stoimenov N., Chivarov S., Design of a specialized gripper of a robotic system for accurate dosing of grinding bodies, XXX International Scientific and Technical Conference, ADP - 2021., Sozopol, Bulgaria., Publishing house of TU-Sofia ISSN – 2682-9584, Publisher Department “Automation of Discrete Production



---

Engineering“ Mechanical Engineering Faculty, Technical University –  
Sofia, 2021, pp. 85-90

- [12] Chivarov N., Stoev P., Yovkov S., Stoimenov N., Chivarov S., Specialized Gripper-Dispenser for Dosing Laboratory Mill With Grinding Bodies, 20th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability, TECIS 2021, Volume 52, Issue 25, September 14-17 2021, IFAC-PapersOnLine, Publisher: IFAC Secretariat, ISSN:2405-8963, pp. 539-542
- [13] Stoev P., Chivarov N., Stoimenov N., Productivity of specialized gripper-dispenser, International Scientific Congress Machines, Technologies, Materials, 09-12 March 2022, Borovets, Bulgaria, Vol. 1, Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry – 4.0, pp. 30-34, 2021, ISSN:2535-0021

## SPHERES MODELLING AND EXTRUSION BY 3D ADDITIVE TECHNOLOGY

Miglena Paneva

Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: m.paneva7@gmail.com

Petar Panev

Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: panevv@gmail.com

Gabriela Kotseva

Institute of Information and  
Communication Technologies at the  
Bulgarian Academy of Sciences  
Sofia, Bulgaria,  
e-mail: gabriela.kotseva@iict.bas.bg

**Abstract: A study with Fused Deposition Modeling (FDM) printing technology was performed. Using two types of 3D printers, the best way to extrude a sphere was analyzed experimentally. The models for printing with different types of build plate adhesion and supporting material and the obtained results are presented. The type in which the shape and appearance are of the best quality was chosen and the production of a larger number of spheres at the same time was realized.**

## РАЗРАБОТКА НА ПОВДИГАЩ МОДУЛ НА МОБИЛЕН РОБОТ ЗА СКЛАДОВИ ПОМЕЩЕНИЯ

Петко Стоев  
ИИКТ- БАН  
София, България  
e-mail: petko\_ivanov\_stoev@abv.bg

**Резюме:** В настоящият доклад е представен повдигащ модул за разработена мобилна робо-платформа за транспортиране на продукти в складови помещения. Конструктивни характеристики на проектираният повдигащ модул както и принципа на работа на модула са описани детайлно. Разработена е софтуерна система за управление на повдигащият модул.

**Ключови думи:** *мобилен робот, повдигащ модул, автоматизация на складове, сензори, линеен актуатор*

### I. Увод

Нарастващата индустрия за електронна търговия, необходимостта от повишаване на производителността, точността и оперативната ефективност, изискванията към подобро качество и надеждност в складовите операции принуждават съвременните магазини да се насочат към използване на различни роботи в складовите си помещения. Автоматизацията на трудоемките складови операции, обвързани с изпълнението на обикновени, повтарящи се задачи, посредством мобилни транспортни роботи спомагат за предотвратяването на някои трудови заболявания и позволява на служителите да се съсредоточат върху по-сложни задачи [1],[2],[3]. Към момента има няколко основни вида мобилни роботи, които се ползват в улесняване на работните процеси в складовите помещения:

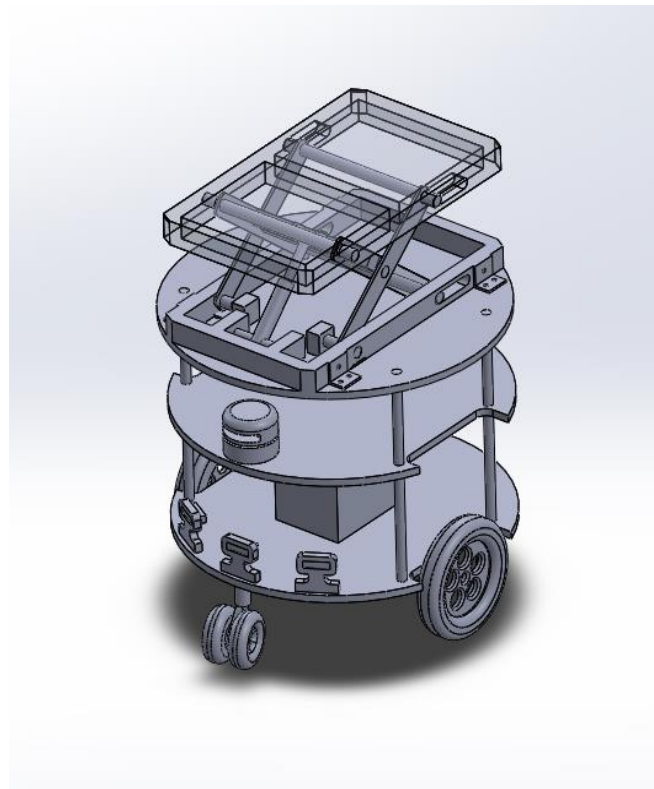
Автоматично насочвани превозни средства (Automated Guided Vehicles, AGV) – използват се за транспортиране на различни видове материали, консумативи и инвентар в складовите съоръжения. Главно се използват за замяна на ръчни товарни колички или мотокари. Този тип роботи се движат автономно в складовите съоръжения, като следват установени маршрути, маркирани с проводници, магнитни ленти, пътеки, сензори вградени в пода и т.н. Някои AGV използват камери, лидар, инфрачервени и други модерни технологии за навигация в работните пространства, за идентифициране на препятствия и избягване на сблъсъци.

