



АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Брой 5
юли 2023 г.

Издателство на ТУ-София

ISSN: 2682-9584



АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Брой 5 юли 2023 София

Редакционна колегия

Председател

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

Редактор

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

Членове

проф. д-р инж. Иво Малаков

проф. д-р инж. Пламен Петров

проф. д-р инж. Димчо Чакърски

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 5 July 2023 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 5
юли 2023 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 Никулич - НУ-Ниш

проф. д-р инж. Ненад Павлович – НУ-Ниш

проф. д-р инж. Виктор Гавриловски – СУ-Скопие

проф. д-р инж. Александър Марковски – БУ-Битоля

проф. 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 втората международна научно-техническа конференция „Автоматизация на дискретното производство” (АДП 2023) се провежда от 29 юни до 02 юли 2023 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 33 доклада от 57 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 – 3 бр.
2. Технологии и машини за автоматизираното дискретно производство – 2 бр.
3. Автоматизиране потока на детайлите – 1 бр.
4. Промислени работи и роботизирани комплекси – 6 бр.
5. Автоматизация на монтажа – 1 бр.
6. Мехатроника – 10 бр.
7. Системи за управление в дискретното производство – 5 бр.
8. Иновации и инженеринг на автоматизираното дискретно производство – 3 бр.
9. CAD/CAM/CAE системи и виртуално инженерство – 2 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, „ФЕСТО” ЕООД - София и „ЛогиСофт” ЕООД- София за финансовото подпомагане провеждането на конференцията.

Предпечатната подготовка на докладите от XXXII МНТК “Автоматизация на дискретното производство” (АДП 2023) 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

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

- С. Къртунов, Г. Цветанов, П. Рачев, ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЕТО НА ЗЕМЯТА ПРИ ВЪРТЕНЕТО И СПРЯМО СЛЪНЦЕТО И ПРОМЯНАТА НА СЛЪНЧЕВАТА СВЕТИЛИНАТА ВЪРХУ УРЕДИТЕ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВРЕМЕ. ЧАСОВНИЦИ И ЧАСОВНИКОВИ КУЛИ В ЮЖНОТО ПОЛУКЪЛБО 3
- В. Бояджиев, МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖДНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА СИСТЕМАТА ЗА АВТОМАТИЧНА СМЯНА НА ИНСТРУМЕНТА НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ 8
- В. Бояджиев, СРАВНИТЕЛЕН НАДЕЖДНОСТЕН АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОННА И МЕХАНИЧНА ЧАСТИ НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ 11

II. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 2 “ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНИ ЗА АВТОМАТИЗИРАНОТО ДИСКРЕТНО ПРОИЗВОДСТВО

- Г. Цветанов, С. Къртунов, Б. Георгиев, ОСНОВНИ КОНСТРУКТИВНИ РЕШЕНИЯ НА МАЛКОМОДУЛНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА ЗА УРЕДОСТОРОЕНЕТО 14
- Г. Цветанов, С. Къртунов, Б. Георгиев, КОМПЛЕКСНИ И ПОЕЛЕМЕНТНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ОЦЕНКА ТОЧНОСТТА НА МАЛКОМОДУЛНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА 17

III. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 3 “АВТОМАТИЗИРАНЕ ПОТОКА НА ДЕТАЙЛИТЕ”

- Р. Димитрова, С. Димитров, Б. Бахчеванов, А. Лазарова, И. Мицев, С. Цолов, ПРОЕКТИРАНЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА МЕХАТРОННА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА „КРИВАТА НА ГАУС“ 21

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

- С. Цолов, Р. Димитрова, С. Николов, РАЗРАБОТВАНЕ НА ОРИЕНТИРАЩ МОДУЛ ЗА ПАРАЛЕЛЕН ДЕЛТА РОБОТ 27
- R. Zahariev, N. Valchkova, P. Raykov, KINEMATIC ANALYSIS AND MODELING OF MOVEMENTS OF HEALTHCARE ASSISTANT ROBOTS 34
- V. Tsvetkov, N. Valchkova, R. Zahariev, A SERVICE ROBOT MODULE BASED ON 8-BIT MICROCONTROLLERS DESIGNED TO MEASURE A PATIENT'S TEMPERATURE 40
- V. Ivanova, A. Boneva, S. Ivanov, Y. Doshev, AN ECG MONITORING DEVICE FOR A MODULAR INSTRUMENT TO SURGICAL ROBOTS 44
- И. Пеева, Ч. Костадинов, ОТНОСНО ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ЕФЕКТИВНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА РОБОТИЗИРАНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МОДУЛИ 51
- Д. Авишай, Г. Павлова, ПРИЛАГАНЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ НА ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ В ТРЕТАТА АВТОМОБИЛНА РЕВОЛЮЦИЯ 56

V. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 5 “АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МОНТАЖА

- С. Къртунов, П. Рачев, Г. Цветанов, АВТОМАТИЗАЦИЯТА НА ПРОИЗВОДСТВОТО В ЧАСОВНИКАРСКАТА ПРОМИШЛЕННОСТ 62

VI. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 6 “МЕХАТРОНИКА”

- Е. Петров, П. Райков, НОВ ПРОЕКТ НА АКТИВНА ЛАКЪТНА ОРТЕЗА 68



S. Biliderov, R. Calovska, A. Genchev, SYNTHESIZE AND EXPLORE UNMANNED SYSTEMS OPERATING ENVIRONMENT.....	72
S. Biliderov, R. Calovska, A. Genchev, UNMANNED AIRCRAFT MISSION MODELING	78
G. Karlovski, A SYSTEM FOR QUICK-CHANGE TOOL MOUNTING.....	82
Г. Карловски, ПРИЛОЖЕНИЕ ЗА БЪРЗОСМЕННИ ДЪРЖАЧИ, КАТО НАЧИН ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЗАГОТОВКИ С CNC МАШИНА	86
Д. Илиева, К. Камбушев, М. Камбушев, МОДЕЛ НА АТМОСФЕРАТА В УРБАНИЗИРАН РАЙОН	91
К. Камбушев, Д. Илиева, МОДЕЛИРАНЕ НА ТУРБУЛЕНТНОСТ ПРИ ПОЛЕТ НА БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ.....	96
Г. Цветанов, Н. Петров, ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ПРИ КОНСТРУИРАНЕ НА МЕХАТРОННИ МОДУЛИ И СИСТЕМИ	101
Н. Петров, Г. Цветанов, ЗАДВИЖВАНЕ НА МЕХАТРОННИ МОДУЛИ С ПРОМЕНЛИВА СКОРОСТ НА ВХОДЯЩИЯТ ВАЛ.....	105
Т. Андонова-Вакарелска, И. Радкова, ИЗРАБОТВАНЕ НА ЛАБОРАТОРНА МЕХАТРОННА УСТАНОВКА ЗА ПОЗИЦИОНИРАНЕ ПРИ ПРОХОДНИ ОПЕРАЦИИ НА ДЪРВООБРАБОТВАЩИ МАШИНИ.....	109

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

С. Димитров, Р. Димитрова, Б. Бахчеванов, А. Лазарова, И. Мицев, С. Цолов, ПРОЕКТИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКО УПРАВЛЕНИЕ, ПНЕВМАТИЧНА СИСТЕМА И ПРОГРАМЕН КОД НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА МЕХАТРОННА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА „КРИВАТА НА ГАУС“	113
С. Димитров, Д. Василев, ПРОГРАМИРАНЕ НА „PICK-AND-PLACE“ УСТОЙСТВО ЗА ОТВЕЖДАНЕ НА СГЛОБЕНИ ЕДИНИЦИ ОТ АВТОМАТИЧНА ЛИНИЯ	118
Д. Тотев, ОСНОВНИ ВИДОВЕ КОМУНИКАЦИИ И КОМУНИКАЦИОННИ ПРОТОКОЛИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ИНТЕГРАЦИЯ НА СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМИ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ И ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА КОНЦЕПЦИЯ „ИНДУСТРИЯ 4.0“	124

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

K. Chernyakova, I. Vrublevsky, N. Lushpa, M. Bunevich, THERMAL AND ELECTRICAL MODES OF OPERATION OF AN INDUSTRIAL ELECTRIC CONVECTOR HEATER WITH A CARBON FILAMENT RESISTIVE ELEMENT ...	128
E. Antonova, D. Minkovska, O. Nakov, EMOTIONAL & MENTAL HEALTH IN ACADEMIC PERFORMANCE	131
E. Antonova, P. Minkovska, INFLUENCE OF TEST-TAKING METHODS ON STUDENTS’ SUCCESS RATE UNDER PRACTICAL CONDITIONS.....	135
Г. Коцева, М. Томова, М. Цветкова-Арсова, Н. Стоименов, ОБЗОР И АНАЛИЗ ЗА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА БРАЙЛОВОТО ПИСМО ЗА НЕЗРЯЩИ.....	138
В. Миленов, П. Томов, М. Митова, Д. Димов, ИНОВАЦИОНЕН ЕВРОПЕЙСКИ ТЕХНОЛОГИЧЕН УНИВЕРСИТЕТ INNO EU+	143

IX. ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 9 “CAD/CAM СИСТЕМИ”

М. Топалова, М. Хаджиева, МОДЕЛИРАНЕ НА СТРУКТУРАТА НА МНОГООПЕРАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МАШИНИ, ИЗГРАЖДАНИ НА МОДУЛЕН ПРИНЦИП.....	146
Г. Коцева, Н. Стоименов, Л. Клочков, ТРИБОЛОГИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ФИЛАМЕНТИ ОТПЕЧАТАНИ ЧРЕЗ 3D ПЕЧАТ АНАЛИЗ.....	150

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЕТО НА ЗЕМЯТА ПРИ ВЪРТЕНЕТО И СПРЯМО СЛЪНЦЕТО И ПРОМЯНАТА НА СЛЪНЧЕВАТА СВЕТЛИНАТА ВЪРХУ УРЕДИТЕ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ВРЕМЕ. ЧАСОВНИЦИ И ЧАСОВНИКОВИ КУЛИ В ЮЖНОТО ПОЛУКЪЛБО

Стефан Къртунов
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: skartunov@abv.bg

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

Петър Рачев
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: ra4ev_petar@abv.bg

Резюме: В доклада се разглежда влиянието на положението на Земята и промяната на светлината върху уредите за измерване на време, но в Южното полукълбо, защото масово възприемането у хората е от гледна точка на Северното полукълбо. Представени са факторите, които влияят върху уредите за време. Посочени са примери в потвърждение на направените заключения. Разгледани са слънчеви и механични часовници.

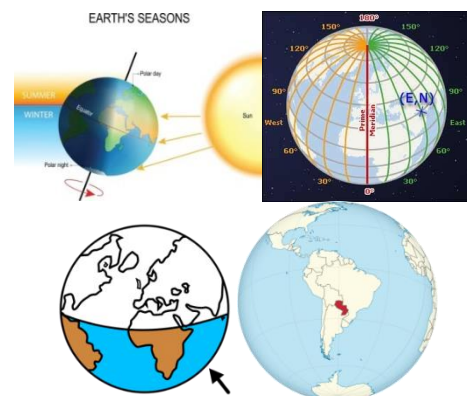
Ключови думи: положение на Земята спрямо Слънцето, часовници в Южното полукълбо

I. ВЪВЕДЕНИЕ

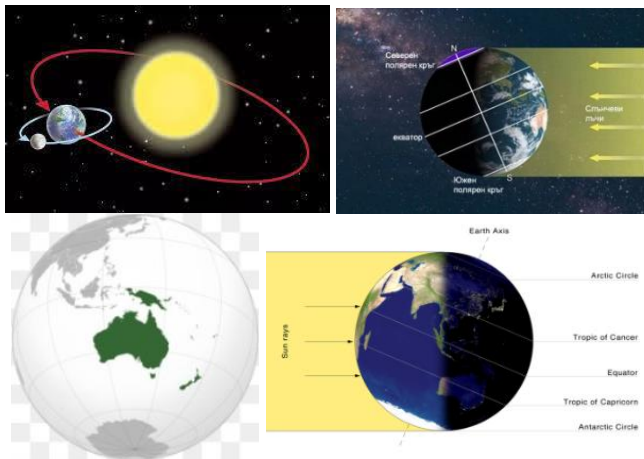
Слънцестоеенето, в съвременен смисъл положение спрямо Слънцето, е астрономическо понятие, означаващо определено положение на Слънцето по неговия видим път върху небесната сфера. Най-често понятието се отнася само за две от положенията на Слънцето - т.нар. зимно слънцестоене и лятно слънцестоене. Зимното слънцестоене се празнува през цялата човешка история в Северното полукълбо. Римляните са празнували Сатурналиите, германските и скандинавските народи - Юл, славяните честват Коледа, българите - Игнажден. За да привлекат езичниците към тяхната вяра, християните при колонизирането добавят религиозно значение към традиционните празници. Много коледни обичаи като коледна елха, са пряко свързани и пренесени с честването на слънцестоенето. В Южното полукълбо специално на 21-22 юни денят е най-къс, нощта е най-дълга и е налице най-кратко слънцестоене. Слънцето е над тропика на Козирога, в северното полукълбо се наблюдава зимно слънцестоене, а в южното - лятно. По време на слънцестоенето през декември слънчевите лъчи падат в най-южната си точка - на ширина 23.44° на юг, географска ширина на Тропика на Козирога. Наклонът на оста на Земята влияе на това колко слънчева светлина попада върху всяко едно от полукълбата ѝ. Без пълен коментар на всички известни фактори като надморска височина и азимут, само ще кажа, че за едно и също определено местоположение на Земята промяната на слънчевата светлина не е постоянна и през годината количеството слънчева светлина, попадащо върху

Северното и Южното полукълбо, се променя и пряката светлина попада под прав ъгъл в зоната в Южното полукълбо до около $23,50$ Южна ширина или град Асонсион, Парагвай (фиг. 1, 2). Затова се дава пример с този град, който най-основателно би имал право да претендира за смяна посоката на въртене, но часовниците или поне фасадните такива в страната са с дясна посока. Другият град е Маями, САЩ, който ще попадне във „фокуса“ спрямо Слънцето когато се сменят Лятото и Зимата, но той е на Север от Екватора.

Казаното по-горе отчитат Екваториалните слънчеви часовници. Те са часовници с полярен гномон под формата на ос, разположена на циферблата, чиято равнина е успоредна на равнината на екватора. Циферблатът е разделен на 24 равни части. Сянката от гномона се движи по равнината с постоянна скорост, равна на 15 градуса в час. С правилната инсталация (ъгълът на наклона на гномона трябва да бъде равен на географската ширина на терена), този слънчев часовник е универсален. Тъй като Слънцето се намира под екваториалната равнина през зимата, времето трябва да се отчита от задната страна на циферблата през зимата. Маркерите за час на гърба на циферблата са номерирани обратно на часовниковата стрелка. Часовниците тип Армиларна сфера, подходящи за тази част, показват времето на един и същи циферблат.



Фиг. 1. Схема на положение на Земята и промяната на слънчевата светлина в Южното полукълбо за Южна Америка през Зимата



Фиг. 2. Схема на положение на Земята и промяната на слънчевата светлина в Южното полукълбо за Австралия, Папуа-Нова Гвинея и Нова Зеландия през Лятото



Фиг. 3. Екваториални слънчеви часовници

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

Посоката на часовниковата стрелка на механичните часовници не е просто съвпадение или приумица, а наложена закономерност от свързани помежду си фактори. Тези фактори може да се разделят на две: обективни и субективни. Към обективните или даденостите спадат положението на Земята при въртенето ѝ спрямо Слънцето, Южното полукълбо има много по-малко земя и много повече вода от Северното полукълбо и следствията от всичко това. Към субективните се числят: откритията са от северняци, изборът на вида часовник и предназначението му, фирмени стратегии на производителите, въведените норми и стандарти като часови пояси, зони, представата за слънцестоене и уредите за време предимно от гледна точка на Северното полукълбо и т.н. Часовниците и часовниковите кули в Южното полукълбо се характеризират определящо с географското си положение спрямо Слънцето. Основен белег при механичните часовници е посоката на движение, която по аналогия на движението на сянката при слънчевите часовници в тази част на Земята трябва да е на ляво или обратно на тази в Северното полукълбо (Северо-изток, Юго-запад), но тя е на дясно или както е традиционно за останалия свят. Това е така, защото съвременните часовници в Южното полукълбо преди всичко са измислени, донесени, монтирани и наложени от колонизатори, мисионери, преселници и предприемачи - северняци много преди да се появят модерните електронни, интелигентни и комбинирани часовници, при които този проблем има слабо или никакво влияние.

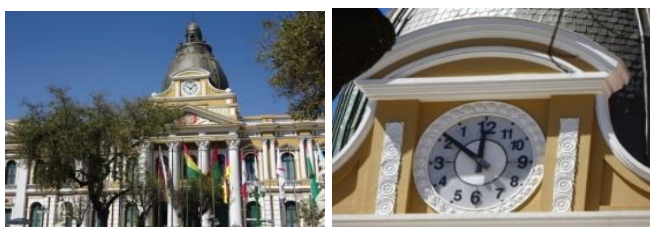
Първите конструктори на механични часовници са живели в Северното полукълбо, дали в Япония, Китай, Германия, Швейцария, Англия или другаде, все северно от Тропика на Рака. Нещата допират също до отразяване на фазите на Луната, затъмненията, ориентирането и най-вече до маркетингова стратегия на големите групировки от фирми, производителки на часовници, преобладаващо намиращи се в Северното полукълбо. Пощенска марка, неслучайно емисия Въздушна поща (фиг. 4), за ориентиране по часовника в Южното полукълбо въвежда република Габон още през 1967 г. Тя граничи с екваториална Гвинея, но както и от другите Екваториални страни не са известни марки за ориентиране по часовници. Във връзка с темата е необходимо да се знае, че при ориентирането с часовник се отчита кулминацията на Слънцето, която е в 13 ч. ± 15 минути през лятото и в 12 ч. през зимата и то сочи посоката Юг. През останалите часове от деня Юг може да се намери, като се насочи мал-ката (часовата) стрелка на точен часовник с циферблат към Слънцето. Ъглополовяща-та между ориентираната към Слънцето малка стрелка и мислената линия, прекарана през 1 часа сочи на Юг. На Южното полукълбо така построената ъглополовяща сочи на Север. Що се отнася до ориентирането, при наличността на съвременните GPS-системи то не би трябвало да е част от проблема. Затова пък космонавтите от СССР и САЩ бяха в Космоса с часовници на фирмите Фосил и Омега, а покорителят на Еверест Е. Хилари - с Ролекс, при които стрелките се въртят надясно. Някои фирми произвеждат сложни турбийони със скелетизирана механична система и куполообразни модули или скали върху основата на механизма за отбягване на проблема с посоката на въртене (н-р Bovet Récital 26 Brainstorm) и часовници, показващи едно-временно няколко или всички времеви пояси на света на различни места, защото нали се сещате какво объркване ще стане при пилоти, подводничари, водолази и други специфични професии. Въпреки всичко, има страни, общини и хора, които виждат в проблема нарушаване на тяхната независимост и национална иден-тичност, дори световния ред и държат посоката да съответства на „правилната“ според тях за региона и местонахождение. Ярък пример в това отношение е Боливия, където часовникът на конгреса се движи обратно или наляво. Часовете върху бронзовия часовник също са изписани в обратна посока, така че стрелките показват точно текущото време (фиг.5). В Южното полукълбо, на Юг от Тропика на Козирога, през деня Слънцето се движи по небето в "обратна" посока-Запад, Север, Изток. Ако в Боливия сте с лице към Слънцето по обед, ще сте обърнати на Север. Боливийските управници, според които е логично в Южното полукълбо часовникът да е обратен на този в Северното и по-скоро да покажат, че не желаят да се съобразяват с порядките на западния свят/колонизаторите/, а да отстояват своите собствени интереси. Тази претенция обаче не е навсякъде, дори да е естравагантна, огледална и нелогична, което е целта да се докаже. В другите държави от Южна Америка положението е следното: Възпоминателна пощенска марка от 2011г. показва сградата, собственост на департамента Norte de Santander, където работи Културният дом Eduardo Cote Lemus в Колумбия.