Автономни мобилни роботи (AMR) — автономните мобилни роботи наподобяват AGV с това, че транспортират инвентар и материали в целия склад автономно. Основната разлика между тях и AGV са, че AGV се придвижват по фиксирани маршрути, водени от магнитни ленти или пътеки, докато AMR разчитат на карти и сензори за навигация като се придвижват по погъвкави маршрути чрез интерпретиране на околната среда. Когато се използват с оборудване и артикули,

маркирани с RFID, автономните мобилни роботи за инвентар могат да извършват преброяване на инвентара по предварително зададени интервали. В тази категория се включват и колаборативните мобилни роботи (collaborative robots или cobots), които подпомагат в работата на хората, при извършване на съвместни задачи.[4]

### II. МОБИЛНА РОБО-ПЛАТФОРМА

Разработеният мобилен робот има за цел да предложи решение, което да решава потенциалните задачи, свързани с преноса и доставката на продукти в различни магазини и техните складови помещения.[5],[6]



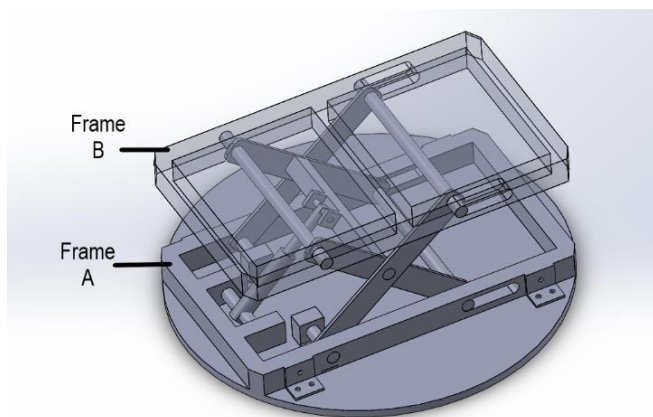
Фиг. 1. Мобилният робот с монтирания към него модул с ножичест подемник

Платформата на робота се състои от 3 отделни плочи от полиетилен с висока плътност (HDPE), с различно разстояние една от друга. Дебелината на всяка от плочите е 9,5 мм, а диаметъра на всяка от плоча е 450 мм. Всяка от плочите се фиксира посредством група от четири метални пръта, с диаметър 12,5 mm, към следващата плоча.

Разстоянието, което металните пръти осигуряват между плочите е както следва: 152 мм между първата и втората и 127,5 мм между втората и третата, като плочите са номерирани по ред, започвайки от повърхността, върху която е поставен роботът. Двете задвижващи колела, както и батерията, която ги захранва, и колелата са закрепени под първата плоча. Задвижващите колела [7] са с диаметър 155 mm, а спомагателните колелата [8] са с диаметър 76 mm. Колелата са прикрепени към ос с диаметър 12,75 mm. Височината, спусната от първата плоча към повърхността, върху която е поставен роботът, е 106 mm. В първата и втората плочи е направен разрез с размери 165 mm x 38 mm. В разрезът на първата плоча се позиционират задвижващите колела като така се намалява външния размер на робота. Под първата плоча е прикрепена допълнителна по-малка, върху която са монтирани електродвигателите на задвижващите колела, както и акумулаторната батерия. Разстоянието между допълнителната плоча и първата плоча е 78 mm, измерено от долната повърхност. Размерите на допълнителната плоча са 336.6 mm x 177.8 mm с дебелина 9.5 mm. Задвижващите колела се задвижват от два четковидни мотора с мощност 96 W всеки, с червячна предавка, работещи при напрежение 12V, оборудвани с енкодери.

### III. ПРОЕКТИРАНЕ И ИМПЛЕМЕНТИРАНЕ ПОВДИГАЩИЯТ МОДУЛ

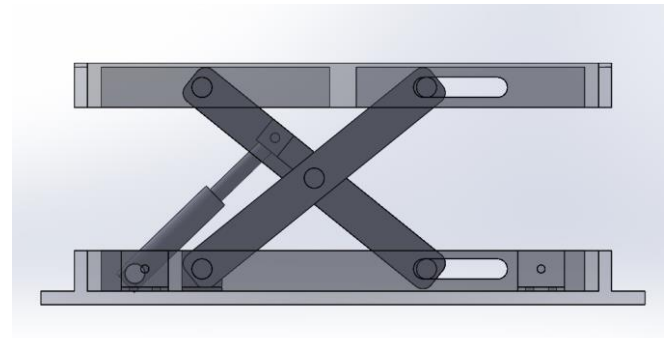
Ножичестият подеменник е изграден от две рамкови конструкции/ frame structures/ - рама А и Б, с идентични външни размери и профили изграждащи ги, като към тях са фиксирани другите компоненти на цялостната сглобка. Профилите ползвани за външните рамки са 20mm x30mm x2mm. Рамките са с размери 400mm x 240mm като ъглите им са скосени с цел рамата да бъде възможно най-близко по контура на плочата на робота. В сгънато положение ножичестият повдигач е на 60mm височина от платформата на робота, към която е монтиран, а в максимално повдигнато почти 172mm.



Фиг. 2. Сглобка на ножичест подеменник

Рама А се захваща към горната плоча на мобилния робот посредством 4 г-образни профила с размери 25x 35 x 3, като всеки от 4-те профила се захваща с по 3 болта М6. Идентично и за двете рами в единия край на всяка от тях в профилите са фрезирани канали, в които се помества лагерните тела и осите, за които са захванати съответните

две плъзгащи рамена за повдигане на рама Б, а в другия край са разпробити отвори с диаметър 15mm. Дължината на фрезирания канал е 70mm, в който е набит иглен лагер с външен и вътрешен диаметър съответно 21mm и 15mm. В другия край на рама А, вътрешно на конструкцията, е захванат линейния актуатор[9]. Буталото на актуатора е с диаметър 12mm и ход 100mm. Линейния актуатор е закрепен към два профила- 20mm x 30mm с дължина 50mm, като центъра на захващане е на 13mm от плочата на робота т.е. под централната ос на профилите, за да се гарантира по-голямо скосение при прибрано положение на ножиците.



Фиг. 3. Изглед на механизма с компонентите на ножичестия подеменник

Към рама Б напречно по средата е заварен допълнителен профил, който да повиши здравината и якостта на конструкцията при повдигане на товари. В горната част върху рама Б е заварен листов материал със същата форма и дебелина на листа 3mm, на който да бъдат полагани различните продукти. Повдигащите рамена са с размери 235mm x 30mm x 4mm със закръгление на ръба R8. Във всяко от рамената са разпробити 3 отвора с диаметър 15mm- един централно и два във всеки от краищата на разстояние 214.80 mm един от друг. Към две от рамената е заварен профил 20mm x 20mm, към който се закрепя буталото на линейния актуатор. Върху горната повърхност, контактуваща с повдиганите от робота изделия, са поставени сензори[10] за тежест, които да предпазват мобилния робот от претоварване.

### IV. СОФТУЕР И ХАРДУЕР ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПОВДИГАЩИЯТ МОДУЛ

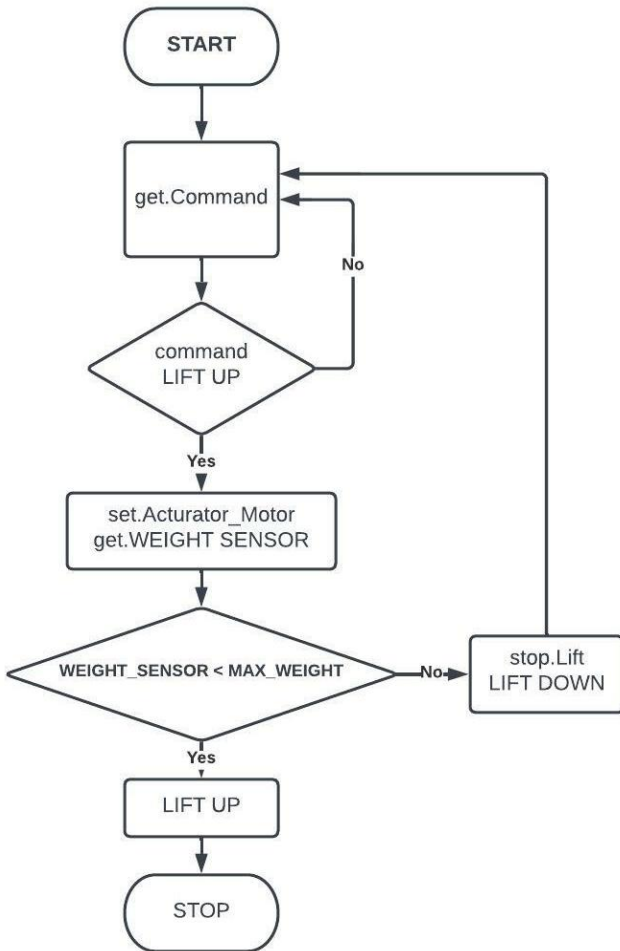
1. След като операторът приведе платформата в работен режим (включи захранването), програмата се стартира и контролера подава сигнал към драйвера[11] на линейния мотор (Актуатора). Ако повдигащата платформа не е на стартовата си позиция линейния двигател започва да сваля рамената върху които е прикрепена повдигащата платформа. След извършване на тази процедура платформата се намира в режим „очакване“, до подаване на команда от оператора. Тази процедура се налага да се извърши и в случай, че платформата е прекъснала работата си аварийно и повдигащата платформа е останала в работно положение.

2. Когато програмата получи команда „повдигни товара“, контролера подава сигнал към драйвера на линейния мотор. Мотора започва да повдига рамената върху което е монтирана повдигащата платформа, докато датчика за тежест не докосне товара. Той отчита тежестта



на товара и ако той надвишава нормата, програмата отчита грешка „Внимание , привишено тегло!“ Тогава механизма връща повдигащата пларформа в режим „очакване“..

3. Когато програмата получи команда „повдигни товара“ и датчика за тежест отчете тежест в нормата ,механизма повдига товара до заданената височина и роботът може да пристъпи към транспортиране на товара.

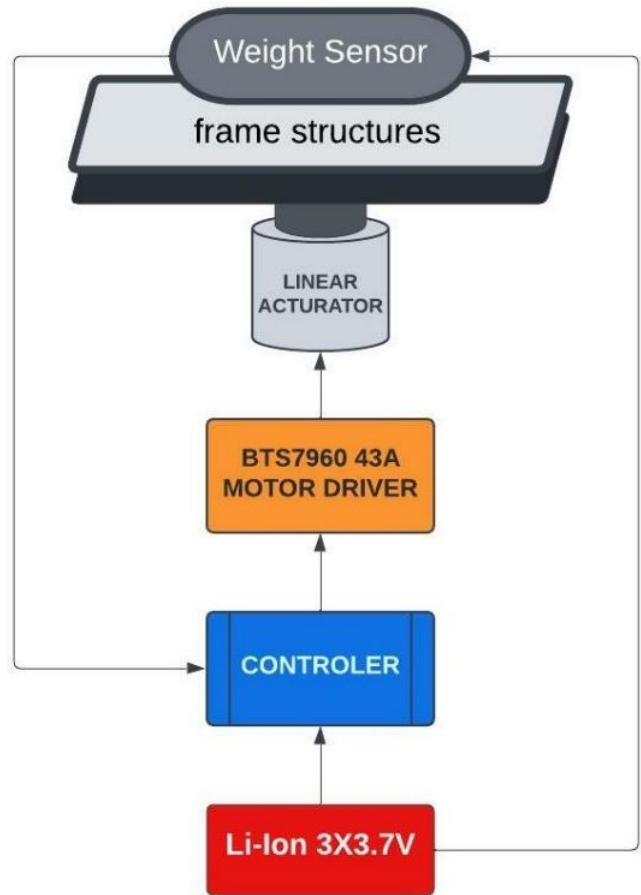


Фиг. 4. Блок схема за управлението на софтуера

Повдигащият модул се захранва от Li-ion акумулаторен блок състоящ се от 3 последователно свързани клетки с напрежение 3,7V и максимален ток 5A. На фигура 8 е представена хардуерната система на разработения модул.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е разработен и моделиран в 3д среда мобилен робот с повдигащ модул за транспорт на продукти в складови помещения. Представени са конструктивни характеристики на мобилната робо-платформа и повдигащият модул. Детайлно е описан принципа на работа на разработения модул. Създаден е алгоритъм за управление повдигащият модул. Така представената разработка дава възможност на робота да се справя с преноса на различни видове товари спрямо зададените изисквания и цели.