Часовникът е внос от Генуа, Италия и естествено се движи надясно. В серията „7 чудеса на Гуаяквил“, най-населеният град в Еквадор, също възпоминателна марка показва часовниковата кула – ношен изглед специално на флуоресцираща хартия. Часовниковата многофункционална кула Guayaquil се намира на известния град Малесон 2000, който се простира по протежение на река Гуайя на 1,5 мили-най-голямото пристанище на Еквадор и изходна точка към островите Галапагос (фиг. 4).

По-малки страни и в недалечното минало колониални държави и острови от Южното полукълбо също имат интересни представители на корабни часовници, кули и т.н., но всички те са с традиционен начин на работа. Часовни-ковата кула в столицата Виктория на Сейшелските острови, показана на окончателна марка от 1962 г. с кралица Елизабет II по случай нейното коронясване, доказва това. Построена е през 1903 г. като копие на кула от Лондон. През 1984 г. пощата на остров Св. Елена валидира възпоминателна марка за 100 год. Армия на спасението с часовниковата кула в Джеймстаун. Въпреки, че не е от разглежданото полукълбо, в този стил е и окончателната марка от 1983 г. от остров Олдърни, част от групата Нормандски острови, разположени в Ла Манша, със старата часовникова кула в град Св. Ана (фиг. 6).



Фиг. 4. Марка от Габон, ориентиране по часовник, кулите в Колумбия и Еквадор [1]



Фиг. 5. Часовникът на площад Мурийо в Ла Пас (Боливия)[2]

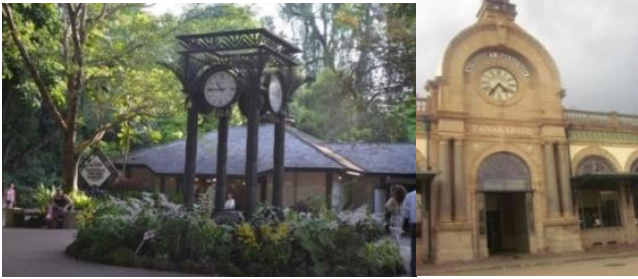


Фиг. 6. Час. кули на Сейшелите, Св. Елена и Олдърни[1]

Соломоновите острови са островна държава в южния Тихия океан, разположена на изток от Папуа-Нова Гвинея. Тя е част от Британската общност. През 1973 г. издават възпоминателна марка от серия за кораби и навигатори с пясъчен часовник за кораби от 17 век и хронометър от 1761 г. Връзката с корабния часовник на Джон Харисън е очевидна. За 200 години от известния бунт на кораба Баунти, създадено ново население, през 1989 г. Тихоокеанската държава Тонга издава възпоминателна марка с хронометъра на кораба, най-вероятно разработка от Т. Ърншоу. Хронометърът от Баунти е сюжет и на възпоминателна марка за 1990 г. и 50 год. от първите марки от островите Питкърн. Разположени са в центъра на южната част на Тихия океан, населени са слабо и пряко са свързани с бунта. По случай 500 год. от откриването на Америка през 1992 г. в Уганда е издадена възпоминателна марка, показваща пясъчен часовник на кораб (фиг. 7).



Фиг. 7. Часовници от Соломоновите и Тонга острови. Уганда [1]



Фиг. 8. Часовници с дясна посока на движение в Сингапур и Мадагаскар [2]



Фиг. 9. Часовници от Австралия [2]



Фиг. 10. Цветен часовник от Чили [2]

На фиг. 8. е показан часовник от националната градина на Сингапур, град-държава която се намира почти на Екватора и часовникът от гарата в Антананариво, Мадагаскар. Гаровите часовници от Австралия с девизът „Времето побеждава всичко“ също потвърждават тезата от цял един континент (фиг. 9). Дори цветният часовник във Виня дел Мар, Чили се върти традиционно (фиг.10). Изследователската база „Свети Климент Охридски“ е българско научно съоръжениена остров Ливингстън, частот антарктическият архипелаг Южни Шетландски остро-ви. Тя, както и другите бази точно на Антарктида, са оборудвани с часовници, които имат традиционен начин на движение. Ситуацията би била обратна, ако часовниците са произлезли от Южното полукълбо, защото слънчевите часовници показват там сенки, движещи се в противоположна посока.

За потвърждение на тезата се представят и доказателства от Северното полукълбо, където всичките часовници са традиционни (фиг. 11). Окончателна марка от 2011 г. за 1 година независимост представя часовникът във Филипсбург на остров Сент Мартин, Карибите (не случайно от зоната на Маями). Има характерен печат А3, не е указан номиналът, но той е 115 с, защото островът е разделен от Нидерландия и Франция. До нея е часовникът от централна гара Банг Суе в Тайланд, издадена на 23.12.2021 по случай откриването ѝ в тираж 125000 бр. Събитието е отбелязано и с възпоминателен лист в 10 пъти по-малък тираж. Най-голямата часовникова кула във Филипините, проектирана от Антонио Толедо, е открита през 1930 год. на миналия век. Разрушена е по време на Втората световна война и възстановена през 1946 г. Възпоминателна марка по случай 450 години град Манила от 2021 г. напомня за това. Накрая Антигуа и Барбуда, часовник на гарата Болтон, част от мини лист 2004г.

Съществуват и часовници в различни комбинации, на които циферблатът е обърнат и 12-ят час се намира най-отдолу, обратно въртящи се огледални часовници, обратен античен часовник (имитация) с цифри, разположени в обратен ред и т.н. Идеята е като при слънчевите часовници в Южното полукълбо Северът да се намира отдолу, по-добър контраст през нощта и всякакви оригинални трикове. При провеждане на психични тестове и по лично мнение обаче се получава объркване (фиг. 12). А изключението за потвърждаване правилото за движение на дясно са сувенирните часовници от Габрово, свързани с хумора и сатирата, които се движат на обратно. Могат да се цитират и други „огледални“ часовници, уникални или рекламни часовници, но те така или иначе не са официал-ни и за обществено ползване. Така, че който не е съгласен да си купи часовник, който работи на обратно. Но времето на обратно няма да върне!



Фиг. 11. Часовници от Северното полукълбо [1]



Фиг. 12. Часовници с посока на движение на обратно

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посоката на часовниковата стрелка на механичните часовници не е просто съвпадение или приумица, а наложена закономерност от свързани помежду си обективни и субективни фактори. За потвърждение на тезата са представени примери от Северното и Южно полукълба на Земята. Съществуват и часовници в различни комбинации, на които циферблатът е обърнат и 12-ят час се намира най-отдолу, обратно въртящи се огледални часовници, обратни часовници с цифри, разположени в обратен ред и други. Основният белег – посоката на движение на дясно си остава традиционна и основна за Света. При електронните, интелигентни и комбинирани часовници този проблем има слабо или никакво влияние.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] colnect.com/bg/stamps/clocks
- [2] <https://magelanci.com/forums/topic/9097-clocks-around-the-world/>

EFFECT OF THE POSITION OF THE EARTH IN ITS ROTATION WITH RESPECT TO THE SUN AND THE CHANGE OF SUNLIGHT ON INSTRUMENTS FOR MEASURING TIME. CLOCKS AND CLOCK TOWERS IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

Stefan Kartunov
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
e-mail: skartunov@abv.bg

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

Petar Rachev
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
e-mail: ra4ev_petar@abv.bg

Abstract: The paper examines the influence of the position of the Earth and the change of light on timekeeping instruments, but in the Southern Hemisphere, because the mass perception in humans is from the perspective of the Northern Hemisphere. The factors that affect timing devices are presented. Examples are given in confirmation of the conclusions made.

МОДЕЛИРАНЕ ЧРЕЗ ГРАФ НА НАДЕЖДНОСТНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА СИСТЕМАТА ЗА АВТОМАТИЧНА СМЯНА НА ИНСТРУМЕНТА НА СЛОЖЕН ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТ

Владимир Бояджиев
ВТУ „Тодор Каблешков”
София, България
e-mail: vboyadjiev@vtu.bg

Резюме: Надеждностното моделиране е съществен момент от процеса на изследване на експлоатационната надеждност и работната ефективност на сложните технически системи. Настоящият доклад е посветен на изследването на възможностите на теорията на графите в процеса на надеждностно моделиране. По-специално обект на изследването е системата за автоматична смяна на инструмента. Моделирането ще бъде извършено с оглед синтезираният модел да може да бъде вграден в общия надеждностен модел на целия сложен технически обект.

Ключови думи: експлоатационна надеждност, моделиране, сложен технически обект, граф, автоматична смяна на инструмента

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Един всеобхватен модел на експлоатационната надеждност и работната ефективност е добре познат проблем, който освен с обективната си трудност на създаване се характеризира и със значителната си полезност при изследването на надеждностните процеси в сложните технически обекти. Значителната трудност при това моделиране произтича от голямото разнообразие на механизмите на възникване на отказите в зависимост от тяхната физика. Основната полза от такова моделиране следва от обхвата на всички откази в цялото им разнообразие в един модел, при което се дава възможност за установяване на взаимовръзките между тези откази.

Поради гореспоменатата трудност при надеждностното моделиране обикновено се подхожда типично по инженерно му – прави се компромис (компромиси). Компромисите могат да бъдат от различно естество. Често се прибегва до формално математическо моделиране без да се отчита физиката на отказите [5]. Може да се изследва само обособена част от сложния технически обект. Може да се моделира само определен набор от надеждностни процеси. Обект на изследване може да бъде ограничен брой надеждностни показатели, например коефициента на техническа готовност [2]. Или само даден брой надеждностни характеристики. В други случаи се моделира конкретен сложен технически обект, например електроразпределителна мрежа [3, 4] или софтуер [1]. Също така от тези разнородни компромиси може да бъдат създадени различни комбинации.

Разбира се, пряко следствие от допускането на такива компромиси е ограничеността на формирания модел.

В настоящия доклад се изследват възможностите за синтезиране на цялостен модел на експлоатационната надеждност и работната ефективност на типичен сложен технически обект, а именно стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление. За целта ще използваме възможностите на теорията на графите.

II. МЕТОДИЧНИ ОСОБЕНОСТИ

Изграждането на обобщен надеждностен модел на сложен технически обект е задача, чието решение излиза далеч извън пределите на един доклад. Поради това в процеса на изграждане на този модел ще бъде направен временен компромис. Ще бъде синтезиран модел на обособена част от обекта – една негова комплектуваща система. Този частичен модел ще бъде фрагмент от обобщения модел. След съставянето на частични надеждностни модели и на останалите комплектуващи системи на обекта, те ще бъдат обединени в окончателния цялостен надеждностен модел.

Като типичен представител на сложните технически обекти е изследвана стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление. По-конкретно обект на настоящето изследване е комплектуващата система „автоматична смяна на инструмента”. Обхванати са три машини малък типоразмер, родно производство. Периодът на наблюдавана експлоатация, по време на който са отчитани данните за експлоатационните откази, обхваща 1300 – 1400 часа работно време.

За да пристъпим към моделирането, ще дефинираме граф чрез неговите върхове и ребра. За върхове ще определим комплектуващите системи на сложния технически обект. Това ще бъде множеството VАСИ. Индексът АСИ показва, че това множество се отнася до комплектуващата система „Автоматична смяна на инструмента”. За ребра на графа ще вземем факторите и процесите, влияещи на надеждностното поведение на изследвания обект. Това ще бъде множеството ЕАСИ. Така дефинираме графа GАСИ(VАСИ, ЕАСИ), който тепърва ще конкретизираме. Преди да пристъпим към непосредствената конкретизация, нека сепарираме споменатите фактори и процеси на три групи:

- които са обусловени от външни за целия сложен технически обект (т.е. дължащи се на околната среда, включително човека);

- които са обусловени от взаимното влияние с останалите комплектуващи системи. Тези фактори и процеси образуват две подмножества:
 - дължащи се на влиянието на останалите комплектуващи системи върху разглежданата такава;
 - дължащи се на влиянието на разглежданата комплектуваща система върху другите такива;
- които са обусловени от вътрешни за разглежданата комплектуваща система фактори и процеси.

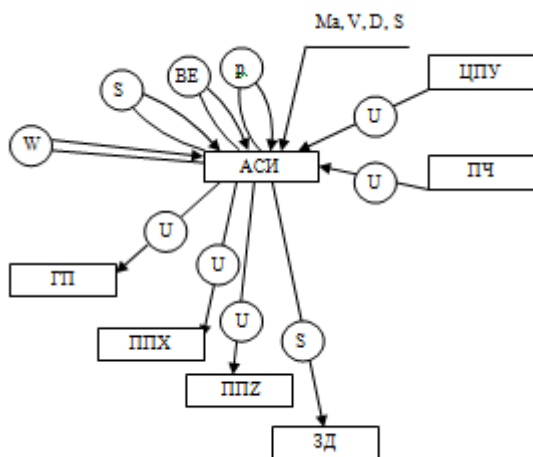
Конкретизацията на множеството VАСИ извършваме непосредствено – не е необходима допълнителна обработка.

За конкретизацията на множеството EАСИ се налага да направим допълнителна подготовка. Тя се изразява в отнасянето на всеки регистриран отказ към някой от елементите на това множество. Сега вече сме готови да пристъпим към построяване на графа GАСИ(VАСИ, EАСИ).

Съхранявайте текстовата и графичната част в отделни файлове, преди да форматирате текста според шаблона. Не номерирайте, страниците на доклада, ние ще го направи вместо вас.

III. ПЪРВОНАЧАЛНА КОНКРЕТИЗАЦИЯ НА ГРАФА GАСИ(VАСИ, EАСИ)

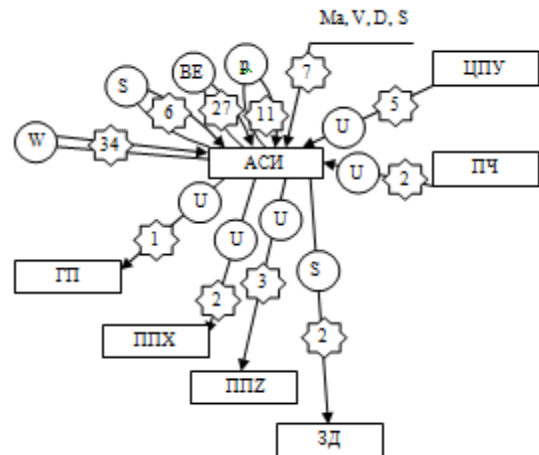
На базата на натрупаната статистическа информация за възникналите експлоатационни откази извършваме конкретизацията на двете множества - VАСИ и EАСИ. Резултатът е показан на фигура 1, като приемаме следните означения:



Фиг. 1. Начален вид на графа GАСИ(VАСИ, EАСИ)

- АСИ – автоматична смяна на инструмента;
- ЦПУ – цифрово програмно управление;
- ПЧ – припасваща част;
- ГП – главен превод;

- ППХ – подавателен превод по ос X;
- ППЗ – подавателен превод по ос z;
- ЗД – затягане на детайла;
- U- влияние на параметрите на електрическия ток;
- Ma – влияние на човешкия фактор;



Фиг. 2. Втора итерационна конкретизация на графа GАСИ(VАСИ, EАСИ) с тегловните коефициенти на всеки фактор и процес, отнасящи се до комплектуващата система „Автоматична смяна на инструмента”

- V – влияние на вибрациите;
- D – влияние на прах;
- S – влияние на механични натоварвания;
- p – влияние на параметрите на хидропневматичното налягане;
- BE – влияние на нискокачествена елементна база;
- W – влияние на износването.

IV. ВТОРА ИТЕРАЦИОННА КОНКРЕТИЗАЦИЯ НА ГРАФА GАСИ(VАСИ, EАСИ)

Показаният на фигура 1 граф GАСИ(VАСИ, EАСИ) е представен във възможно най-общия си вид. В зависимост от поставените цели графът може да бъде конкретизиран. За илюстрация на тези възможности нека определим тегловните коефициенти на всяко ребро на графа, т.е. за всеки фактор и процес. Тук също има различни възможности в зависимост от поставените цели, произтичащи от различната дименсия на тези коефициенти. За целите на настоящето изследване е избрана дименсията „процент” – това е относителният дял (в проценти) на броя откази, обусловени от конкретния фактор и процес спрямо общия брой откази. Така конкретизираните тегловни коефициенти са отразени на фигура 2.

V. Изводи

- Синтезиран е модел на експлоатационната надеждност и работната ефективност на комплектуващата система „Автоматична смяна на инструмента” на типичен сложен технически

обект – стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление.

- Този надежден модел е реализиран на основата на теорията на графите.
- Изграденият модел дава възможност за вграждането му в цялостния надежден модел на сложния технически обект.
- Реализираният модел дава възможност за изследване на взаимовръзките между факторите и процесите, лимитиращи надеждността на изследваните обекти.
- Предложеният подход за моделиране дава възможност за мащабиране както по отношение на йерархичната структура на обектите, така и по отношение характеристиките на тези фактори и процеси.

- [4] Saida Karmich, El Mostafa Ziani, Jamal Bouchnaif; Evaluating national electric grid reliability by 2030 using the Barabási-Albert network model; *Materials Today: Proceedings*; Volume 72, Part 7, 2023, Pages 3238-3243; ISSN: 2214-7853, Copyright © 2023 Elsevier Ltd.;
- [5] Senthil Kumar; Chapter 1 - Reliability modeling; *Reliability and Probabilistic Safety Assessment in Multi-Unit Nuclear Power Plants*, 2023, Pages 1-36; ISBN 978-0-12-819392-1; Copyright © 2023 Elsevier Inc.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chun Yong Chong, Sai Peck Lee; Analyzing maintainability and reliability of object-oriented software using weighted complex network; *Journal of Systems and Software*; Volume 110, December 2015, Pages 28-53; ISSN: 0164-1212; Copyright © 2023 Elsevier Inc.;
- [2] Joanna Szkutnik-Rogoż, Jerzy Małachowski, Jarosław Ziolkowski; An innovative computational algorithm for modelling technical readiness coefficient: A case study in automotive industry; *Computers & Industrial Engineering*; Volume 176, February 2023, 108942; ISSN: 0360-8352; Copyright © 2023 Elsevier Ltd.;
- [3] R. Sireesha, C. Srinivasa Rao, M. Vijay Kumar; Graph theory based transformation of existing Distribution network into clusters of multiple micro-grids for reliability enhancement; *Materials Today: Proceedings*; Volume 76, Part 3, 2023, Online ISSN: 2214-7853, Copyright © 2023 Elsevier Ltd.;

GRAPH MODELING OF THE RELIABILITY BEHAVIOR OF THE AUTOMATIC TOOL CHANGE SYSTEM OF A COMPLEX TECHNICAL OBJECT

Vladimir Boyadzhiev
"Todor Kableshkov" Higher School of
Transport
Sifia, Bulgaria
e-mail: vboyadjiev@vtu.bg

Abstract: Reliability modeling is an essential moment of the process of researching operational reliability and operational efficiency of complex technical systems. This paper is dedicated to exploring the possibilities of graph theory in the reliability modeling process. In particular, the object of the research is the automatic tool change system. The modeling will be done with the view that the synthesized model can be embedded in the general reliability model of the entire complex technical object.