Фиг. 5. Схема на основните компоненти изграждащи повдигащият модул

БЛАГОДАРНОСТИ

„Изследванията, водещи до тези резултати, са финансирани от Министерството на образованието и науката по Националната научна програма ИНТЕЛИГЕНТНО ЖИВОТНОВЪДСТВО, споразумение за безвъзмездна помощ № Д01-62/18.03.2021“

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] [1]- Warehouse Robotics & Different Types of Robots | 6 River Systems
- [2] [2]- Seven Types of Warehouse Robots: Considerations for Leveraging Robots in the DC - Fortna
- [3] [3]- How Will Robots Impact Warehouse Design? (forbes.com)
- [4] [4]-Warehouse Robot: Types of Warehouse Robots & Robotics Technology (6river.com)
- [5] [5]-Lowpad Industries - Logistics / 3PL
- [6] [6]-Automated Warehouse Robots | Robotic Process Automation (locusrobotics.com)
- [7] [7]- Motor Mount and Wheel Kit - Aluminum - Parallax
- [8] [8]- Caster Wheel Kit Rev. B - Parallax
- [9] [9]- 12v Small Acuator Motor Stroke Length 30mm/50mm/100mm/150mm Load Capacity 150n Mirco Electric Linear Servos - Dc Motor – AliExpress
- [10] [10] Tzt Load Cell 1kg 5kg 10kg 20kg Hx711 Ad Module Weight Sensor Electronic Scale Aluminum Alloy Weighing Pressure Sensor - Sensors – AliExpress
- [11] Motor Driver BTS7960 43A : 4 Steps - Instructables



## **DEVELOPMENT OF A LIFTING MODULE FOR A MOBILE ROBOT PLATFORM FOR TRANSPORTING PRODUCTS IN WAREHOUSES**

Petko Stoev  
ИКТ- BAS  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: petko\_ivanov\_stoev@abv.bg

**Abstract:** In this paper a lifting module for a developed mobile robot platform for transporting products in warehouses is presented. Structural characteristics of the designed lifting module as well as the principle of operation of the module are described in detail. A software system for control of the lifting module has been developed.

## ПРОГНОЗИРАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ГЪВКАВА ПРОИЗВОДСТВЕНА СИСТЕМА

Чавдар Костадинов

Катедра Комуникационни и информационни системи  
Военна академия „Г. С. Раковски“,  
София, България  
e-mail: ch.kostadinov@rmdc.bg

Иванка Пеева

Катедра Технология на машиностроенето и металорежещи  
машини, РУ „Ангел Кънчев“  
Русе, България  
e-mail: ipeeva@uni-ruse.bg

**Резюме:** В статията са разгледани проблеми, свързани с прогнозирането на параметри на гъвкава производствена система, определящи нейната ефективност. Като пример са представени няколко варианта на организация на работата на ГПС, съставена от два роботизирани технологични модула, всеки изграден от две машини, обслужвани от един робот.

**Ключови думи:** гъвкава производствена система, роботизиран технологичен модул, прогнозиране на производителност.

### I. ГЪВКАВИ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ

В общия случай гъвкавата производствена система (ГПС) се състои от три основни подсистеми; технологична, транспортно-захранваща и система за управление.

Технологичната система осъществява обработването на изделията, техния контрол, подготвяне и смяна на инструменти, междинно складиране и съхраняване на материали, полуфабрикати, изделия, комплектуващи елементи, инструменти, екипировка, отвеждане на готовата продукция.

За изпълнението на тези функции в технологичната система влизат основно технологично и контролно-измервателно оборудване, средства за междинно съхранение, преориентиране; базиране и транспорт на изделия и инструменти.

Транспортно-захранващата подсистема на ГПС извършва съхранение и междинно придвижване на заготовки (изделия), инструменти и екипировката към и между оборудването на технологичната система. За изпълнението на тези функции към транспортно-захранващата подсистема се отнасят: автоматизиран склад (АС), промишлени роботи (ПР), транспортни средства, позиции за съхранение, комплектуване, подаване и отвеждане на детайли, изделия и др.

Системата за управление на ГПС координира работата на технологичната и транспортно-захранващата подсистеми и осигурява правилното протичане на производствения процес. Тя взаимодейства с локалните управляващи системи на технологичната и транспортно-захранваща системи и тяхното оборудване (технологични машини, роботи, транспортни средства и други). Между технологичната, транспортно-захранващата и

управляващата системи може да се получи значително преразпределение на функциите.

За осигуряване на необходима производителност на ГПС, при отчитане на възможни откази на отделно оборудване или други специфични условия, се предвиждат буферни устройства (БУ). Тяхната функция може да се изпълнява от събиратели за серии детайли или специално обособени участъци на транспортната система. При анализа на структурата и проектирането на буферите е прието разделяне на ГПС на отделни единици, притежаващи определена функционална независимост. Такива единици се наричат технологични или контролно измервателни модули, а при използването на работи – роботизирани модули, които може да се свързват в комплекси (РТК).

Структурата на РТК се определя от броя, вида и взаимното разположение на основното технологично и спомагателно оборудване. В серийното производство най-разпространени са системите от вида роботизирани производствени или технологични модули (РПМ или РТМ). При тях няколко единици основно технологично оборудване се обслужват от един робот при обработване на еднотипни изделия. От няколко такива модули може да се структурират роботизирани производствени системи при различни начини на свързване на модулите, осигуряващи последователно, успоредно или комбинирано обработване. В практиката намират приложение и други системи, като гъвкави автоматични линии (ГАЛ) и гъвкави автоматични участъци (ГАУ).

### II. АНАЛИЗ НА ФАКТОРИ, ОКАЗВАЩИ ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ ЕФЕКТИВНОСТТА НА ГПС

Спецификата на съвременния индустриален пазар, нарастващата конкуренция и краткия жизнен цикъл на изделията налагат необходимостта от гъвкаво производство, което успешно може да се реализира чрез програмируемо (бързопренастройваемо) технологично и спомагателно оборудване. Серийното производство се характеризира с широка номенклатура произведени изделия и обем на производствената програма. РТМ са оборудване, което може да се използва като самостоятелна производствена единица или като част от по-сложна структура, което създава много възможности за реализиране на различни варианти на приложение. Наличието на известни методики за проектиране на РТМ по зададен технологичен процес и за аналитично моделиране работата на индустриална система при

определени производствени условия [1, 2, 3] позволява анализ и прогнозиране на основни технически параметри, които може да се използват като критерии за ефективност при избора на оптимален структурен вариант на гъвкава производствена система при определени условия на работа. В съвременното производство са реални множество задачи, изискващи прогнозиране на техническите параметри на налично оборудване в условията на дадено производство, с цел осигуряване на необходима производителност и време за изпълнение на определена производствена програма. Наличието на няколко машини в модул, обслужвани от един промишлен робот, определя появата на допълнителни загуби от чакане на обслужване, дори без отчитане на надеждностните им показатели. Тези и други видове загуби оказват влияние върху производителността и натоварването на оборудването. Стойностите на тези параметри зависят от компоновката на РТМ, сценария на обслужване на машините и други фактори, а определянето им и познаване характера на тяхното изменение подпомага решаването на оптимизационни задачи [4, 6, 7]. При проектиране на нова производствена система е необходимо решаване на подобни задачи за определяне на параметри, имащи отношение към избора на основно и спомагателно оборудване за реализиране на определени технологични процеси, структура и компоновка на ГПС, начин на организация на работа и връзка между отделните модулни единици.

Важен показател за ефективността на производствена система е времето за изпълнение на зададена производствена програма с определена номенклатура и обем произвеждани изделия. За анализирани влиянието на времената за обработване и начина на организация на работа е използвана ГПС, състояща се от два РТМ, включващи по две технологични машини и периферни устройства, обслужвани от един промишлен робот (ПР). Прието е, че основното оборудване реализира технологични процеси за обработване на два вида детайли със зададена производствена програма за Детайл 1 – 1200 броя и за Детайл 2 – 1500 броя. Извършен е анализ на производителността и времето за изпълнение на производствената програма при три различни случая на организация на работа на цялата система и четири варианта за реализиране на технологичните процеси в ГПС. Извършено е аналитично моделиране работата на производствената системата, разглеждана като система за масово обслужване, при използването на известни зависимости [8, 9]:

$$P_{РТМ} = \lambda_1 H_{M1} + \lambda_2 H_{M2} \quad (1)$$

$$H_{M1} = P_0 + P_2 \quad (2)$$

$$H_{M2} = P_0 + P_1 \quad (3)$$

Разгледаните случаи на организация на производство на двата вида детайли представят възможно реализиране на технологичните процеси на 4 машини със сходни технологични възможности, обслужвани от 2 ПР, образуващи РТК. Технологичният процес за обработване на всеки детайл включва два етапа със съответни времена:

Детайл 1:  $T_1 = 300\text{с}$ ,  $T_2 = 550\text{с}$ ;

Детайл 2:  $T_1 = 380\text{с}$ ,  $T_2 = 500\text{с}$ .

Предвидена е еднаква поредност на обработване на сериите детайли за всички разгледани варианти.

При 1 случай е прието, че четирите машини реализират еднакви операции за всеки етап от обработването на детайлите при заложили еднакви машинни времена, съответно:

Детайл1:  $TM_1 = TM_2 = TM_3 = TM_4 = 300\text{с}$ ;

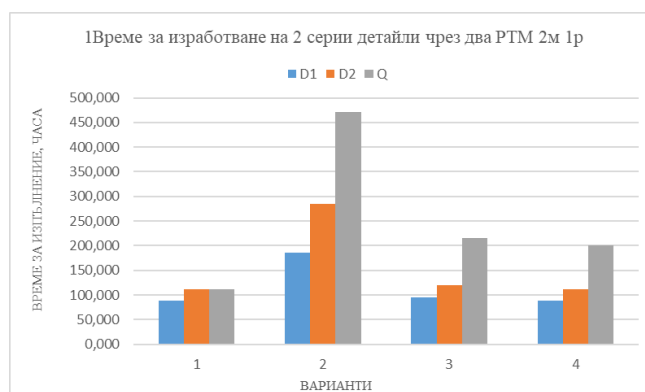
$TM_1 = TM_2 = TM_3 = TM_4 = 550\text{с}$ ;

Детайл2:  $TM_1 = TM_2 = TM_3 = TM_4 = 380\text{с}$ ;

$TM_1 = TM_2 = TM_3 = TM_4 = 500\text{с}$ .

Машините извършват еднакви операции (и с еднакви машинни времена за първата и втора част на обработването, съответно 300с и 550с за Детайл 1) при паралелно обработване за всеки вид детайл. След обработване на първата серия детайли, започва обработване на серията Детайли 2, като първо се извършва на всички машини първата част от обработването и след това паралелно се извършва дообработване на всички детайли от партидата.