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

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

Резюме: В доклада е разгледана модернизацията на две обособени части от сложен технически обект и е направен сравнителен анализ на надеждностните им показатели. По-конкретно обекти на изследването са електронната и механичната части на стругова металорежеща машина с цифрово-програмно управление. В резултат са формирани изводи относно разглежданите варианти за модернизация със съответните препоръки.

Ключови думи: *надеждност, модернизация, сложен технически обект, електронна част, механична част, сравнителен анализ.*

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Модернизацията е съществен способ за осъвременяване на производственото оборудване. В съвременните ни условия у нас една не малка част от това оборудване е в значителна степен морално и физически амортизирано и не е в състояние да отговори на изискванията по отношение на качеството на произвежданата продукция. А закупуването на ново оборудване не винаги е препоръчително поради необходимостта от значителни инвестиции. Пред модернизацията могат да бъдат поставяни различни цели за постигане, например подобряване на ергономията [1]. Често се изследва модернизацията на конкретна техническа система, без да се сравнява с алтернативни варианти [3, 4, 5]. Значителна част от показателите за качеството на тази продукция се отнасят до експлоатационната ѝ надеждност и работната ѝ ефективност. Най-опростено е изследването на влиянието на един надеждностен фактор, в случая – човешкия [2]. Модернизацията на един сложен технически обект може да бъде извършена в различен обхват по отношение на хоризонталната и вертикална структура на обекта. Поради това е важно да имаме на разположение различни варианти на модернизация на един обект, които да сравняваме. Изводите, които следват от такова сравнение са основа за вземане на рационални управленски решения при избора на вариант за модернизация.

В рамките на настоящето изследване основен интерес представляват надеждностните показатели на изследваните обекти, а от там – и показателите за работната им ефективност. По-конкретно са разгледани показателите за експлоатационна надеждност на електронната и механичната части на типичен сложен

технически обект – стругова металорежеща машина с цифрово програмно управление.

Целта на това изследване можем да формулираме така: въз основа на сравнителен анализ на експлоатационната надеждност и работната ефективност пре два варианта на модернизация на електронната, респективно механичната части на конкретен сложен технически обект да бъдат изведени препоръки относно предимствата и недостатъците на тези два варианта. По възможност да бъде препоръчан един от тях като по-ефективен от другия с оглед извършване на бъдещи модернизации.

II. МЕТОДИЧНИ ОСОБЕНОСТИ

Конкретен обект на настоящето изследване са две стругови металорежещи машини с цифрово-програмно управление. Това са типични сложни технически обекти с електронна, електрическа, механична и хидропневматична части. И двете машини родно производство, малък типоразмер и са от един и същи модел. Нека условно наречем едната машина „А”, а другата машина „Б”. При машина А е извършена модернизация на електронната част, а при другата машина Б – модернизация на механичната част. При всяка от двете машини е изследвано нивото на експлоатационната надеждност преди и след модернизацията. Целта е да бъде регистрирана промяната (ефектът) от модернизацията. Първоначално е уточнен набор от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност, който по възможност най-пълно да характеризира обектите. Да отбележим, че при всеки сложен технически обект този набор в общия случай е различен. В условията на реална експлоатация на двете машини А и Б е събрана статистическа информация за възникващите откази преди и след съответната модернизация. За всяка от двете машини всеки от периодите преди и след модернизацията обхваща около 1200 – 1500 часа работно време.

За изследваните стругови металорежещи машини е избран следният набор от показатели:

- средна отработка между отказите - \bar{T} , часа;
- средно време за възстановяване на работоспособността - \bar{T}_B , часа;

- средно време за престои поради откази - $\bar{T}_{\text{пр.о}}$, часа;
- коэффициент на използване по предназначение

$$K_{\text{и.пр}} = \text{СВР}/\text{ФРВ}$$

където:

СВР е сумарното време за работа, часа;

ФРВ – плановият фонд работно време, часа;

- коэффициент на организационно-техническа готовност

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

където:

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

Директното сравняване на стойностите на тези показатели за двете машини не е подходящо поради различното първоначално състояние на всяка от двете машини. Поради тази причина е целесъобразно да изследваме относителния дял на промяната (евентуално – подобрението) на всеки от тези показатели за всяка машина. Това относително подобрение изчисляваме по формулата:

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

където:

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

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

Модулът на числителя е необходим поради факта, че при някои показатели са по-добри по-големите стойности, а при други по-добри са по-малките стойности. Т.е. горната формула обхваща и тези два случая. А ако при някой от показателите се регистрира влошаване на стойността, тогава пресметнатата стойност по горната формула се взема със знак „-“.

III. РЕЗУЛТАТИ И ТЕХНИЯТ АНАЛИЗ

Всеки отказ е регистриран в предварително подготвена форма, съдържаща неговите параметри. Въз основа на тях са определени числените стойности на описания по-горе набор от надеждности показатели преди и след модернизацията за всяка от двете машини. Тези стойности за машина А са посочени в таблица 1.

За машина Б регистрираните числени стойности на набора надеждности показатели са показани в таблица 2.

При всяка от двете разглеждани модернизации са вложени различни средства. Това означава, че резултатите, посочени в двете таблици, са получени на различна цена. Т.е. директното сравнение на резултатите от двете таблици не е целесъобразно. Необходимо е тези резултати да бъдат мащабирани към една и съща стойност на инвестициите. За целта ще използваме преводен коэффициент.

ТАБЛИЦА 1. ПОЛУЧЕНИ ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА МАШИНА А ПРЕДИ И СЛЕД МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА ЕЛЕКТРОННАТА ЧАСТ

	\bar{T} , часа	\bar{T}_B , часа	$\bar{T}_{\text{пр.о}}$, часа	$K_{\text{и.пр}}$	$K_{\text{отг}}$
Преди модернизацията	36,1	2,2	6,8	0,92	0,84
След модернизацията	93,4	1,7	4,9	0,95	0,90
Подобрение, %	159	23	28	3	7

ТАБЛИЦА 2. ПОЛУЧЕНИ ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА МАШИНА Б ПРЕДИ И СЛЕД МОДЕРНИЗАЦИЯТА НА МЕХАНИЧНАТА ЧАСТ

	\bar{T} , часа	\bar{T}_B , часа	$\bar{T}_{\text{пр.о}}$, часа	$K_{\text{и.пр}}$	$K_{\text{отг}}$
Преди модернизацията	66,4	6,1	11,3	0,82	0,85
След модернизацията	96,6	4,7	8,9	0,84	0,92
Подобрение, %	45	23	21	2	8

Този преводен коэффициент ще дефинираме като отношението на вложените средства за модернизация на машина А към тези на машина Б. При конкретните две модернизации стойността на този коэффициент е 1,33. За да се получат сравними резултати, следва да умножим стойностите на подобрението на всеки показател за машина Б от таблица 2. Така получените коригирани стойности за машина Б могат да бъдат сравнявани със стойностите на подобрението на съответния показател за машина А от таблица 1. Подлежащите на сравнение стойности на разглежданите показатели са отразени в таблица 3.

При сравнението на първия и третия ред от таблица 3 могат да бъдат отчетени следните резултати:

1) При сравнението на стойностите на показателя „средна отработка между отказите“ се вижда, че подобрението при машина А е значително по-голямо от подобрението при машина Б. Тази не малка разлика може да се обясни с по-честите (но по-краткотрайни) откази на електронната част при амортизираната машина А. След модернизацията стойностите на този показател при машина А закономерно имат значително подобрение. Докато при машина Б подобрението също е значително, но не е от степента на подобрението при машина А. Така че въз основа на показателя „средна отработка между отказите“ модернизацията на електронната част е за препоръчване спрямо модернизацията на механичната част.

2) По отношение на сравнението на двата показателя, характеризиращи процесите на възстановяване на работоспособността – „средно време за възстановяване“ и „средно време на престои поради откази“ не се отчитат принципни разлики в стойностите за двете машини. Все

пак съвсем логично средното време за възстановяване на машина Б е по-голямо от това на машина А. Това се дължи на значителното подобрене на този показател при машина А въпреки регистрираното подобрене и при машина Б. Можем да отчетем крайният резултат при тези два показателя, че няма съществена разлика при двете машини, като все пак резултатът при машина А има предимство пред този за машина Б.

ТАБЛИЦА 3. ПОДЛЕЖАЩИ НА СРАВНЕНИЕ ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ НА ПОДОБРЕНИЕТО НА НАДЕЖНОСТНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ДВЕТЕ МАШИНИ СЛЕД КОРЕКЦИЯТА НА СТОЙНОСТИТЕ НА МАШИНА Б

	\bar{T} , часа	\bar{T}_B , часа	$\bar{T}_{пр.о.}$, часа	К _{ипр}	К _{отг}
Подобрение на машина А, %	159	23	28	3	7
Подобрение на машина Б, %	45	23	21	2	8
Коригирано подобрене на машина Б, %	60	31	28	2,7	11

3) Числените стойности на подобрието на двата комплексни показателя „коэффициент на използване по предназначение” и „коэффициент на организационно-техническа готовност” показват относителен паритет при двете машини. По-голямата стойност на подобрието при машина Б може да бъде обяснена с намаляването на общото време за престои поради откази в механичната част, което е по-голямо от общото време за престои поради откази на електронната част. Отчитането на стойностите на тези два комплексни показателя не дава основание за препоръчване на единия от двата варианта за модернизация.

4) Като сумарен резултат от сравнението на подобрието на числените стойности на разгледания набор от показатели за експлоатационна надеждност и работна ефективност можем да отчетем, че модернизацията на електронната част (машина А) има лек превес над варианта на модернизация на

механичната част (машина Б). Но този превес е в не голяма количествена степен, а не в качествена такава.

IV. ИЗВОДИ

- Формиран е набор от надеждностни показатели, необходими за сравнението на резултатите от модернизацията на електронната и механичната части на разглежданите обекти.
- Определени са числените стойности на тези показатели за всяка от двете машини преди и след модернизацията.
- Направен е сравнителен анализ на резултатите за всяка от двете машини.
- Чрез преводен коефициент е отчетена разликата във вложените средства за всяка от двете модернизации.
- Приложената методика е приложима и при други аналогични изследвания на сложни технически обекти.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aleksandra Jasiak; Ergonomic Modernization in a Selected Automotive Company; Procedia Manufacturing; Volume 3, 2015, Pages 4769-4775; ISSN: 2351-9789, Copyright © 2023 Elsevier BV;
- [2] Jacques V. Hugo, Casey R. Kovesdi, Jeffrey C. Joe; The strategic value of human factors engineering in control room modernization; Progress in Nuclear Energy; Volume 108, September 2018, Pages 381-390; ISSN: 0149-1970; Copyright © 2023 Elsevier Ltd.;
- [3] Manel Abdellatif, Anas Shatnawi, Hafedh Mili, Naouel Moha, Ghizlane El Boussaidi, Geoffrey Hecht, Jean Privat, Yann-Gaël Guéhéneuc; A taxonomy of service identification approaches for legacy software systems modernization; Journal of Systems and Software; Volume 173, March 2021, 110868; ISSN: 0164-1212; Copyright © 2023 Elsevier Inc.;
- [4] Ricardo Pérez-Castillo, Manuel A. Serrano, Mario Piattini; Software modernization to embrace quantum technology; Advances in Engineering Software; Volume 151, January 2021, 102933; ISSN: 0965-9978; Copyright © 2023 Elsevier Ltd.;
- [5] Sahar Rahim, Pierluigi Siano; A survey and comparison of leading-edge uncertainty handling methods for power grid modernization; Expert Systems with Applications; Volume 204, 15 October 2022, 117590; ISSN: 0957-4174; Copyright © 2023 Elsevier Ltd.

COMPARATIVE RELIABILITY ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE MODERNIZATION OF ELECTRONIC AND MECHANICAL PARTS OF A COMPLEX TECHNICAL OBJECT

Vladimir Boyadzhiev
 "Todor Kableshkov" Higher School of Transport
 Sifia, Bulgaria
 e-mail: vboyadzhiev@vtu.bg

Abstract: The report examines the modernization of two separate parts of a complex technical object and makes a comparative analysis of their reliability indicators. More specifically, the objects of the research are the electronic and mechanical parts of a lathe metal-cutting machine with digital-program control. As a result, conclusions were formed regarding the considered options for modernization with the corresponding recommendations.

ОСНОВНИ КОНСТРУКТИВНИ РЕШЕНИЯ НА МАЛКОМОДУЛНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА ЗА УРЕДОСТОРЕНЕТО

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

Стефан Къртунов
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: skartunov@abv.bg

Борислав Георгиев
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: gborislav@gbg.bg

Резюме: В доклада са представени различни конструктивни решения на малкомодулни зъбни коелета с различни специфични изисквания към зацепването им и налична технология за производство. Чрез конструиране на съставно зъбно колело и наличие на еластичен елемент е възможна компенсацията на грешката от мъртъв ход в предавката.

Ключови думи: малкомодулни зъбни коелета, конструкции.

I. УВОД

Зъбните предавки в уредостроенето са особен клас предавки, които се характеризират с минимални размери, специфични условия на работа и експлоатация.

Основните критерии при конструиране на една зъбна предавка в уредостроенето са [1]:

- минимални размери;
- максимална товароносимост;
- реализация на произволни закони на зацепването;
- безшумност;
- точно позициониране;
- повишаване на кинематичната точност и намаляване на мъртвия ход в зацепването.

Последните три критерия са свързани непосредствено с точността на зъбната предавка и нейните елементи.

Модулът на зъбната предавка е параметър, който се определя чрез някои от критериите за якост. Минитноаризацията на зъбните предавки е довела до обособяването на отделна група – наречени малкомодулни. Те са един от основните възли в уредите. При тях стойността на модула е ограничена от неравенството $m \leq 1$ mm и са неприложими теоретичните и експериментални данни, получени за зъбни коелета с едър и среден модул [1,2]:

- един от най – употребяваните модули е $m=0,3$ mm. Модулът $m=0,2$ mm създава

някой технологични затруднения, а $m=0,4$ mm се използва в по – натоварени предавки. Ширината на колелата е най – често $b=(4..6).m$, а конструкцията им – тип “шайба”.

- зъбните коелета от редукторите на електромеханичните устройства са обикновено 7–8 степен на точност. Сдружаването им не зависи от степента на точност.
- диапазонът на предавателното отношение е широк, но за една степен не превишава 6. Минималният брой зъби е 12..15;
- първите степени на редукторите са слабо натоварени, защото се задвижват от маломощни електродвигатели и напреженията в зъбите са значително под допустимите;
- максималната периферна скорост в малогабаритните редуктори не превишава 1,5 m/s, поради малките размери на колелата;
- по-често в редукторите се мажат лагерите, а зъбните коелета работят в условията на ограничено смазване;
- преобладаващото болшинство редуктори работят в нормални климатични условия.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

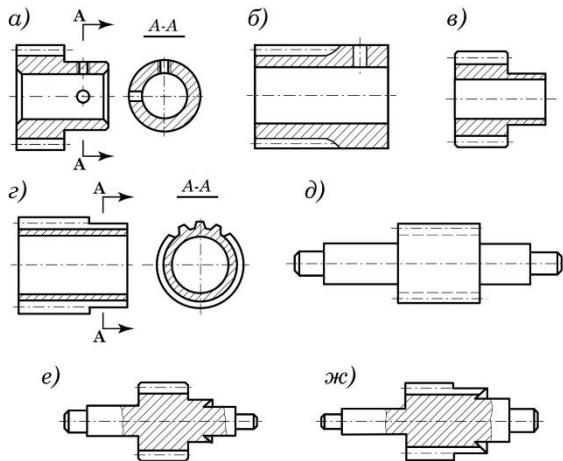
По конструктивен признак малкомодулните цилиндрични зъбни коелета се делят на следните групи:

- пиньони (колела с брой на зъбите под 20);
- цилиндрични зъбни коелета без главина;
- цилиндрични зъбни коелета с главина;
- комбинирани зъбни коелета (блок зъбни коелета).

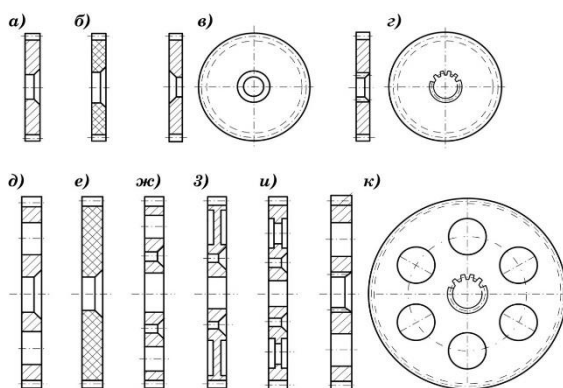
Видовете пиньони са показани на фиг. 1 а) до ж).

На фиг. 1 а) и б) са показани пиньони, които се закрепват към вала с помощта на шифт. Конструкции на пиньони без главина са показани на фиг. 1 в) и г). На фиг. 1 д), е) и ж) са показани вал зъбни коелета.

Конструкцията на зъбни коелета с диаметър до 40mm и ширина на зъбния венеч до 3mm са показани на фиг.2, а)-г). Монтирането на зъбни коелета от фиг.2 а) и б) се извършва чрез валцоване. Коелетата от фиг.2 в) и г) освен валцоване имат и допълнителни шлицы.



Фиг. 1. Видове пиньони



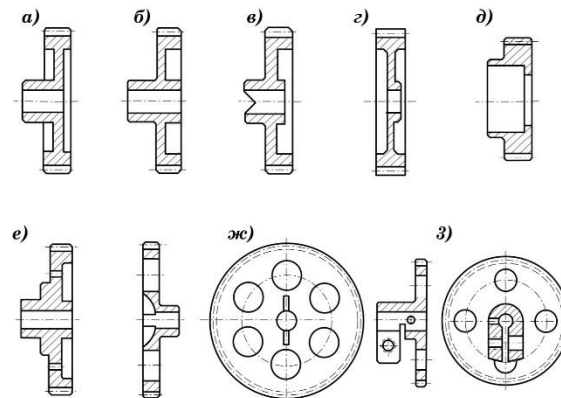
Фиг. 2. Конструкции на зъбни коелета в уредостроенето тип диск

Зъбни коелета с диаметър над 40mm са показани на фиг.2 д)-к). Коелетата от фиг.2, д) и е) се монтират на вала чрез пресова сглобка и допълнително валцоване. Коелетата от фиг.2 ж), з) и и) се монтират с винтове или нитове. На фиг.2 к) е показано зъбно коелело с шлицы, което допълнително се валцова.

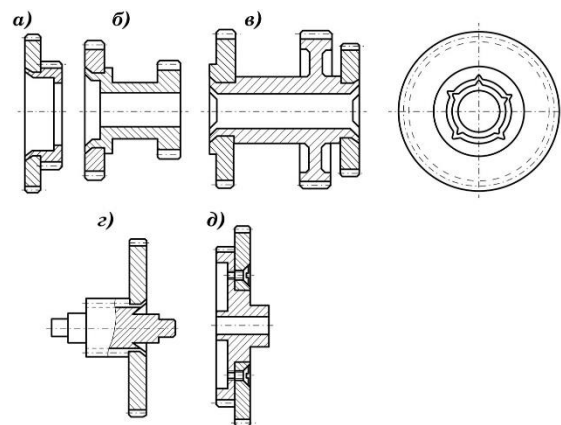
В малобагаритните редуктори голямо приложение намират цилиндрични зъбни коелета с главина. Такива коелета са показани на фиг. 3 а)-з).