Изчисленията за производителността са извършени при еднакви стойности на относителната интензивност  $\rho = 0,1$ , което е практически възможно при подходящо избран ПР, определящ съответните времена за обслужване на машините. Първият вариант на реализиране на технологичен процес представя ГПС с паралелно действие, а другите три – ГПС с последователно действие при обработване. От получената средна стойност на производителността и зададения обем производствена програма е определено необходимото време за производство на всяка серия и времето за работа на ГПС като цяло. Получените резултати са представени графично на фиг. 1, 2 и 3.



Фиг. 1. Време за изпълнение на зададената производствена програма от ГПС, случай 1

Най-висока средна производителност е получена при 1 вариант на организация, на който съответстват минимални времена за изработване на сериите, съответно 81,6 часа и 105,6 часа. При независима паралелна работа на модулите, общото време за сериите съответства на времето за работа на по-малко производителния модул.

При последователно обработване (2, 3 и 4 варианти) общото време е сума от времената за изработване на двете серии. Тези варианти се различават по реда на последователно изпълняваните операции от съответните технологични процеси, както и по броя едновременно изпълняващи една и съща операция машини. От разгледаните варианти и зададени времена при този случай най-малка производителност и най-продължителна работа на системата е получена при 2 вариант, където първо се изработват детайлите от серията на Детайл 1, а след това се изработват детайлите на Детайл 2.

На фиг. 2 са показани графично получените времена за изработване на сериите при втория разгледан случай на организация на производството и същите машинни времена за двата вида детайли. Тук е характерно, че на 1 машина се извършва първа част на технологичния процес, а другите 3 машини довършват обработването (за всеки от детайлите):

Детайл 1:  $TM_1 = 300c$ ,  $TM_2 = TM_3 = TM_4 = 550c$ ;

Детайл 2:  $TM_1 = 380c$ ,  $TM_2 = TM_3 = TM_4 = 500c$ .

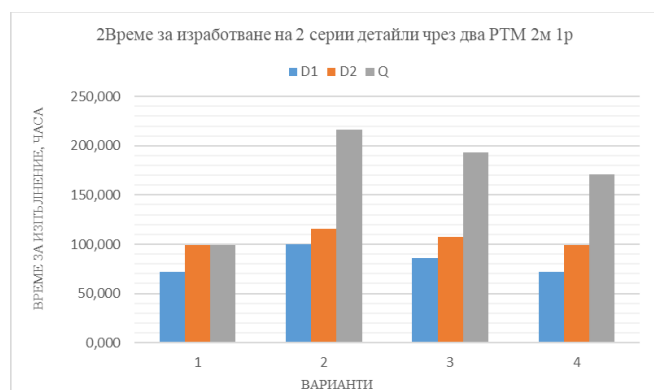
Получен е вариант, при който се достига по-голяма производителност, спрямо предходния разгледан случай и времена за изработване на сериите, съответно – 51,6 часа и 68,3 часа за първа и втора серия.

Представените на фиг. 3 резултати се отнасят за случай, при който машините две по две извършват първи етап от обработването на двата детайла и след това дообработват по същия начин

Детайл 1:  $TM_1 = TM_2 = 300c$ ,  $TM_3 = TM_4 = 380c$ ;

Детайл 2:  $TM_1 = TM_2 = 550c$ ,  $TM_3 = TM_4 = 500c$ .

За четирите варианта на този случай са получени пониски производителности за ГПС и по-продължителни времена за изработване на зададената производствена програма, в сравнение с предходните два случая. От разгледаните варианти минималното време за изработване на серията Детайли 1 е 94,3 часа, а за Детайл 2 е 129,7 часа.



Фиг. 2. Време за изпълнение на зададената производствена програма от ГПС, случай 2

И в трите случая прави впечатление, че при приблизително еднакви съответни времена за изпълнение на сериите (вариант 1 и 4), общото време за работата на

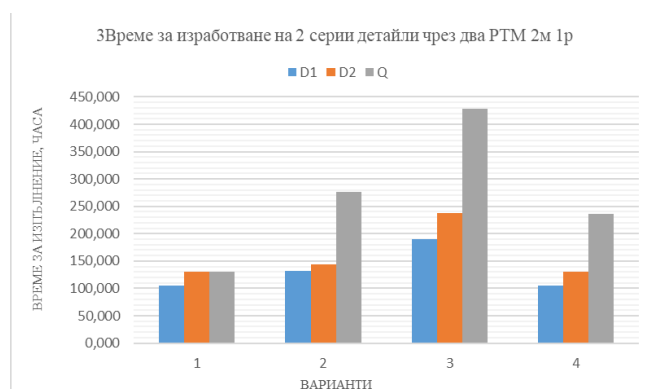
системата е различно, като то е по-кратко при системите с паралелно действие.

Представените графики ясно показват зависимостта на средното време за изработване на продукцията с определен обем и номенклатура от машинните времена, определени по технологични съображения, организацията на работа в системата и особеностите при изпълнение на технологичния процес.

Представените графично резултати от аналитичното изследване на работата на ГПС нямат за цел да търсят максималната производителност, а само да покажат как влияят някои от основните фактори, оказващи влияние върху производителността на РТМ.

### III. Изводи

Съвместното действие на разгледаните фактори (машинни времена, начини за организация на работата и изпълнението на технологичния процес) оказва силно влияние върху производителността на ГПС и нейната ефективност като цяло. Организацията на работа в ГПС при надеждно оборудване и конкретно съчетание на машинни времена влияе върху наличието и големината на допълнителни загуби от чакане на обслужване на машините, което определя производителността и натоварването на техническите единици.



Фиг. 3. Време за изпълнение на зададената производствена програма от ГПС, случай 3

Направеният анализ на получените резултати показва достоверността на представените аналитични зависимости. Те може да се използват за прогнозиране стойностите на основни параметри на ГПС, като производителност, натоварване на оборудването, средно време за изработване на конкретна номенклатура и обем произведени изделия, в условията на определено серийно производство.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Caprihan R., S. Wadhwa, Impact of Routing Flexibility on the Performance of an FMS - A Simulation Study. Kluwer Academic Publishers, IJFMS, vol. 9, pp. 273–298, 1997.
- [2] Mishra R. S., D. K. Gayathri, A. K. Madan, Non-traditional optimization techniques of scheduling in FMS: A Review. International Journal of Research in Engineering and Innovation, Vol-3, Issue-2, pp. 157-164, 2019..
- [3] Ruiz R, J. A. Vázquez-Rodríguez, The hybrid flow shop scheduling problem. European Journal of Operational Research vol. 205, pp. 1–18, 2010.

- 
- [4] Chiu C., Y. Yih, A learning-based methodology for dynamic scheduling in distributed manufacturing systems. Publisher Taylor & Francis, International Journal of Production Research, vol. 33, issue 11, pp. 3217-3232, 2007.
- [5] ElMaraghy H. A., I. B. Abdallah, W. H. ElMaraghy, On-Line Simulation and Control in Manufacturing Systems. Annals of the CIRP Vol. 47, issue 1, 1998.
- [6] Afsari A., Investigating and Classifying the Applications of Flexible Manufacturing Systems in Customization. Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Volume 7, Issue 6, ISSN: 2278-1684, pp. 54-62, 2013.
- [7] Shouman M.A., G.M. Nawara, A.H. Reyad, A.M. El-sadek, The interactive process between some dispatching mechanisms and interrupted machine centers in FMSs. Journal of Materials Processing Technology vol. 107, pp. 466-477, 2000.
- [8] Костадинов Ч., Ив. Пеева, Сравнителен анализ на модели за аналитично прогнозиране на производителността на роботизирани технологични модули, XXVI МНТК „АДП-2017“, Созопол, 2017.
- [9] Костадинов Ч., Ив. Пеева, Влияние сценария обслуживания технологических машин в РТМ параллельного действия. Сп. Актуальная наука, № 3/2017, Волгоград, стр. 39-42, ISSN 2587-9022, 2017.

## FORECASTING PARAMETERS OF A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

Chavdar Kostadinov  
Dep. Communication and information systems  
Rakovski National Defence College  
Sofia, Bulgaria  
e-mail: ch.kostadinov@rncd.bg

Ivanka Peeva  
Dep. Manufacturing engineering  
University of Ruse  
Ruse, Bulgaria  
e-mail: ipeeva@uni-ruse.bg

**Abstract:** The article deals with problems related to forecasting the parameters of a flexible manufacturing system (FMS) that determine its efficiency. For example, several variants of FMS are presented, consisting of two robotic technological modules (RTM) built by two machines, serviced by one robot.



ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
Ani Boneva	161
Dimitre Kromichev	227, 233
Joanna Alexieva	167
Nina Valchkova	99, 104
Pancho Tomov	167
Plamen Raykov	99
Radostina Calovska	175
Roman Zahariev	99, 104
Stefan Biliderov	175
Tsvetina Tsakova	8
Vasil Tzvetkov	104
Veronika Ivanova	161
Ава Чикуртева	190
Атанас Велков	69
Борян Владимиров	94
Ванеса Чавушян	120
Ваня Георгиева	120, 134
Васил Стоименов	238
Венета Йосифова	219
Владимир Бояджиев	44, 48
Вълко Митев	63
Габриела Коцева	4, 18, 75, 134, 253
Галин Рашков	179
Галя Павлова	22
Генади Цветанов	52, 129
Давид Авишай	22
Денис Чикуртев	157, 190
Десислава Георгиева	13, 248
Димитър Карастоянов	210, 215, 223
Димитър Тотев	124
Емил Петров	146



ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
Ивайло Трифонов	151
Иван Златев	151
Иванка Пеева	263
Изабела Радкова	38
Илиян Илиев	60, 88
Йото Георгиев	79
Кирил Камбушев	142
Кирил Митев	63
Кирил Недялков	138
Красимир Терзиев	210
Красимира Стоилова	205
Кристиян Бонев	75
Лука Банкелли	13, 248
Любен Клочков	4, 18
Людмил Илиев	215
Мартин Камбушев	138, 171
Мартин Симеонов	171
Миглена Панева	56, 253
Милвина Терзиева	223
Милена Бисерова-Харалампиева	219
Мирослава Ненчева	52
Николай Петров	129
Николай Стоименов	4, 18
Пенко Митев	66
Петко Стоев	259
Петър Горанов	13, 248
Петър Панев	56, 253
Петър Хаджийски	60
Пламен Райков	146
Ренета Димитрова	69, 113, 238
Росен Петров	157





ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
Росица Райкова	146
Свилен Нейков	84, 195
Северин Хаджиев	52
Силвия Ангелова	146
Сисак Маркосян	243
Слав Димитров	69, 75, 94, 179, 238, 243
Снежана Николова	171
Станислав Йовков	200
Станислав Цолов	109, 113, 179
Стефан Василев	60, 88
Стефан Къртунов	27
Стилиян Николов	94, 113, 120
Татяна Андонова-Вакарелска	38
Тодор Стоилов	205, 215
Христо Шехтов	33
Христофор Рачев	243
Чавдар Костадинов	184, 263