Широко приложение намират и съставните зъбни коелета (зъбен блок). Конструкцията на такива коелета е показана на фиг. 4 а)-д).

На фиг. 4 а), б) и в) са показани зъбни блокове сглобявани чрез пресоване и последващо валцоване. Сглобяване с шлицы и последващо валцоване е показано на фиг.4 г). Нарязването на зъбните коелета в тези случаи се прави след сглобяване на зъбния блок за да се осигури по-висока точност. Шлиците на пиньона и голямото зъбно коелело се правят след нарязване на зъбите чрез протегляне. Шлицовото съединение гарантира предаване на по-голям въртящ момент и висока точност на сглобяване.



Фиг. 3. Конструкции на безхлябинни зъбни коелета



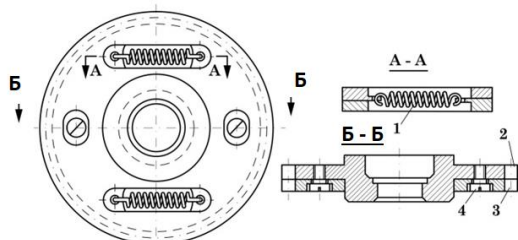
Фиг. 4. Съставни зъбни коелета в уредостроенето

На фиг.4 д) е дадена конструкция на съставно коелело сглобено с винтове.

За постигане на плавна и безшумна работа на зъбните предавки е необходимо хлябините при зацепване да се намалят до минимум. Това се постига чрез регулиране на междуцентровото разстояние с помощта на коригиране на предавката, индивидуално подбиране на зъбните двойки или конструктивно оформяне на зъбното коелело. На фиг. 5 е показана конструкция на зъбно коелело с автоматична промяна на страничната хлябина и премахване на мъртвия ход.

Колелото се състои от две части 2 и 3, които имат прорези за закрепване на пружини 1. В част 2 са направени два резбови отвора, а в част 3 елипсовидни отвори, в които влизат винтове 4.

Пружините са закрепени в отворите на двете колела, като по този начин завъртат отделните части на колелото в противоположни посоки около общата ос и премахват хлабината в зацепената зъбната двойка.



Фиг. 5. Безхлабинна конструкция на зъбно колело за уредостроенето

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложени са различни конструктивни решения за малкомодулни зъбни колела съвместно със закрепването им към задвижващия вал. Изборът на типа конструкция малкомодулно зъбно колело зависи от специфичните изискванията към зацепването и наличните технологични методи за изработка.

Представени са конструктивни решения за безхлабинно зацепване на малкомодулни зъбни предавки с допълнителен еластичен елемент позволяващи елиминиране на грешката от мъртъв ход в зъбното зацепване.

BASIC CONSTRUCTION SOLUTIONS OF SMALL MODULAR GEAR WHEELS FOR PRECISION ENGINEERING

Genadi Cvetanov
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
gencvet@tugab.bg

Stefan Kartunov
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
skartunov@abv.bg

Borislav Georgiev
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
gborislav@gbg.bg

Abstract: The report presents different design solutions of small modular gears with different specific meshing requirements and available manufacturing technology. By constructing a composite gear wheel and having an elastic element, it is possible to compensate the error from the backlash in the gear.

КОМПЛЕКСНИ И ПОЕЛЕМЕНТНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ОЦЕНКА ТОЧНОСТТА НА МАЛКОМОДУЛНИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА

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

Стефан Къртунов
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: skartunov@abv.bg

Борислав Георгиев
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: gborislav@gbg.bg

Резюме: В доклада е извършена класификация на поелементните и комплексни показатели за оценка точността на малкомодулни зъбни колеела със симетричен и асиметричен профил на зъбите. Представени са зависимостите за определяне на поелементни показатели на точността при използване на тангенциално изместване на инструмента. Дадени са насоки при оценка степента на точност на колелата от предавката с асиметричен профил при отчитане геометрията на инструмента.

Ключови думи: еволвентни зъбни предавки, асиметричен профил, контрол.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

При проектиране на зъбна предавка в уредостроенето предавателното отношение се избира в диапазона от 1 до 10. При предаване на много малки моменти то може да се увеличи до 15. В силовите предавки за по-плавна работа се препоръчват следните предавателни отношения от 1 до 5. При тези предавателни отношения по-бързо се сработват зъбните двойки [1,2].

За силови предавки, работещи при променливо натоварване трябва да се избират предавателни отношения във вид на дроби, например 35/27, 43/31 [3]. и т.н. Така се намалява износването, тъй като при всеки следващ оборот зъб от едното колело контактува с нов зъб от другото колело.

Цел на настоящият доклад е класификация на показателите за оценка точността на малкомодулни еволвентни цилиндрични зъбни колеела и предавки, които са реализирани с изходен контур с неравномерна стъпка.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

Понастоящем, световните стандарти, включват две групи показатели за оценка точността на малкомодулни зъбни колеела и предавки:

- Функционални или комплексни: кинематична точност, плавност при работа, контакт на зъбите и сдружаване на зъбните колеела.
- Технологични или поелементни, които включват точността на отделните геометрични размери на колелото и предавката.

На фиг. 1 е представена класификация на комплексните и поелементни показатели за

малкомодулни зъбни колеела и предавки, съгласно [3]. Означенията на фигурата, са както следва:

f'_{io} - допуск на кинематичната грешка на предавката;

$f'I$ - допуск на кинематичната грешка на зъбното колело;

f'_{ik} - допуск на кинематичната грешка на зъбното колело по k стъпки;

f_r - допускна натрупаната грешка на стъпката на зъбното колело;

f_{rk} - допуск на натрупаната грешка на k стъпки;

f_r - допуск на радиалното биене на зъбният венец;

f_{vw} - допуск на колебанието на дължината на общата нормала;

f''_i - допуск на колебанието на измерително-то междуосово разстояние за един оборот на зъбното колело;

f'_{io} - допуск на местната кинематична грешка на предавката;

f'_i - допуск на местната кинематична грешка на зъбното колело;

f_{vpt} - допуск на разликите в стъпките;

f_{rb} - гранични отклонения в стъпката на зацепването;

ff - допуск на грешката в профила на зъба;

$f''_i i$ - допуск на колебанието на измерително-то междуосово разстояние за един зъб;

$f_{\beta i}$ - допуск на направлението на зъба;

$f_{x i}$ - допуск на неуспоредността на осите;

f_y - допуск на кръстосването на осите;

f_a - гранично отклонение на междуосовото разстояние;

EHS - най-малкото допълнително изместване на изходния контур за зъбни колеела с външни зъби;

TH - допуск на допълнително изместване на изходния контур;

E_{wms} - най-малкото отклонение на средната дължина на общата нормала за зъбно колело с външни зъби;

T_{wm} - допуск на средната дължина на общата нормала;

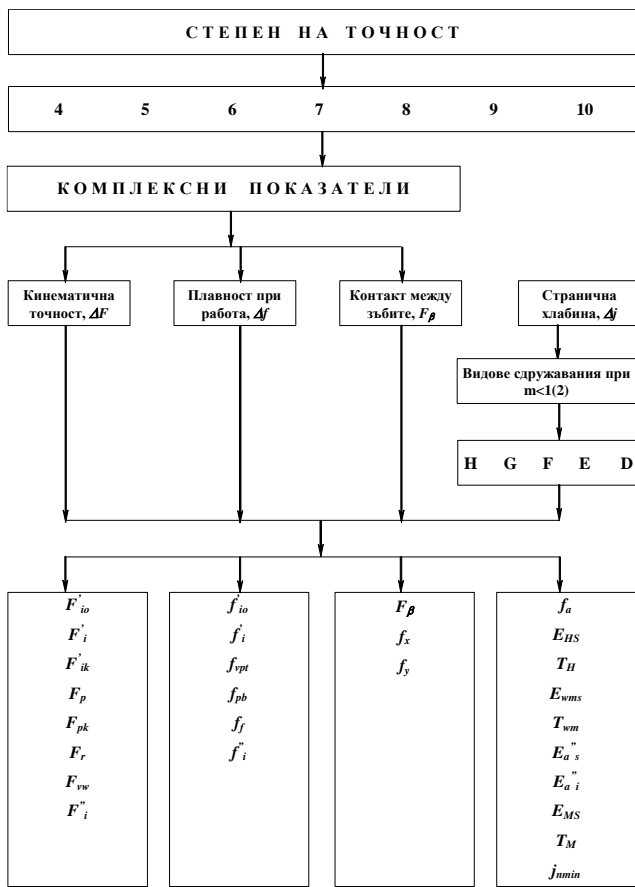
$E_{a''s}$ - гранично отклонение на измерително-то междуосово разстояние за зъбни колела с външни зъби - горно;

$E_{a''i}$ - гранично отклонение на измерителното междуосово разстояние за зъбни колела с външни зъби - долно;

EMS - най-малкото отклонение на размера по ролки за зъбни колела с външни зъби;

TM - допуск на размера по ролки;

j_{nmin} - гарантирана странична хлабина.



Фиг. 1. Класификация на комплексните и поелементни показатели за малкомодулни зъбни колела и предавки съгласно БДС 10762-79

При малкомодулните зъбни колела стандарта предвижда минимална стойност на гарантираната странична хлабина, която осигурява предавката против заклиняване. Максималната стойност на гарантираната странична хлабина се определя от [3]:

$$j_{nmax} = 2 \operatorname{tg} \alpha (f_{ar} + E_{h1} + E_{h2} + 0,5 F_n - 0,5 F_{r2}), \quad (1)$$

където:

α е ъгълът на зацепване;

броят зъби на колелата от предавката;

f_{ar} -отклонение в междуосовото разстояние;

E_{h1} -изместването на изходния контур;

F_n -радиалното биене на зъбния венец.

При използване на малкомодулни еволвентни цилиндрични зъбни предавки се използват и други методи за изработването на колелата от предавката, напр. ерозия. При тези методи аналогията с параметрите на изходния контур за получаване на профила има напълно условен характер. При такъв метод на производство може да се твърди, че се извършва свободен синтез на зъбно зацепване. Това предполага други зависимости за определяне на основните технологични размери на колелата от предавката.

Профилът на зъба се образува, като резултат от поставените специфични изисквания към зацепването и може да бъде: еволвентен, асиметричен еволвентен, циклоиден, хибриден профил [4].

При такъв новообразуван профил са невалидни известните зависимости и стандарти за контрол на точността на еволвентни цилиндрични зъбни предавки и колела. В настоящата работа са представени зависимости за определяне на общата нормала и размера по ролки на еволвентни цилиндрични зъбни колела със симетричен профил на зъбите, получени с изходен контур с неравномерна стъпка. За първи път такъв изходен контур с неравномерна стъпка между разноименните профили е предложен от [5]. Така полученият симетричен профил се различава по дебелината на зъба на произволно място от неговата височина:

$$S^{\Sigma}_{ti_1} = d_i \cdot \left[\frac{\pi \cdot (m + m_1^*)}{4 \cdot m \cdot z_1} \pm \frac{2 \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z_1} \pm \right] \pm \operatorname{inv} \alpha_i \mp \operatorname{inv} \alpha_{ii} \quad (2)$$

$$S^{\Sigma}_{ti_2} = d_i \cdot \left[\frac{\pi \cdot (m + m_2^*)}{4 \cdot m \cdot z_2} \pm \frac{2 \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z_2} \pm \right] \pm \operatorname{inv} \alpha_i \mp \operatorname{inv} \alpha_{ii} \quad (3)$$

при спазване на следното условие за неравномерно разделяне на профила:

$$\frac{m_1^* + m_2^*}{m} = 2 \quad (4)$$

където z_1 и z_2 са

x_1 и x_2 – коефициентите на изместване на инструмента за двете колела, като за колелото с външни зъби;

α и α^* – профилните ъгли на инструмента, с който се произвеждат колелата по метода на центроидното обвиване;

α_{i1} и α_{i1}^* – ъглите на еволвентите, на колело 1, в челното сечение;

α_{i2} и α_{i2}^* – ъглите на еволвентите, на колело 2, в челното сечение;

$d_{i1,2}$ – диаметрите на цилиндрите в челното сечение, при които се определя дебелината на зъбите на колела 1 и 2;

$m^*_{1,2}$ и $m^*_{2,2}$ – непропорционални стойности на разделянето на изходния контур.

В зависимости (1,2 и 3) знакът „+“ се отнася за еволвентни цилиндрични зъбни предавки с външно зацепване, а знакът „-“, за вътрешно зацепване.

Определянето на технологичните размери на еволвентни цилиндрични зъбни предавки със големината на асиметричната нормала при еволвентни цилиндрични зъбни предавки, в челно и нормално сечение, като връзката между тях е [6,7]:

$$W^{\Sigma} = W_t^{\Sigma} \cdot \cos \beta \quad (6)$$

- зависимостта за определяне на ъгъла на контакт с ролката при симетричен профил, с неравномерна стъпка, с наклонени зъби, за външно и вътрешно зацепване и се получава от сумирането на изразите (фиг.2):

$$\text{inv} \alpha_{D_{1,2}} = \text{inv} \alpha_t + \frac{2 \cdot x_{1,2} \cdot \text{tg} \alpha}{z_{1,2}} \pm \quad (7)$$

$$\pm \left(\frac{D}{d_{b_{1,2}} \cdot \cos \beta} - \frac{\pi}{2z_{1,2}} \right)$$

$$\text{inv} \alpha_{D_{1,2}} = \text{inv} \alpha_t + \frac{2 \cdot x_{1,2} \cdot \text{tg} \alpha}{z_{1,2}} \pm \quad (8)$$

$$\pm \left(\frac{D}{d_{b_{1,2}} \cdot \cos \beta} - \frac{\pi \cdot m_{1,2}}{2 \cdot m \cdot z_{1,2}} \right)$$

където:

при еволвентни цилиндрични зъбни предавки със симетричен профил и неравномерна стъпка:

вътрешни зъби се приема коефициентът на изместване на еквивалентното колело с симетричен профил и изходен контур, който е с неравномерна стъпка, може да се извърши въз основа на размерите при асиметричен зъбен профил [6,7]:

- общата нормала при еволвентни цилиндрични зъбни предавки със симетричен профил, с наклон на зъбите и неравномерна стъпка между разноименните еволвентни се определя, в челното сечение, от:

$$W_{n,2}^{\Sigma} = \frac{m \cdot \cos \alpha_t}{2 \cdot \cos \beta} \left[\pi \left(z_{n1,2} - 0,75 + \frac{m^*_{1,2}}{4 \cdot m} \right) + \right. \quad (5)$$

$$\left. + 2 \cdot x_{1,2} \cdot \text{tg} \alpha + z_{1,2} \cdot \text{inv} \alpha_t \right]$$

където z_n е броят на обхванатите междузъбия;

β – ъгъл на наклон на зъбите по делителния цилиндър на колелото.

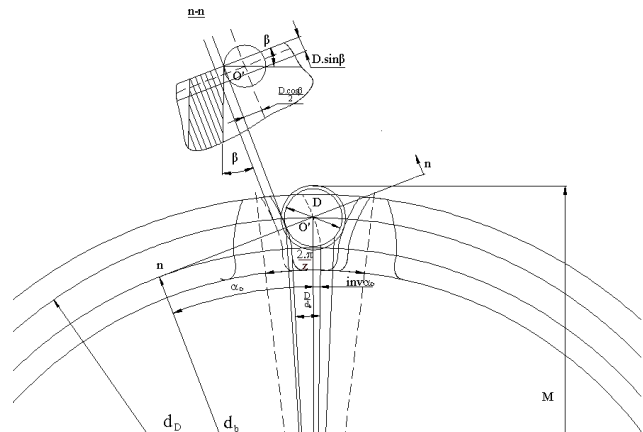
По този начин се контролира

$\alpha_{D1,2}$ са ъглите на контакт с измервателната ролка, за колела 1 и 2 от предавката;

$d_{b1,2}$ – диаметрите на основните окръжности на колела 1 и 2;

D е диаметърът на измервателната ролка;

β – ъгълът на наклона на зъбите.



Фиг. 2. Изчислителна схема за определяне на диаметъра на цилиндъра dD , към който принадлежи центъра на ролката

След сумиране и преработване на изрази (6 и 7) се получава следният окончателен израз за определяне на ъглите на контакт

$$\text{inv} \alpha_{D_{1,2}} = \text{inv} \alpha_t + \frac{2 \cdot x_{1,2} \cdot \text{tg} \alpha}{z_{1,2}} \pm \quad (9)$$

$$\pm \left[\frac{D}{d_{b_{1,2}} \cdot \cos \beta} - \frac{\pi}{4 \cdot z_{1,2}} \cdot \left(1 + \frac{m^*_{1,2}}{m \cdot z} \right) \right]$$

Търсеният размер по ролки съответно е:

- за четен брой зъби:

$$M = d_D \pm D \quad (10)$$

- за нечетен брой зъби:

$$M = d_D \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2 \cdot z}\right) \pm D, \quad (11)$$

където d_D се определя от:

$$d_D = \frac{m \cdot z}{\cos \beta} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_D} \quad (12)$$

След използване последователно на зависимости (2 до 12) се получават всички необходими технологични размери за контрол на страничната хлабина и кинематичната точност при еволвентни цилиндрични зъбни предавки с асиметричен профил и неравномерна стъпка.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена е класификация на комплексни и елементи показатели за малкомодулни еволвентни цилиндрични зъбни предавки, със симетричен и асиметричен профил, получени чрез изходен контур с неравномерна стъпка.

Предложени са зависимости за определяне на общата нормала и размера по ролки за еволвентни цилиндрични зъбни колела, с и без наклон на зъбите, с външно и вътрешно зацепване, които позволяват контрол на страничната хлабина и кинематичната точност.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Simeonov S. et al., Plastic gears in precision instrumentation engineering, Minsk, "Nauka i Tekhnika", 1993.
- [2] Simeonov S.K., Study of the performance of small-module metal-plastic gears according to the deadlock criterion, Dissertation for the degree of candidate technical sciences, Gabrovo, 1983.
- [3] BDS 10762:1979 Basic standards for interchangeability. Cylindrical low-modular gears. Tolerances.
- [4] Iliev Il., Basics of designing devices, Gabrovo, 1987.
- [5] Simeonov S., G. Tsvetanov. Determination of output contour parameters for asymmetric gear profiles. "Mechanics of machines", №43, Sliven 30.06.2002.
- [6] Simeonov S., G. Tsvetanov. Determination of parameters necessary for control of gears with asymmetric profile, "Mechanics of Machines", №46, Varna 12-14.09.2002.
- [7] Tsvetanov G. Research of small-module gears with asymmetric profile, Dissertation for obtaining an educational and scientific degree: Doctor, Gabrovo 2004.

COMPLEX AND BY ELEMENT INDICATORS FOR ASSESSING THE ACCURACY OF SMALL MODULAR GEARS

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

Stefan Kartunov
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
e-mail: skartunov@abv.bg

Borislav Georgiev
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
e-mail: gborislav@gbg.bg

Abstract: This work presents a classification of complex and by element indicators for evaluating the accuracy of small module gears with symmetrical and asymmetrical tooth profile. The dependences for determining by element accuracy indicators using tangential displacement of the tool are presented. Guidance is given in evaluating the degree of accuracy of gear wheels with an asymmetric profile when considering tool geometry.

ПРОЕКТИРАНЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА МЕХАТРОННА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА „КРИВАТА НА ГАУС“

Ренета Димитрова
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Слав Димитров
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Боян Бахчеванов
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: bab@tu-sofia.bg

Анна-Мария Лазарова
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: lazarova990@gmail.com

Иван Мицев
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
email: ivan240299@gmail.com

Станислав Цолов
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Резюме: Целта на настоящата разработка е да се проектира специализирана автоматизирана мехатронна система (САМС) за изследване на „кривата на Гаус“ с плоски цилиндрични детайли. Проектирането ще се извърши в дигитална среда с използване на съществуваща методика за проектиране на специализирани мехатронни устройства и системи.

Ключови думи: проектиране, автоматизация, мехатронна система, „крива на Гаус“, изследване, цилиндричен детайл

I. Увод

„Кривата на Бел“ (наименована на северноамериканския учен Александър Греъм Бел), наричана още „Кривата на Гаус“ (наименована на германския математик Карл Фридрих Гаус, който извежда нейната форма) или още крива на „нормалното разпределение“ е една от най-известните и важни графики в математиката и науката. Тя показва разпространението на стойностите на всяко нещо, повлияно от ефектите на случайността. Много явления следват поне приблизително тази крива, като най-често срещаната стойност е в центъра, а по-редките и екстремни стойности са от двете страни [6].

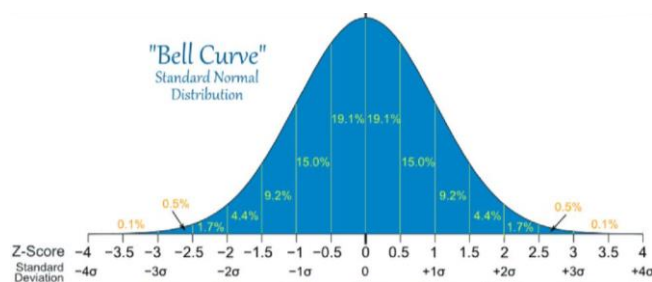
„Galton Board“ е устройство, което се състои от вертикална дъска с редове от колчета, което се опитва да симулира случайното разпределение на гладки сферични детайли. Детайлите се пускат отгоре и отскачат наляво или надясно, когато се ударят в колчетата. Те се събират в контейнери на дъното, където височината на колоните с натрупани детайли се доближава до форма на „кривата на Гаус“ (фиг.1) [9]. Това е единственото известно на авторите на настоящата разработка устройство, за изследване на „кривата на Гаус“.

„Кривата на Гаус“ е симетрична крива с център, средната стойност на всички измервани точки с данни (фиг. 2). Ширината на кривата се определя от стандартното отклонение – 68% от точките с данни са в рамките на едно стандартно отклонение (фиг. 3), 95% от точките с данни са в рамките на две стандартни отклонения (фиг. 4), а 99,7% от точките с данни са в

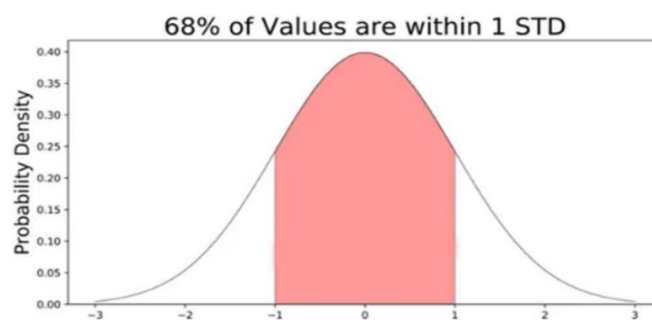
рамките на три стандартни отклонения от средната стойност (фиг. 5) [5].



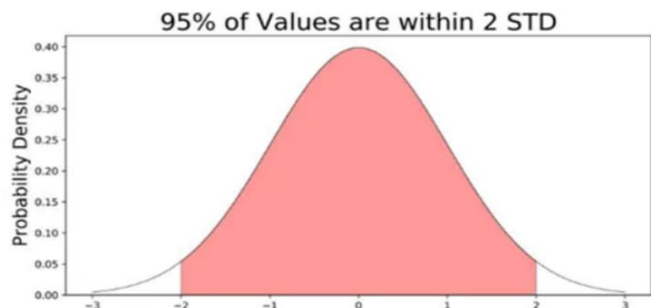
Фиг. 1. „Galton Board“ [9]



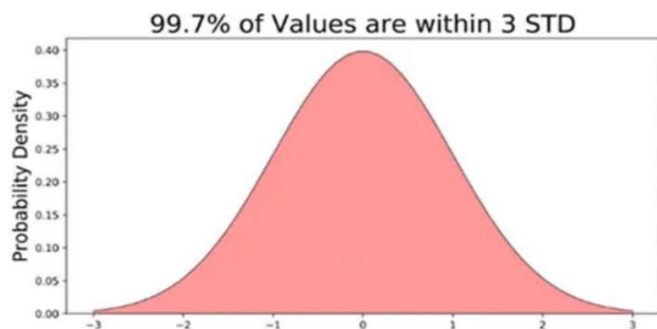
Фиг. 2. „Кривата на Бел“ наричана още „Кривата на Гаус“ или кривата на „нормалното разпределение“ [8]



Фиг. 3. Данни попадащи в рамките на първо стандартно отклонение [7]



Фиг. 4. Данни попадащи в рамките на две стандартни отклонения [7]



Фиг. 5. Данни попадащи в рамките на три стандартни отклонения [7]

Част от авторите на настоящата разработка имат добър опит при проектиране, програмиране и изработване на специализирани мехатронни устройства и системи в рамките на последните 10 години [1, 3]. Всички задачи и дейности по проектиране на САМС за изследване на „кривата на Гаус“ с плоски цилиндрични детайли ще се извършат чрез известен метод [2]. Новопроектираната САМС ще изследва формата на разпределение и вида на кривата, която ще се получи.

II. ПРОЕКТИРАНЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА МЕХАТРОННА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА „КРИВАТА НА ГАУС“

A. 3D моделиране на обекта на изследване

Проектирани са плоски цилиндрични детайли или пулове с диаметър $\varnothing 35$ [mm], дебелина 5,5 [mm] и тегло 4 [gr], показани на фиг.6.



Фиг. 6. 3D модел на обекта на изследване

Технологичния процес, необходим за изследване на „кривата на Гаус“ на проектираната САМС е следния:

- пуловете се хранват в бункер с обем 20-30 детайла;
- специализиран отсекател ги пуска в пространството за изследване, състоящо се от преден и заден капак, 7 броя улея и 21 броя пинове;

- след разпределението на всички пулове, попаднали в пространството за изследване се задейства втори специализиран отсекател, поставен в края на улеите, който ги отсича ред по ред;
- отсечените пулове, посредством самотечен магазин събирател се транспортират до зоната за автоматично връщане в хранващия бункер;
- след което процеса се повтаря за следващо изследване.

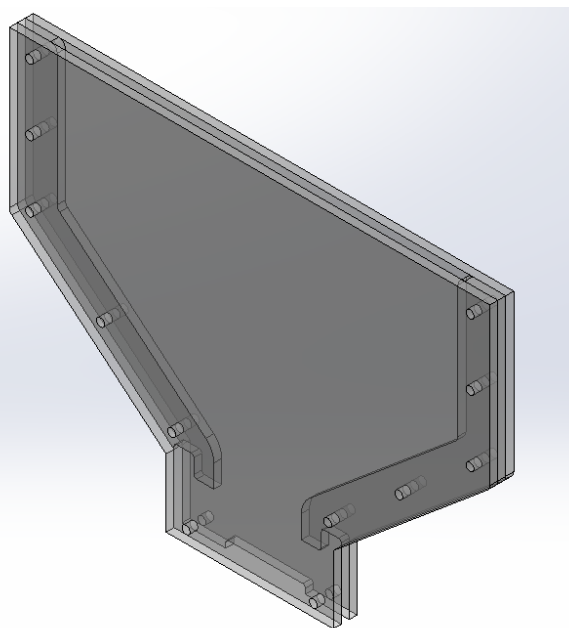
B. Хранващ бункер и пространство за изследване

Хранващия бункер се състои от преден и заден капак, между които има странични пластини, осигуряващи необходимото разстояние за нормално движение на изследваните детайли (фиг.7).

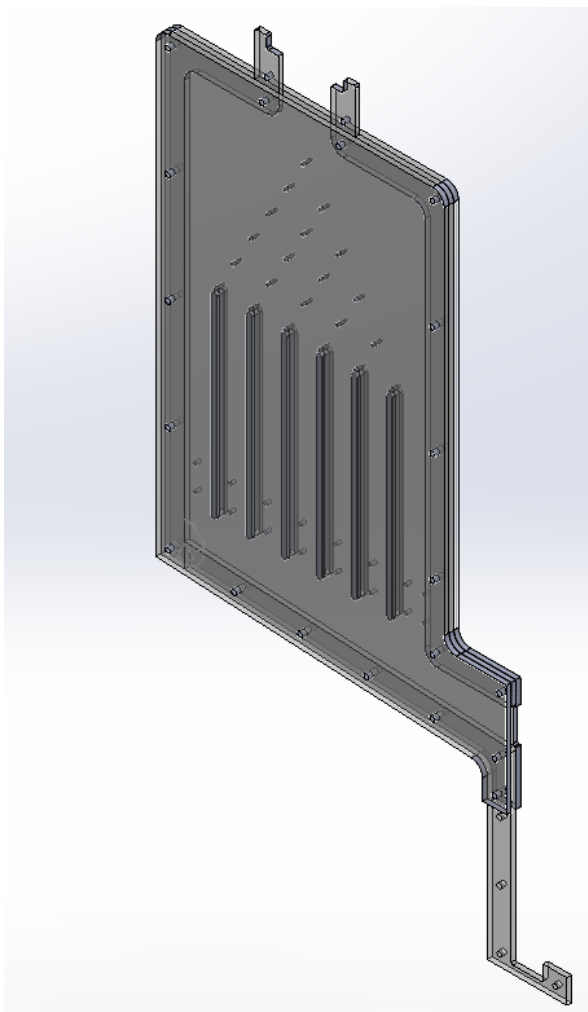
Пространството за изследване се състои от преден и заден капак, странични пластини, 7 броя улея и 21 броя пинове. В предния и задния капак са направени специални отвори и канали с размерите на пиновете и страничните пластини, които позволяват сглобяването им (фиг.8).

Пиновете и страничните пластините са присъединени перпендикулярно към предния и задния капак, като по този начин страничните стени на пластините образуват улеи за разпределяне на пуловете. По този начин се разпределят детайлите и се изследва „кривата на Гаус“ за плоски цилиндрични детайли. Пиновете позволяват на пуловете да се разпределят в отделните улеи.

Разположението на пиновете е пирамидално проектирано с цел осигуряване на вероятността, детайлите след удар да заемат лява или дясна посока, което е аналогично за всички пинове и по този начин се дефинира траекторията на движение, която за всички пулове е случайна.



Фиг. 7. 3D модел на бункер за хранване

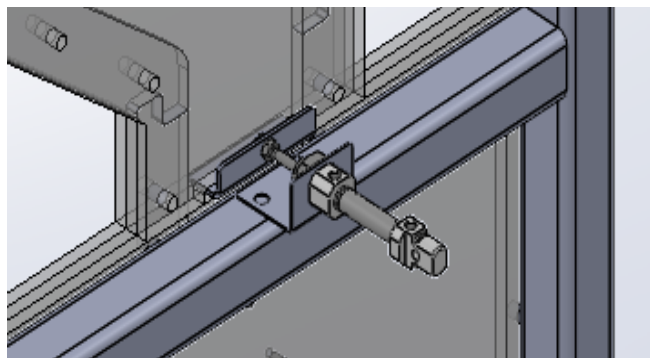


Фиг. 8. 3D модел на пространство за изследване

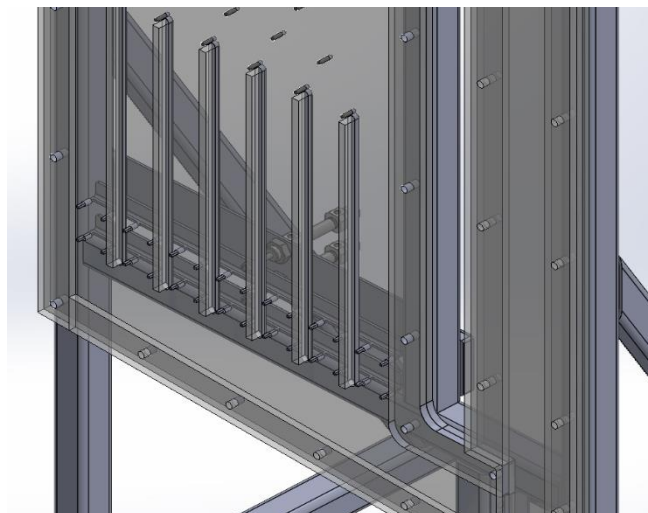
С. Специализирани отсекатели

Специализираният отсекател се премества и пуловете попадат в пространството за изследване на “кривата на Гаус” (фиг. 9).

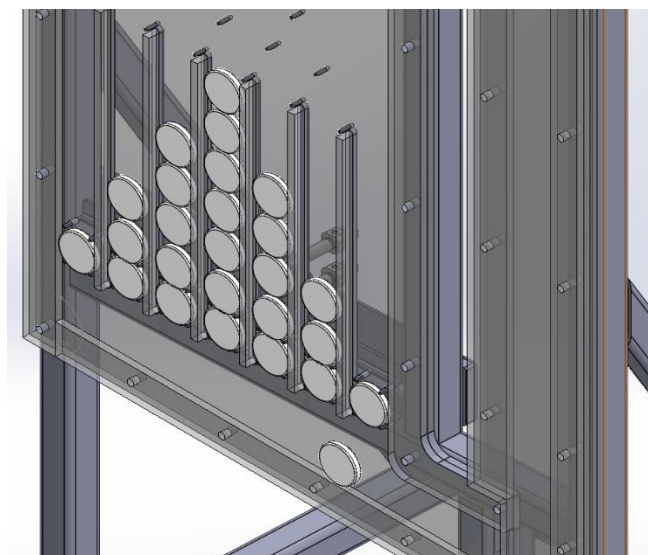
След разпределението на всички пулове, попаднали в пространството за изследване се задейства втори специализиран отсекател, поставен в края на улците, който ги отсича ред по ред (фиг.10 и фиг.11).



Фиг. 9. 3D модел на специализиран отсекател за пускане на пуловете

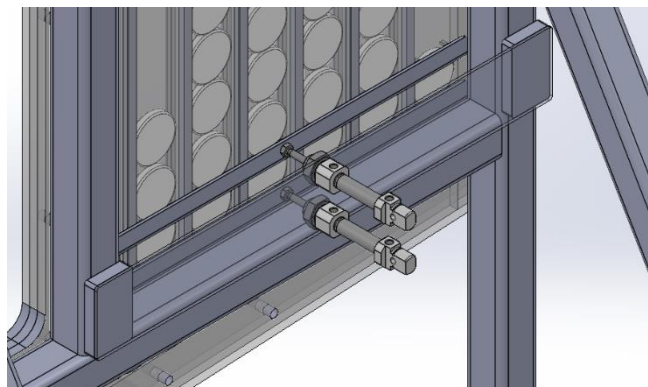


Фиг. 10. 3D модел на специализиран отсекател за разделяне ред по ред

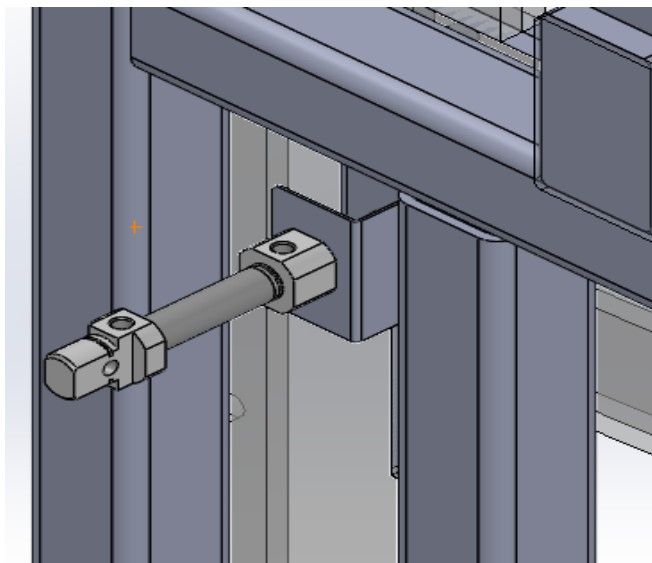


Фиг. 11. 3D модел на специализиран отсекател за разделяне с детайли

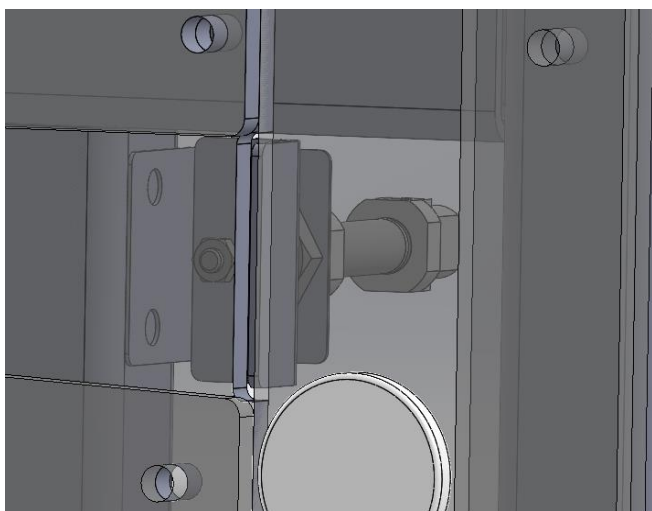
Друг специализиран отсекател се премества и отделеният ред преминава в самотечен магазин събирател (МС) за преместване до зоната за връщане (фиг.12).



Фиг. 12. 3D модел на специализиран отсекател за пускане на ред



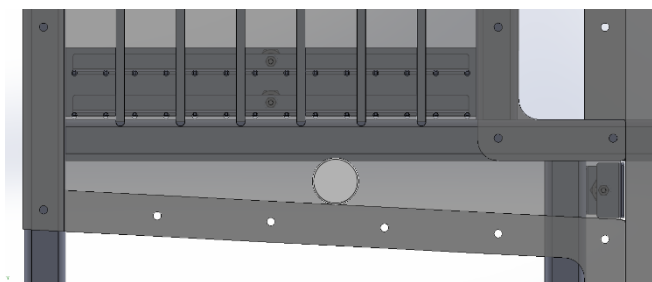
Фиг. 13. 3D модел на специализиран отсекател за затваряне на зоната за връщане



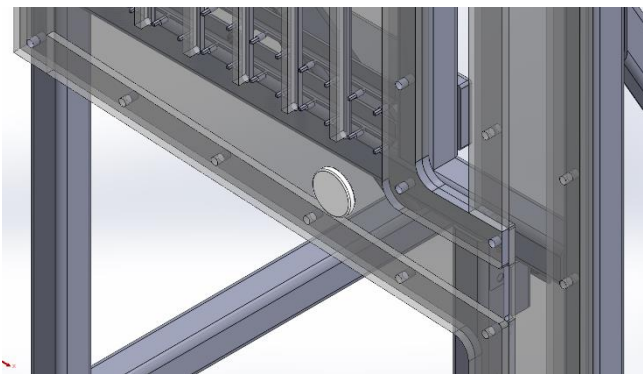
Фиг. 14. 3D модел на специализиран отсекател за затваряне на зоната за връщане с детайл

D. Самотечен МС и зона за автоматично връщане

Отсечените пулове, посредством самотечен магазин събирател (фиг. 15) се транспортират до зоната за автоматично връщане в хранващия бункер, като специализиран отсекател затваря тази зона (фиг. 13 и фиг.14).

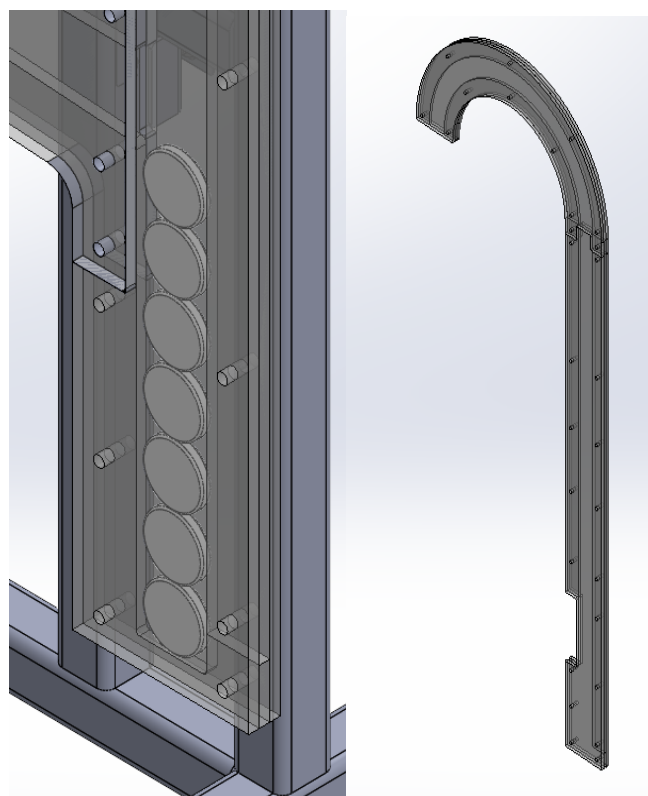


Фиг. 15. 3D модел на самотечен МС



Фиг. 16. 3D модел на самотечен МС

Връщането на пуловете в хранващия бункер се осъществява, чрез струя насочен въздух, както е показано на фиг.16. Пуловете влизат в улей, свързващ хранващия бункер и зоната за връщане и посредством съгъстен въздух се връщат в изходно положение за повторно изследване на „кривата на Гаус“.



Фиг. 17. 3D модел на зона и улей за връщане на детайлите

Цялата САМС е закрепена за тръбно-заваръчна конструкция, която я стабилизира и държи в изправено положение (фиг.17). Общ 3D модел на новопроектираната САМС за изследване „кривата на Гаус“ е показан на фиг.18 и фиг. 19.

Предвидени са сензори зад пространството за изследване, а именно сензор 1 за наличие на детайли в хранващия бункер; сензор 2 следящ, дали има пулове или някой от улеите остава празен.

III. МАТЕМАТИЧЕСКИ ИЗЧИСЛЕНИЯ

A. Време за падане на пуловете

В общия случай на теория, времето за падане на свободно тяло се определя по формула (1). Т.к. съществуват фактори, които влияят на това време в разглеждания от авторите случай, то няма как то да се определи теоретично. Изчисленото по формула (1) време е ориентировъчно, за да се добие представа за минималното такова.

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}} = 0,317 [s] \quad (1)$$

където:

d е височина на падане, d = 0,485 [m],

g – земно ускорение.

Времето за падане и респективно за разпределение на детайлите е необходимо, за да се програмира и управлява новопроектираната САМС, тъй като обекта на настоящата разработка е система с автоматичен цикъл на работа, а не ръчно захранване (пускане на детайлите) и ръчното им връщане.

Реалното време за разпределение на пуловете ще се определи опитно, след изработване на новопроектираната САМС. Това е и целта на настоящата разработка, а именно: изследване на времето за падане; изследване на времето за разпределение; изследване на времето за отделяне; изследване на времето за връщане и изследване на формата на кривата, която се получава.

B. Наклон на самотечния МС

Силата, необходима за преодоляване на статичното триене се изчислява с формулата:

$$F_1 = u_s \cdot N \quad (2)$$

където:

u_s е коефициент на статично триене, който варира между 0,2-0,6 за ABS и плексиглас. В случая е избрана стойност 0,4.

N – нормалната сила, която действа на пула.

$$N = m \cdot g [N] \quad (3)$$

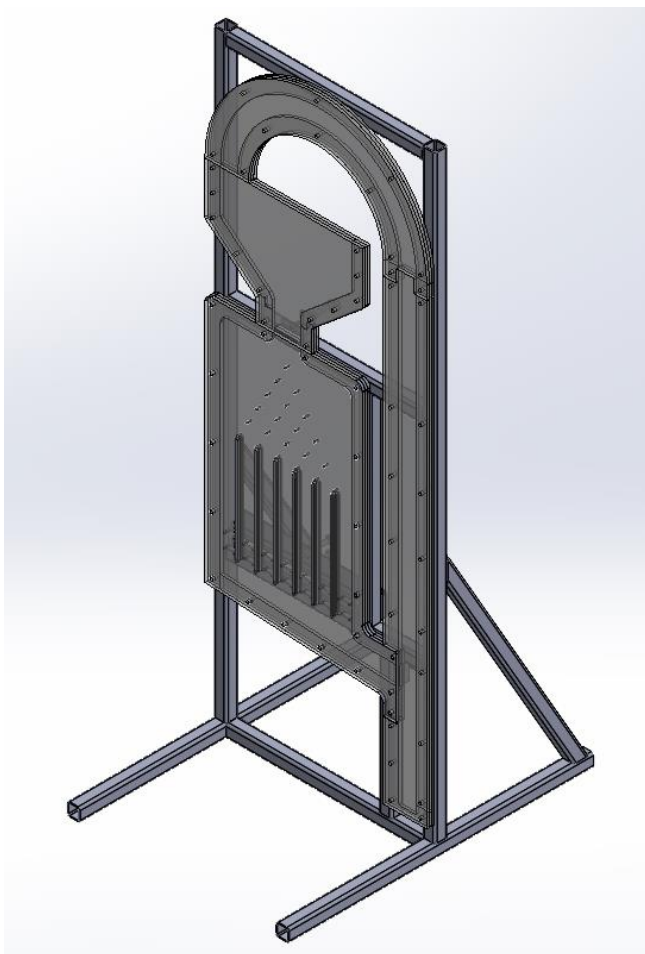


Фиг. 20. Измерване масата на изработените детайли за изследване

Проектираната маса на един пул е 4.33 [gr]. Измерената маса на изработените детайли (фиг. 20), чрез технология 3D принтиране [4] е 3.9 [gr] или 0.0039 [kg]. От което следва, че N = 0.03826 [N] и след заместване във формула (1), се получава за F₁ = 0.0153 [N].



Фиг. 18. 3D модел на зона и улей за връщане на детайлите



Фиг. 19. Общ 3D модел на САМС

За да се преодолее тази сила, е необходимо тя да се надвиши, за да започне да се търкаля пулът.

$$F_2 = m \cdot a \text{ [N]} \quad (4)$$

където:

F е сила,

m – маса,

a – ускорение.

Ускорението, може да бъде изчислено по следната формула:

$$a = g \cdot \sin\theta = 0,51 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (5)$$

θ е избраният ъгъл $\theta = 3^\circ$. Следователно $a = 0,51342 \text{ [m/s}^2\text{]}$, а за $F_2 = 0,00202 \text{ [N]}$.

F_1 е силата нужна на пула да започне да се търкаля, а F_2 е силата, която трябва да бъде преодоляна, за да тръгне пула да се търкаля по самотечния МС.

$F_1 \gg F_2$ следователно избраният ъгъл от 3° е достатъчен за самотечния МС.

IV. Изводи:

В резултат на проектирането са постигнати следните резултати:

- Разработени са 3D модели на плоски цилиндрични детайли – пулове.
- Обектите за изследване са изработени, чрез технология 3D принтиране.
- Разработен е 3D модел на САМС за изследване на „кривата на Гаус“ с плоски цилиндрични детайли с всички необходими елементи.

- Направени са ориентировъчни математически изчисления, които ще послужат за изработване на прототип на САМС.

БЛАГОДАРНОСТИ

Резултатите в настоящото изследване са получени по проект 231ПР0001-06/2023 г., финансиран от субсидията за научни изследвания в Технически Университет – София.

REFERENCES:

- [1] R. Dimitrova, A. Velkov, S. Dimitrov, Selection of a drive for an automated braille printing stand, XXXI MNTK "ADP - 2022", Sozopol, 29.06 - 02.07.2022, Magazine "Automation of the discrete production", issue 4/July 2022, ISSN: 2682-9584, (69-74).
- [2] R. Dimitrova, M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX MNTK „ADP – 2020“, Созопол, 29.06 – 02.07.2020 г., Списание „Автоматизация на дискретното производство“, бр.2/юли 2020 г., ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [3] S. Dimitrov, R. Dimitrova, V. Stoimenov, 3D modeling of an automated braille printing stand, XXXI MNTK "ADP - 2022", Sozopol, 29.06 - 02.07.2022, Magazine "Automation of discrete production", issue 4/July 2022, ISSN: 2682-9584, (238-242).
- [4] S. Nikolov; R. Dimitrova; S. Dimitrov, Using of 3D Printing Technologies in the Manufacture of Mechatronic Products, 13th National Conference with International Participation ELECTRONICA 2022, IEEE, DOI: 10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874404.
- [5] <https://www.investopedia.com/terms/b/bell-curve.asp>.
- [6] <https://www.sciencefocus.com/science/who-really-discovered-the-bell-curve/>
- [7] <https://www.simplypsychology.org/normal-distribution.html>
- [8] <https://slideplayer.bg/slide/17531424/>
- [9] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rahdha2022.com.galtonboard.rahdha2022&hl=bg&gl=US&pli=1>

DESIGN OF A SPECIALIZED MECHATRONIC SYSTEM FOR "GAUSS CURVE" RESEARCH

Reneta Dimitrova
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Slav Dimitrov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Boyan Bahchevanov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: bab@tu-sofia.bg

Anna-Maria Lazarova
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: lazarova990@gmail.com

Ivan Mitchev
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: ivan240299@gmail.com

Stanislav Tcolov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Abstract: The aim of the current development is to design a specialized automated mechatronic system (CAMS) for studying the "Gaussian curve" with flat cylindrical details. The design will be carried out in a digital environment using existing methodology for the design of specialized mechatronic devices and systems.

РАЗРАБОТВАНЕ НА ОРИЕНТИРАЩ МОДУЛ ЗА ПАРАЛЕЛЕН ДЕЛТА РОБОТ

Станислав Цолов
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Ренета Димитрова
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

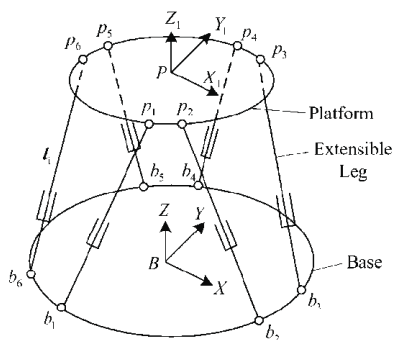
Стилиян Николов
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: st_nikolov2@tu-sofia.bg

Резюме: В настоящата статия е предложена конструкция на ориентиращ модул с 3 ротационни DOF предназначен за интегриране в паралелен делта робот с 3 транслационни DOF. Направен е анализ на предимствата, от използването на такъв модул, спрямо паралелен робот с 6 DOF, използван за изпълнение на "Pick and Place" операции.

Ключови думи: проектиране, конструкция, ориентиращ модул, робот, паралелна кинематика, архитектура.

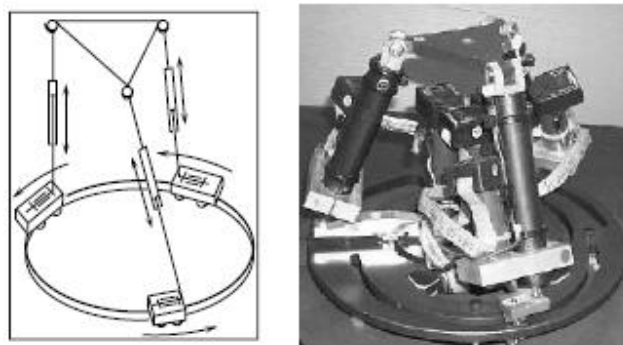
I. УВОД

Интересът към роботите с паралелна кинематика, породен от предимствата им спрямо роботите със серийна кинематика, като повишена товароносимост, скорост и точност, е причината за наличието на изключително голям брой разработки датиращи от 60^{те} години на миналия век до днешни дни. Въпреки това една малка част от разработените конструкции са се наложили като продукт използван за комерсиални или индустриални цели. Причина за това са проблемите свързани с конструирането и управлението на паралелните роботи, както и с ограниченото работното пространство и ограниченията в ъглите на ориентация на крайното изпълнително звено (КИЗ end-effector), която е от изключителна важност за работи изпълняващи "Pick and Place" операции. Ако се разгледат един от най-разпространените и изследвани паралелни роботи – платформа на Гоф (фиг.1), се вижда, че със своята висока товароносимост и коравина те намират почни незаменимо приложение като прецизни позициониращи платформи, било то в тежката машиностроителна индустрия или фина електронна промишленост. Това е така благодарение на своята конструкция със 6 степени на свобода (DOF Degrees Of Freedom) съставена от 6 вериги тип РРТС, при която е невъзможно появата на паразитни движения.



Фиг. 1 Схема на платформа на Гоф [1]

Основен недостатък при платформата на Гоф, характерна за повечето паралелни роботи, е ограниченото работно пространство и ограничената възможност за ориентация на КИЗ намаляваща драстично в периферията на работното пространство. Причините за това най-често са следните: поради наличието на голям брой кинематични вериги е възможно в крайните точки на работното пространство да се появят колизии; в периферията на работната зона и в крайните ъгли на възможна ориентация на КИЗ роботът е податлив към изпадане в сингулярност (положение в което губи стабилност); сферичните съединения в кинематичните вериги са с ограничен ход. Едно решение представено от различни автори, са конструкции при които положението на кинематичните вериги може да се променя с цел оптимизиране на геометрията от гледна точка на работното пространство спрямо поставената задача. Решение, което не се е наложило в практиката, поради драстичното усложняване на конструкцията. Интересно предложение за паралелен робот с 6 DOF представляват трикракните роботи фиг.2.

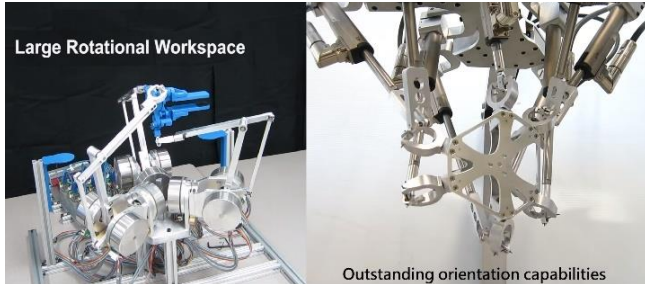


Фиг. 2 Трикрак робот [2]

При тях намаления брой кинематични вериги намалява риска от колизии и съответно повишава работното пространство. Използването на 3 кинематични вериги налага използването на 2 актуатора във всяка верига, което е конструктивно непрактично, намалява коравината и точността на позициониране на робота. Недостатъци, които обричат използването на работи с такава конструкция в практиката. Друг метод за повишаване на работното пространство, повишаване ориентиращите възможности на КИЗ и избягване на сингулярни пози е чрез добавяне на допълнителни актуатори и кинематични вериги.

Два такива робота са разработени от института по роботика в Лавал [3, 4] (фиг.3). И двата робота са с **6 DOF** и **9** актуатора.

Първия е с **3** кинематични вериги, като всяка има по **3** актуатора, втория е с **6** кинематични вериги като **3** от тях са с по **2** актуатора а останалите с по **1**. И двата робота имат изключителни възможности от гледна точка на работно пространство и ориентиращи възможности на КИЗ.

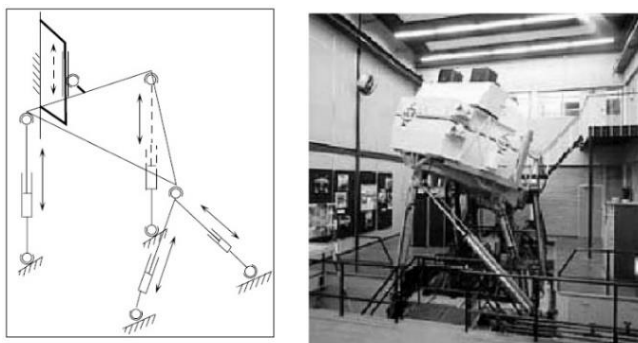


Фиг.3 В ляво трикрак робот с 9 актуатора, в дясно робот с 6 кинематични вериги и 9 актуатора [3, 4]

Единствените недостатъци, които пречат на навлизането на тези робота в практиката е икономически неизгодно наличие на повече актуатори, както и съпроводеното усложняване на контрола на робота. В практиката често се налага използването на робота с по-малко от **6 DOF**, като например за металообработващи машини са необходими **5 DOF**. Проблем свързан с това е, че паралелните робота с по-малко от **6 DOF** са податливи към паразитни движения което налага използването на усложнени кинематични вериги и механизми за неутрализирането им, освен това ако разгледаме уравнението (1) изведено от уравнението на Грублер за степента на мобилност, което няма решение за робота с **4** и **5 DOF**, става ясно, че създаването на робота с еднакви кинематични вериги, от този тип е физически невъзможно фиг.4, което е конструктивно затруднение.

$$m = 6 + 6 mn_1 - 5 mn_2 \quad (1)$$

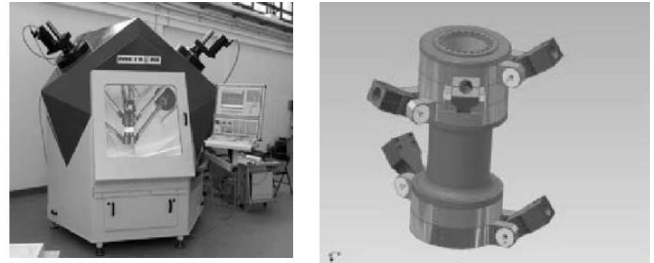
Където **m** са **DOF**, **n₁** е броят звена във всяка верига **n₂** е броят на **6 DOF** на двоиците във всяка верига.