## Организационният комитет благодари на нашите спонсори



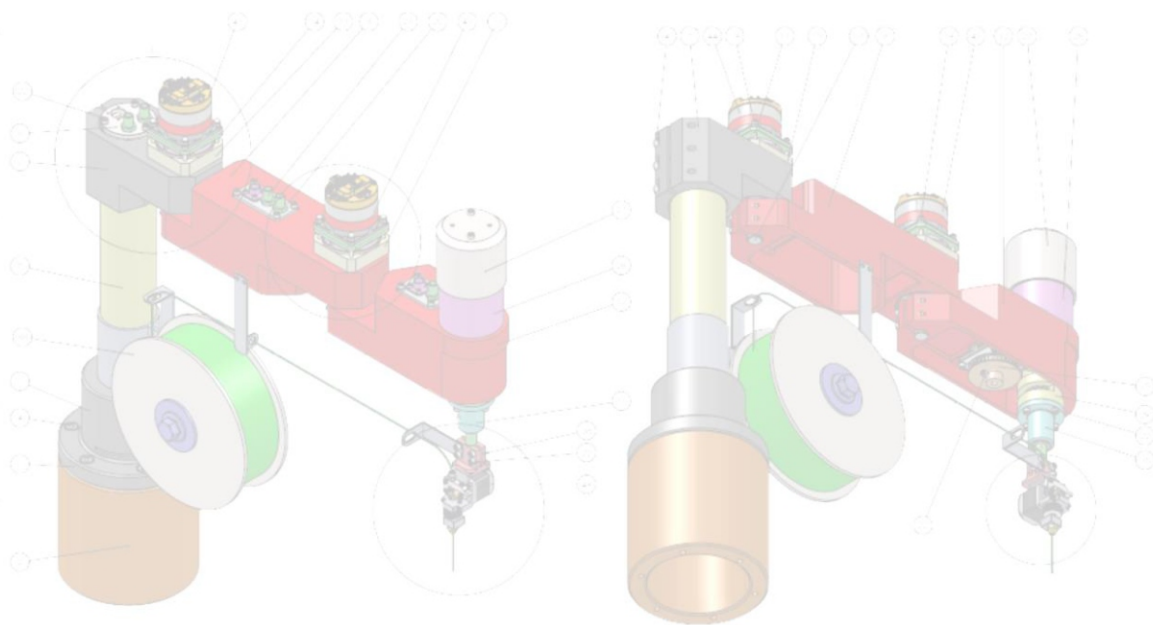
**Ванико ООД**  
България 2700 Благоевград, ул. "Черни връх" № 3  
<https://www.vaniko.com>



**КМС ИНЖЕНЕРИНГ ООД**  
България 4000 Пловдив, ул. Беласица № 59  
<http://kms-e.de>



**ЛогиСофт ЕООД**  
България 1700 София, ул. "Проф. Др. Димитър Добрев" 8А  
<https://logisoft.bg/bg>



№	Наименование	Кол-во	Единица измерения
1	Мотор	1	шт.
2	Грипер	1	шт.
3	Кабель	1	шт.
4	Кабель	1	шт.
5	Кабель	1	шт.
6	Кабель	1	шт.
7	Кабель	1	шт.
8	Кабель	1	шт.
9	Кабель	1	шт.
10	Кабель	1	шт.
11	Кабель	1	шт.
12	Кабель	1	шт.
13	Кабель	1	шт.
14	Кабель	1	шт.
15	Кабель	1	шт.
16	Кабель	1	шт.
17	Кабель	1	шт.
18	Кабель	1	шт.
19	Кабель	1	шт.
20	Кабель	1	шт.
21	Кабель	1	шт.
22	Кабель	1	шт.
23	Кабель	1	шт.
24	Кабель	1	шт.
25	Кабель	1	шт.
26	Кабель	1	шт.
27	Кабель	1	шт.
28	Кабель	1	шт.
29	Кабель	1	шт.
30	Кабель	1	шт.
31	Кабель	1	шт.
32	Кабель	1	шт.
33	Кабель	1	шт.
34	Кабель	1	шт.
35	Кабель	1	шт.
36	Кабель	1	шт.
37	Кабель	1	шт.
38	Кабель	1	шт.
39	Кабель	1	шт.
40	Кабель	1	шт.
41	Кабель	1	шт.
42	Кабель	1	шт.
43	Кабель	1	шт.
44	Кабель	1	шт.
45	Кабель	1	шт.
46	Кабель	1	шт.
47	Кабель	1	шт.
48	Кабель	1	шт.
49	Кабель	1	шт.
50	Кабель	1	шт.
51	Кабель	1	шт.
52	Кабель	1	шт.
53	Кабель	1	шт.
54	Кабель	1	шт.
55	Кабель	1	шт.
56	Кабель	1	шт.
57	Кабель	1	шт.
58	Кабель	1	шт.
59	Кабель	1	шт.
60	Кабель	1	шт.
61	Кабель	1	шт.
62	Кабель	1	шт.
63	Кабель	1	шт.
64	Кабель	1	шт.
65	Кабель	1	шт.
66	Кабель	1	шт.
67	Кабель	1	шт.
68	Кабель	1	шт.
69	Кабель	1	шт.
70	Кабель	1	шт.
71	Кабель	1	шт.
72	Кабель	1	шт.
73	Кабель	1	шт.
74	Кабель	1	шт.
75	Кабель	1	шт.
76	Кабель	1	шт.
77	Кабель	1	шт.
78	Кабель	1	шт.
79	Кабель	1	шт.
80	Кабель	1	шт.
81	Кабель	1	шт.
82	Кабель	1	шт.
83	Кабель	1	шт.
84	Кабель	1	шт.
85	Кабель	1	шт.
86	Кабель	1	шт.
87	Кабель	1	шт.
88	Кабель	1	шт.
89	Кабель	1	шт.
90	Кабель	1	шт.
91	Кабель	1	шт.
92	Кабель	1	шт.
93	Кабель	1	шт.
94	Кабель	1	шт.
95	Кабель	1	шт.
96	Кабель	1	шт.
97	Кабель	1	шт.
98	Кабель	1	шт.
99	Кабель	1	шт.
100	Кабель	1	шт.