Фиг.4 Схема на робот 4 DOF с пасивен ограничаващ механизъм [1]

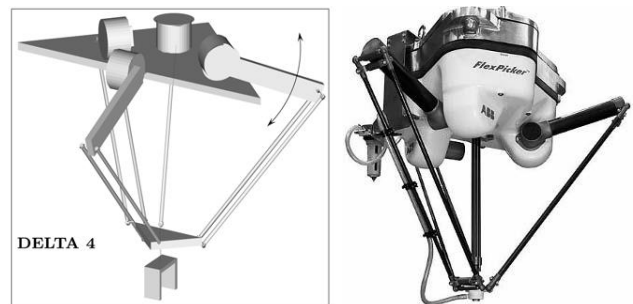
Интересна реализация на паралелен механизъм за металообработка е предложена от Metrom фиг.5. Характерно за нея е, че **3** от кинематичните вериги са свързани в цилиндрични съединения с обща ос.

Интересен дизайн, който не се е наложил пред конвенционалните обработващи машини поради сложността на подвижната платформата със шпиндела, както и сложното кинематично управление, характерно за почти всички паралелни робота с повишена степен на мобилност, което е предпоставка за грешки в позиционирането.



Фиг. 5 Metrom P800 обработваща машина [1]

Всички тези проблеми свързани с паралелните робота с повишена степен на мобилност, предразполагат конструкцията на делта роботът с **3 DOF** фиг. 6 да бъде предпочитана в практиката особено за изпълняващи “Pick and Place” операции.



Фиг.6. Схема на делта роботът и индустриална версия на ABB [1]

Със своята проста конструкция съставена от **3** идентични кинематични вериги на които едно от звената е реализирано като четиризвнен паралелограм, благодарение на който двете платформи са винаги успоредни една на друга и по този начин се намаляват паразитните движения. Освен това, предвид опростената кинематика, управлението на този робот е сравнително лесно спрямо останалите паралелни робота. В практиката често се налага използването на робота с **6 DOF**, затова за да се възползва от предимствата на делта роботът, често срещано решение е добавянето на ориентиращ модул към него фиг.7. Именно за това конструкция на такъв модул ще бъде предложена в тази статия.



Фиг. 7 FANUC M-3iA/6A Delta Robot [7]

II. РАЗРАБОТВАНЕ НА ОРИЕНТИРАЩ МОДУЛ ЗА ПАРАЛЕЛЕН ДЕЛТА РОБОТ
A. Входни параметри

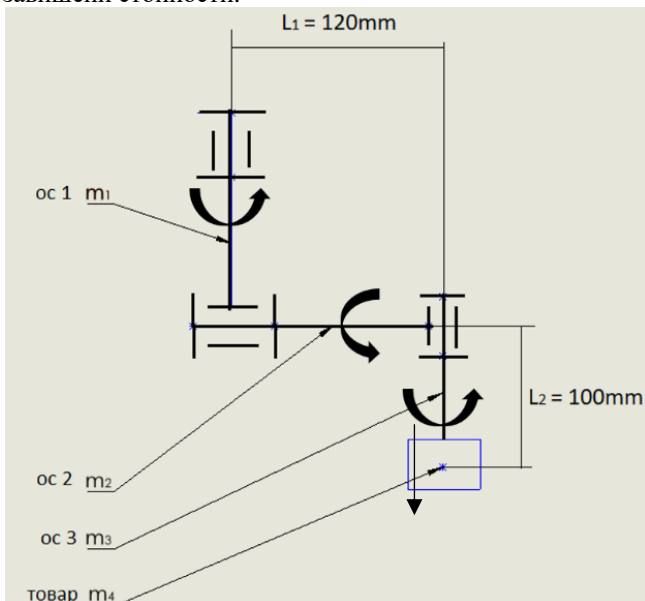
Ориентиращият модул представлява манипулатор със **3** ротационни **DOF**, служещи за осигуряване на ориентацията на изделие при изпълнение на “Pick and Place” операции от паралелен делта робот. Самият манипулатор е монтиран върху подвижната платформа на робота и тъй като се носи от него е желателно манипулатора да бъде максимално лек. Проектираният модул ще бъде за делта робот с максимални транслационни ускорения от **20** [m/s²], при които модулът трябва да гарантира време за ориентация, на която и да е от трите оси, от порядъка на **1π** [rad] за **0,5** [s]. Максималната товароносимост на модула ще е **0,5** [kg], която ако се разгледа формулата за избор на стандартен хващач (2) и се вземе предвид ускоренията на робота, е напълно достатъчна за стандартен пневматичен хващач размер **16** и полезна товароносимост от **0,2** [kg].

$$F = \frac{mg}{2\mu} \cdot a \quad (2)$$

Където **F** е необходимата захващаща сила, **m** е масата на товара, **μ** е коефициента на триене между челюстите и изделието, **a** е коефициент на сигурност (най-често се използва между **2** и **4**), а **g** е земното ускорение, като в случая към него се добавят максималните транслационни ускорения на робота, за да се гарантира, че при ускорение на робота хващаща няма да изпусне изделието.

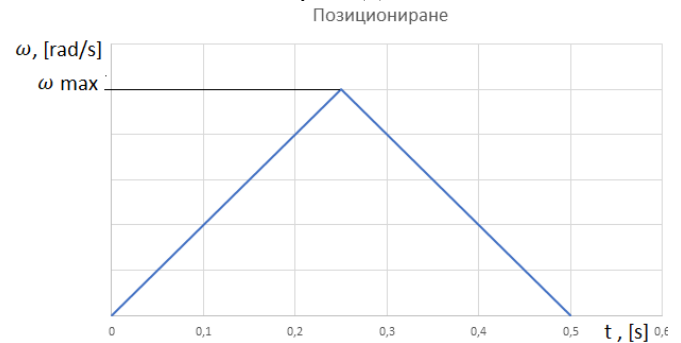
B. Първоначални изчисления

Първоначалните изчисления служат за намиране на ориентировъчни стойности на необходимите сили за задвижване, гарантиращи зададените входни параметри и както и на какво натоварване са подложени звената [5, 6]. За целта е съставена кинематична схема на модула фиг.8, като за размер на звената се приемат първоначални завишени стойности.



Фиг. 8 Кинематична схема

За да се намерят необходимите ускорения на звената, за постигане на зададеното време за позициониране, може да се направи графика на изменението на скоростта спрямо времето за позициониране фиг. 9. Ускорението и спирането е желателно да бъде максимално плавно, за да се намали натоварването на звената и двигателите. Като се вземе предвид, че площта под графиката е физическото отместване при позициониране на звената, и тя е **1π** спрямо заданието, може да се изведе максималната ъглова скорост (3).



Фиг.9 Изменение на скоростта спрямо времето за позициониране

$$5\omega_{max} = 1\pi \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (3)$$

От където ускорението е :

$$\dot{\omega} = \frac{2\pi}{0.25} = 8\pi \left[\frac{rad}{s^2} \right] = 2 \quad (4)$$

Въртящия момент за всяко едно от звената може да се изведе от (5).

$$T = \dot{\omega} \cdot I + T_{сп} \quad (5)$$

Където: **T** е необходимия въртящ момент, **I** е инерционния момент, **T_{сп}** е съпротивителния момент породен от силите на тежест и силите породени от транслационното ускорение на робота. Така за ос **1** може да се напише:

$$T_1 = \dot{\omega}_1 \cdot I_1 + T_{сп1} \quad (6)$$

$$T_{сп1} = m_2 \cdot \tau \cdot \frac{L_1}{2} + (m_3 + m_4) \cdot \tau \cdot L_1 \quad (7)$$

Където: **I₁** е инерционния момент на целия модул около ос **1**, **m₂** е теглото на звено **2**, **m₃** е теглото на звено **3**, **m₄** е теглото на товара, а **τ** е транслационното ускорение на робота.

За ос **2** може да се напише:

$$T_2 = \dot{\omega}_2 \cdot I_2 + T_{сп2} \quad (8)$$

$$T_{сп2} = m_3 \cdot (\tau + g) \cdot \frac{L_2}{2} + m_4(\tau + g) \cdot L_2 \quad (9)$$

Където: **I₂** е инерционния момент на звена **2**, **3** и товара около ос **2**, **m₃** е теглото на звено **3**, **m₄** е теглото

на товара, τ е транслационното ускорение на робота, а g е земното ускорение.

За ос **3** може да се напише:

$$T_3 = \omega_3 \cdot I_3 \quad (10)$$

Където I_2 е инерционния момент на звено **3** и товара около ос **3**.

Ако се вземат ориентировъчните стойности за теглата и инерционните моменти, намерени чрез създаването на опростен модел в CAD система, а именно:

$$I_1 = 0.06 \left[\frac{kg}{m^2} \right], m_1 = 0.5 [kg]$$

$$I_2 = 0.04 \left[\frac{kg}{m^2} \right], m_2 = 0.3 [kg]$$

$$I_3 = 0.01 \left[\frac{kg}{m^2} \right], m_1 = 0.2 [kg]$$

$$m_4 = 0.5 [kg]$$

Се получава:

$$T_1 = 3.5 [N/m]$$

$$T_2 = 2.8 [N/m]$$

$$T_3 = 0.3 [N/m]$$

За необходимата предавана мощност на звената се получава:

$$P_1 = T_1 \cdot \omega_{1max} = 22w$$

$$P_2 = T_2 \cdot \omega_{2max} = 18w$$

$$P_3 = T_3 \cdot \omega_{3max} = 2w$$

След създаване на реална конструкция на модула, изчисленията се правят отново с реалните параметри на системата, за да се проверят допустимите натоварвания.

C. Избор на схема на задвижване и предавателни механизми

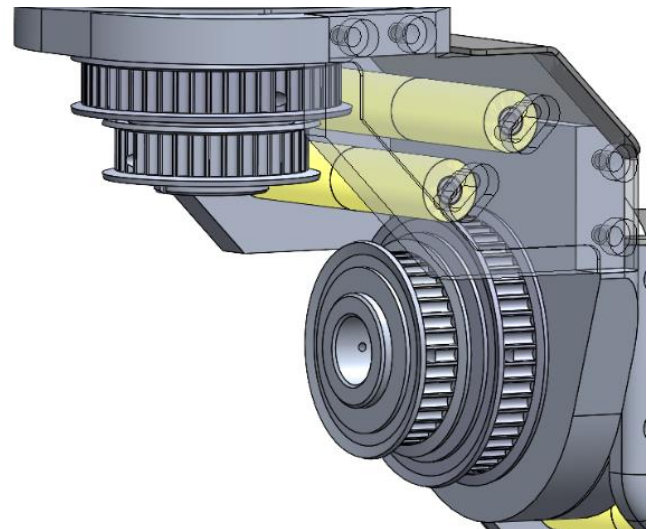
За да се избегнат недостатъците на паралелните работи относно ориентиращите им възможности, за манипулатора е използвана последователна кинематика фиг. 8. При нея всяко едно звено се носи от предходното за сметка на това, за да се намали теглото на звената, двигателите са изнесени на стационарната платформа на робота, като задвижването се предава през звената на манипулатора посредством предавателни механизми чието предаване е ъглово. В индустриалната роботиката най-често се използват прецизни хипоидни предавки с малък мъртъв ход или ремъчни предавки фиг.10 които са по прости като изпълнение нямат мъртъв ход, но налагат използването на допълнителен редуктор, най-често вълнов заради липсата на мъртъв ход, тъй като не могат да предават висок въртящ момент.

Предвид малките въртящи моменти за модула са използвани ремъчни предавки фиг.11. без допълнителен редуктор, което е оптималното решение от гледна точка на тегло.

Ремъците се избират от каталог спрямо мощността която ще предават. Предвид изчислените мощности е избран ремък **GT3** с ширина **6 [mm]**. Серия **GT** ремъци се използват за прецизни цели. Диаметърът на ролките също е избран спрямо предаваната мощност, тъй като от него зависи колко броя зъби са зацепени между ремъка и ролката. По-малките ролки зацепват по-малко зъби на ремъка и съответно възможната предавана мощност е по-малка. За **1-ва** и **2-ра** ос са избрани ролки с **48** зъба, а за **3-та** с **36**.



Фиг.10 4-та, 5-та и 6-та ос на индустриален робот [8]



Фиг. 11 3D модел на ремъчните предавки

D. Изчисление на натоварването във валове, оптегачите и избор на лагери

Натоварването на валове на ролките се изчислява по следната формула:

$$F_R = (4 \div 6) \frac{M_t}{2D} \quad (11)$$

Където: F_R е силата натоварваща вала, M_t предавания въртящ момент, D е ефективния диаметър на ролката.

Така за ос **1** се получава сила **700 [N]**, за ос **2** реактивна сила **560 [N]** и за ос **3** реактивна сила **80 [N]**.

Предвид малките натоварвания са избрани полимерни плъзгащи лагери за валове на ролките. Полимерните лагери са леки и издържат на високи натоварвания в случая IGUS серия **J** до **35 [Mpa]**. Полимерните плъзгащи лагери се избират по техния показател **pv [MPam/s]**, като условието е :

$$p\omega r_{\text{тр}} \leq pv \quad (12)$$

Където: **p** е натоварването върху площта на лагера, **$\omega r_{\text{тр}}$** е приведената периферна скорост. Лагерите серия **J** са с **pv** показател **0,34 [MPam/s]** и предвид размерите им са значително преоразмерени.

Обтягащата сила за избрания ремък е между **5 и 10 [N]**. За обтегачи са избрани лагерни полимерни ролки които да лагеруват директно върху стоманени оси.

Тъй като при плъзгащите лагери е възможна поява на хлабини, които не са от голямо значение за ролките, но не е препоръчително да бъдат използвани за лагеруване на звената, тъй като това ще влияе пряко върху точността на работата. За тези цели, при високи натоварвания на звената, е удачно използването на търкалящи лагери с ъглов контакт серия **7000** или лагери с четириточков контакт. При слаби натоварвания е възможно използването на едноредови радиални сачмени лагери серия **6000**, като при тях допустимото аксиално натоварване е между **10 и 30** процента от максимално им допустимото радиално натоварване.

Предвид слабите натоварвания, за лагеруване на звената са избрани именно такива лагери, като са преоразмерени многократно.

Е. Съставяне на конструкция на ориентиращия модул

Конструкцията на ориентиращия модул фиг.12 е съставена от неподвижна платформа и три звена отговарящи за реализиране на трите оси. Върху платформата са разположени входящите ролки и обтегачи. Те задвижват осите на манипулатора, като предават въртящ момент посредством система от валове и ролки. Компонентите на манипулатора са изработени от алуминий с цел редуциране на теглото. Схема на предаване на задвижващия момент е представена на фиг.13.

1) Конструкция на неподвижна платформа

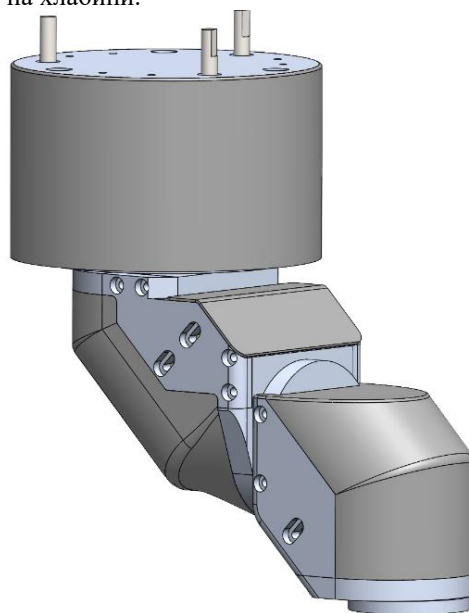
Неподвижната платформа фиг.14 е съставена от две алуминиеви плочи в които са изработени леглата за лагерите на ролките и ос **1**. Върху нея са разположени **3** комплекта задвижващи и задвижвани входящи ролки отговарящи за задвижването на трите оси.

За всеки от трите комплекта има регулируем обтегач реализиран от полимерна ролка директно лагерувана върху стоманен вал. Ролките и основите на обтегачите са алуминиеви с цел редуциране на теглото.

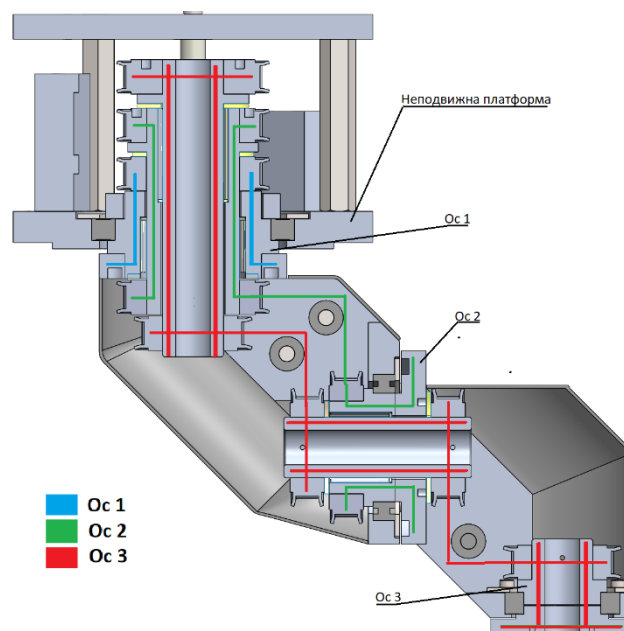
Задвижващите валове са стоманени за разлика от задвижваните които са с по-голям диаметър и централен проходен отвор служещ за окабеляване на КИЗ, при необходимост.

2) Конструкция на ос 1

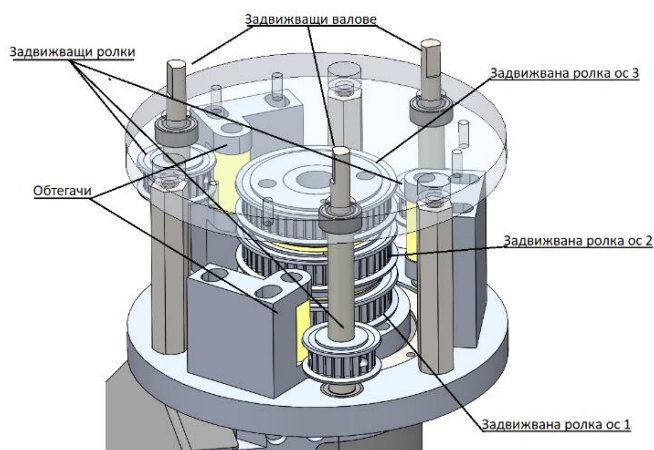
Конструкцията на ос **1** фиг.15 е съставена от задвижващ вал лагеруван посредством сачмен лагер **6810ZZ** към неподвижната платформа и изходящ фланец в който е разположен лагерът за задвижващия вал на ос **2**. Връзката между валът и фланеца се осъществява посредством **2** странични плочи, към които са монтирани обтягащите полимерни ролки. Входящите валове за задвижване на ос **2** и **3**, както и изходящия вал за ос **3** са лагерувани чрез полимерни плъзгащи лагери. Изходящия вал за ос **2** е лагеруван от сачмен лагер **6807ZZ** тъй като той се явява задвижващия вал на ос **2** и не трябва да има наличие на хлабини.



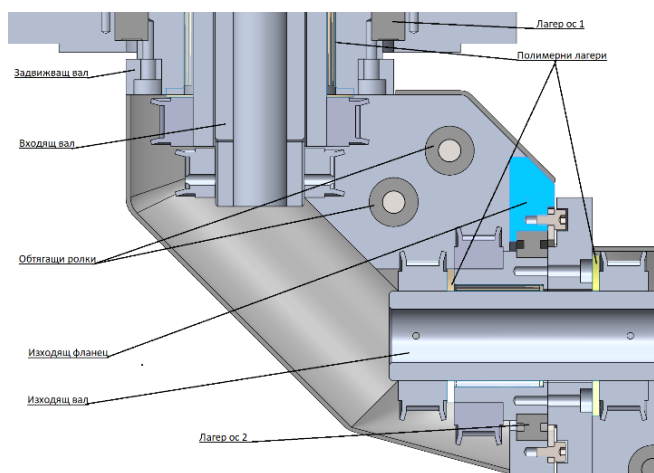
Фиг. 12 Ориентиращ модул - общ изглед



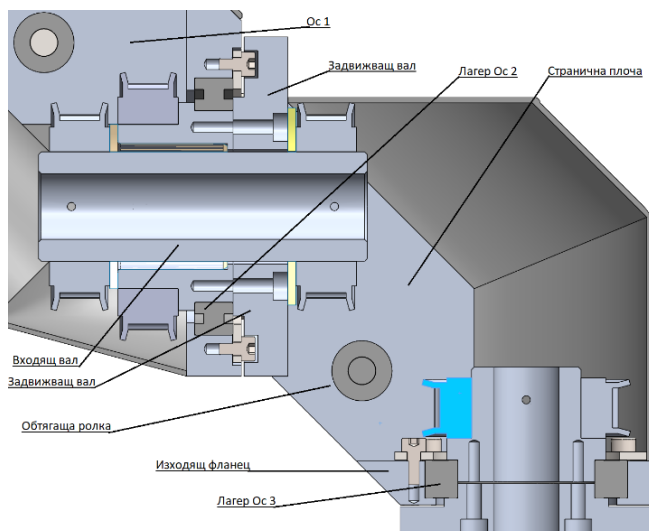
Фиг.13 Схема на предаване на задвижващия момент



Фиг.14 3D модел на статична платформа



Фиг. 15 3D модел на ос 1



Фиг.16 3D модел на ос 2

3) Конструкция ос 2

Конструкцията на ос 2 фиг.16 е аналогична на ос 1, съставена от задвижващ вал, изходящ фланец и странични плочи. На страничните плочи е монтирана регулируемата обтегачата ролка за ремъка на последната

ос. На изходящия фланец е монтиран сачмен лагер **6805ZZ** за ос 3. Входящия вал за ос 1 е лагериран посредством полимерни лагери, а на изходящия чрез сачмения за ос 3.

4) Конструкция на ос 3

Конструкцията на ос 3 фиг. 17 представлява просто вал лагериран в изходящия фланец на ос 2. Върху плочата на вала се монтира КИЗ на работа.

F. Проверка на натоварването на осите

След конструирането на звената, вече може да се провери натоварването на осите с реалните маси и инерционни моменти:

$$I_1 = 0.06 \left[\frac{kg}{m^2} \right], m_1 = 0.4 [kg], L_1 = 118$$

$$I_2 = 0.035 \left[\frac{kg}{m^2} \right], m_2 = 0.3 [kg], L_2 = 110$$

$$m_3 = 0.1 [kg]$$

$$m_4 = 0.5 [kg]$$

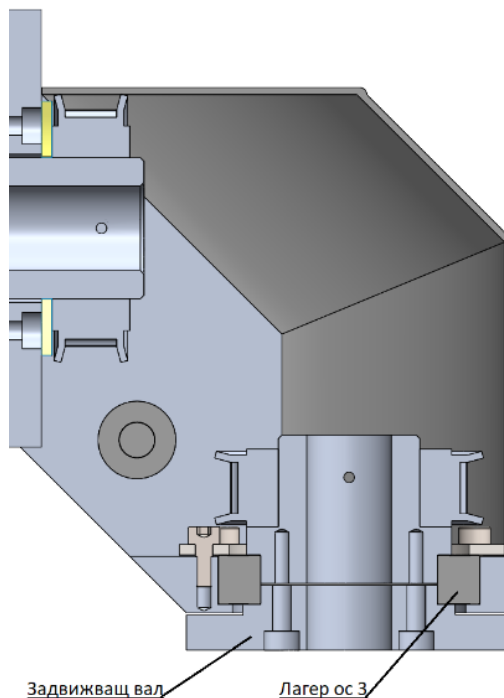
От където чрез (6), (7), (8), (9) и (10) следва:

$$T_1 = 3.3 [N/m]$$

$$T_2 = 2.8 [N/m]$$

$$T_3 = 0.3 [N/m]$$

Резултатите са равни или по ниски от ориентировъчно изчислените, следователно ремъчните предавки и усилията в лагерите са правилно избрани и изчислени.



Фиг.17 3D модел на ос 3

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализирани са основните проблеми свързани с използването на работи с паралелна кинематика.

Въз основа на направения анализ е разработена конструкция на ориентиращ модул за паралелен делта робот, като са направени необходимите пресмятания и е създаден 3D модел на модула в CAD среда.

Използването на подобен ориентиращ модул, може значително да повиши гъвкавостта и възможните приложения на един паралелен делта робот. Това дава възможност да се използват предимствата на паралелните роботи, без да се влияят от ограниченията, свързани с анализираниите проблеми.

При изработване на серия от модули, предложената конструкция, може да се оптимизира, като съставните детайли на звената се заменят с монолитни лети детайли, което ще намали теглото и себестойността на ориентиращия модул.

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.

REFERENCES:

- [1] J.-P. MERLET Parallel Robots, second edition, 2006 ISBN-10 1-4020-4133-0
- [2] Frisoli A. and others . Synthesis by screw algebra of translating in parallel actuated mechanisms. ISBN: 978-94-011-4120-8
- [3] Kefei Wen, Kinematically Redundant (6+3)-dof Hybrid Parallel Robot with Large orientational ISBN:978-1-5386-6027-0
- [4] Clément Gosselin, Louis-Thomas Schreiber, Kinematically Redundant Spatial Parallel Mechanisms for Singularity Avoidance and Large Orientational Workspace, ISSN: 1941-0468
- [5] L. Lefterov, I. Dimitrov, P. Yordanov, E. Ganchev, Machine Elements ISBN 954-03-0388-5
- [6] V. I. Pavlov, Designing industrial robots, 1993 <https://www.fanuc.eu/bg/en>
- [7] <https://uk.misumi-ec.com/vona2/mech/>

DEVELOPMENT OF ORIENTATION MODULE FOR PARALLEL DELTA ROBOT

Stanislav Tcolov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Reneta Dimitrova
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Stiliyan Nikolov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: st_nikolov2@tu-sofia.bg

Abstract: In this paper, a design of a 3 DOF-rotational orienting module intended for integration into a 3 DOF-translational parallel delta robot is proposed. An analysis of the advantages of using such a module compared to a parallel robot with 6 DOF used to perform "Pick and Place" operations was made.

KINEMATIC ANALYSIS AND MODELING OF MOVEMENTS OF HEALTHCARE ASSISTANT ROBOTS

Roman Zahariev
Institute of Robotics,
Bulgarian Academy of Sciences
Sofia, Bulgaria
e-mail: roman.zahariev@abv.bg

Nina Valchkova
Institute of Robotics,
Bulgarian Academy of Sciences
Sofia, Bulgaria
e-mail: nvalchkova@abv.bg

Plamen Raykov
Institute of Robotics,
Bulgarian Academy of Sciences
Sofia, Bulgaria
e-mail: plamen.raykov@abv.bg

Abstract: The paper proposes a systematization of approaches for direct and numerical determination of the positions of the units of a random closed mechanism for a robot manipulator designed for healthcare implementation. The goal is to facilitate the logical connection of the individual modules in a specific mechanism, as well as to determine the characteristics of specific points of the units of the kinematic structure of the robot, which have an implicitly solvable positional task in the kinematic analysis. Such are robots with a closed complex structure designed to serve patients in healthcare. The described algorithms are also applicable both when solving the straight problem and when solving the inverse problem of kinematics when the target function of the executive unit is set. With such kinematic structures of the healthcare assistance robot, the high positioning accuracy of the executive unit is required in the realization of the target.

Keywords: Manipulator Motion Modeling, Closed Structure Mechanisms and Robots.

I. INTRODUCTION

The world is faced with a new challenge, namely the pandemic Coronavirus COVID-19 and the scientific potential has been actively involved in finding methods and means to limit the infection and overcome it. One of the main tasks is to create conditions in which people on the front line in the fight against the virus (doctors, nurses, paramedics, etc.) be replaced by robots in some routine activities, which will reduce the risk of infection. The development of service robotics allows us to look for a solution for a robot assistant in healthcare, but the activities in this area are many and varied, and the universal service robot is still underdeveloped (too expensive), therefore we propose to develop a Methodology for determining the functional parameters of mobile service robot assistant in health care, on the basis of which solutions for specialized robots will be sought, depending on the needs for the robotization of a specific process. For this task, we will use the accumulated knowledge in the field of robotics and especially in service robots that help disadvantaged people. They aim to support this group of people and ensure their independent life by replacing human companions. Like medical needs, the problems of disadvantaged people are specific, and dividing them by criteria cannot capture the needs of every one of them. Therefore, the design of a robotic healthcare assistant is a specific task and must be refined according to the individual needs of each disabled or handicapped person [9,10,11]. This solution will be expensive and finding universality is in the process of increasing the manipulability, mobility and adaptability of service robots.

Analytical methods for calculating the coordinates of characteristic points of kinematic pairs connecting the units of mechanisms with a closed structure (vector, matrix, screw, coordinate, etc.) are the only ones that allow the creation of fast and sufficiently accurate computer programs for modeling the movements of the mechanisms.

Unfortunately, however, the direct transfer of vector and matrix [2, 7, 8] methods, the most widespread in the study of open kinematic chains, is impossible, since they are based on the use of inverse trigonometric functions, which leads to ambiguity of the mathematical model. Methods based on the division of the closed mechanism into several open groups by "breaking" one or more kinematic pairs have similar disadvantages [1,4].

The most promising analytical method for studying mechanisms containing closed structures is the coordinate method. It is based on geometric dependencies between the Cartesian coordinates (x_i, y_i) and (x_j, y_j) of the centers of the kinematic pairs A_i and A_j , written most often in the form:

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 = L_{ij}^2$$

where:

L_{ij} is the length of the segment joining the two centers. The unknown coordinates are expressed in terms of known lengths and unknown angles, and from the solution of the resulting system the unknown angles are determined. That is, instead of solving the system directly with respect to the unknown coordinates, trigonometric functions are additionally inserted into it, which brings it closer to the systems of equations obtained when applying vector methods.

The studies described in [3] are the closest to the proposed approach. Due to the fact that the kinematic structure is not reduced by logical removal of leading links, the complexity of the resulting analytical system requires the authors to use an approximate method for determining the unknown coordinates even in cases where the use of an exact solution is possible. The existing automated methods for describing the movements of mechanism units based on the automatic generation of the equations of motion have the same drawback. They reflect the trend in mechanism research, which is based on the use of specialized software packages running on powerful workstations, with universal application in the study and design of mechanisms.

Unfortunately, however, such software products have a high price and are unsuitable for equipping workplaces in small and medium-sized construction teams.

For this purpose, the main types of statically determinable structural modules were studied, according to the classification introduced by Asur and referred to below as Asur groups of the corresponding class. By introducing one or more drive units to these modules, it is possible to obtain the entire variety of known lever mechanisms with lower kinematic pairs.

II. MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROBLEM

The necessary basic modules for compiling such a package can be divided into two main types: calculation methods for determining the coordinates of characteristic points of the Asur's groups and auxiliary modules for determining the actual possible solutions fulfilling the conditions of the specific construction (joint constraints, intersection of units and such).

A. Calculation of the coordinates of characteristic points of Asur's groups of II Class.

1.) Class II Aasur's group with rotary pairs. With known coordinates of points A(xA, yA), B(xB, yB) and arm lengths AP = l1, BP = l2, it is possible to analytically find the coordinates of point P (Fig. 1).

To minimize computational operations, a local right-hand coordinate system Aξη with a center at point A and an abscissa axis passing through point B is introduced. If we denote the coordinates of point B in the local coordinate system by ξB and ηB, then:

$$\begin{cases} \xi_B = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \\ \eta_B = 0 \end{cases}$$

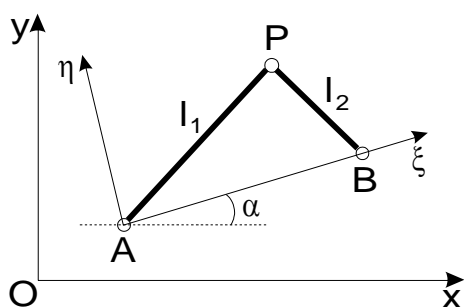


Fig. 1. Class II Aasur's group with rotary pairs.

Let the coordinates of the point P in the system Aξη be ξP and ηP. The projection equations on the local coordinate axes are:

$$\begin{cases} l_1^2 = \xi_P^2 + \eta_P^2 \\ l_2^2 = (\xi_P - \xi_B)^2 + \eta_P^2 \end{cases}$$

from which can be determined:

$$\begin{cases} \xi_P = \frac{l_1^2 - l_2^2 + \xi_B^2}{2\xi_B} \\ \eta_P = \pm \sqrt{l_1^2 - \xi_P^2} \end{cases}$$

Using the formulas for changing the coordinate system, the xP and yP coordinates of the point P in the Oxy coordinate system are found:

$$\begin{cases} x_P = x_A + \xi_P \frac{x_B - x_A}{\xi_B} + \eta_P \frac{y_B - y_A}{\xi_B} \\ y_P = y_A + \xi_P \frac{y_B - y_A}{\xi_B} \pm \eta_P \frac{x_B - x_A}{\xi_B} \end{cases}$$

2.) Class II Asur,s group with external translation pair. Given the coordinates of the point M(xA, yA), the length of the unit MN = b, and the equation of the line p:

$$Ax + By + C = 0$$

The unit MN is connected to line p by a sliding pair (Fig.2).

If the coordinates of the point N are denoted by xN and yN, then from the system of equations:

$$\begin{cases} Ax_N + By_N + C = 0 \\ (x_N - x_M)^2 + (y_N - y_M)^2 = b^2 \end{cases}$$

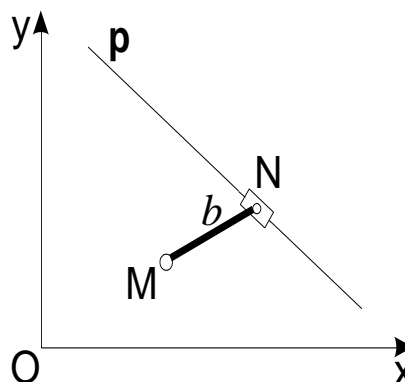


Fig. 2. Class II Asur's group with external translation pair.

solutions are obtained

$$\begin{cases} x_N^{1,2} = \frac{-G \pm \sqrt{G^2 - 4FH}}{2F} \\ y_N^{1,2} = -\frac{Ax_N^{1,2} + C}{B} \end{cases}$$

where:

$$F = A^2 + B^2$$

$$G = 2(AB y_M - B^2 x_M + AC)$$

$$H = B^2(x_M^2 + y_M^2 - b^2) + 2BC y_M + C^2$$

When the line p is parallel to the axis Oy (B = 0), the solution takes the form:

$$\begin{cases} x_N = -\frac{C}{A} \\ y_N^{1,2} = \frac{-G' \pm \sqrt{G'^2 - 4F'H'}}{2F'} \end{cases}$$

where:

$$F' = A^2$$

$$G' = -2A^2 y_M$$

$$H' = A^2(x_M^2 + y_M^2 - b^2) + 2AC x_M + C^2$$

3.) Class II asura group with internal translation pair. For an Asura's group of class II with an internal translation pair, it is considered that the coordinates of the points M(xM ,yM), N(xN ,yN) are given, with a line p passing through the point N passing through the point Q (xQ , yQ) and forming a constant angle α with the unit MQ (MQ = b), (Fig. 3.). The coordinates of point Q must be determined.

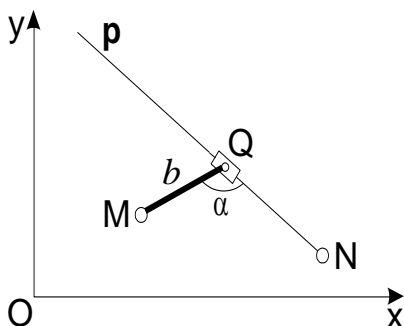


Fig. 3. Asura's group of class II with internal translation pair.

The distances are found:

$$\begin{cases} MN = \sqrt{(x_M - x_N)^2 + (y_M - y_N)^2} \\ NQ = \frac{MN \sin \gamma}{\sin \alpha} \end{cases}$$

where:

$$\gamma = \angle NMQ = 180 - (\alpha + \beta), \quad \beta = \angle MNQ = \arcsin \frac{b \sin \alpha}{MN}$$

To find the coordinates of the point Q, the same method is applied that is used for the Asura group of the second class with rotation modules.

B. Calculation of the coordinates of characteristic points of Asur's groups of III Class.

For the Asura's group of the third class, it can be considered that the lengths of the units li (i=1, 2, ... , 6) and the coordinates of the hinge centers A(xA , yA), B(xB , yB) are set and C(xC , yC) (Fig. 4). The goal that is set is to determine the coordinates of points E, F, and D.

Projecting the two vector equations

$$\begin{aligned} \overline{AD} + \overline{DE} &= \overline{AB} + \overline{BE} \\ \overline{AD} + \overline{DF} &= \overline{AC} + \overline{CF} \end{aligned}$$

on the Ox and Oy axes and marking the angles that the four units of the group make with the Ox axis with γ1 , γ2 , γ3 , γ4 four scalar equations of the form are obtained:

$$\begin{cases} l_1 \cos \gamma_1 + l_4 \cos \gamma_4 = x_B - x_A + l_2 \cos \gamma_2 \\ l_1 \sin \gamma_1 + l_4 \sin \gamma_4 = y_B - y_A + l_2 \sin \gamma_2 \\ l_1 \cos \gamma_1 + l_6 \cos(\gamma_4 + \theta) = x_C - x_A + l_3 \cos \gamma_3 \\ l_1 \sin \gamma_1 + l_6 \sin(\gamma_4 + \theta) = y_C - y_A + l_3 \sin \gamma_3 \end{cases}$$

relative to the unknowns γ1 , γ2 , γ3 , γ4, where θ is found by the formula:

$$\theta = \arccos \frac{l_4^2 + l_6^2 - l_5^2}{2l_4 l_6}$$

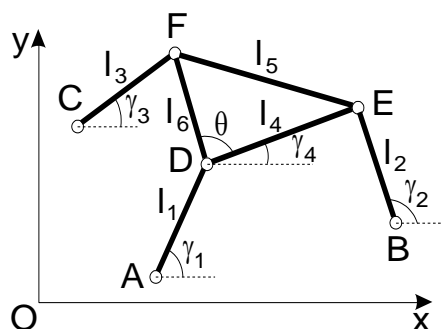


Fig. 4. Asura group of III class.

It follows from equations (1) that:

$$\begin{cases} \cos \gamma_2 = \frac{l_1 \cos \gamma_1 + u_1}{l_2}, \quad \sin \gamma_2 = \frac{l_1 \sin \gamma_1 + u_2}{l_2} \\ \cos \gamma_3 = \frac{l_1 \cos \gamma_1 + u_3}{l_3}, \quad \sin \gamma_3 = \frac{l_1 \sin \gamma_1 + u_4}{l_3} \end{cases} \quad (2)$$

where:

$$\begin{aligned} u_1 &= l_4 \cos \gamma_4 - d_1, & u_2 &= l_4 \sin \gamma_4 - d_2 \\ u_3 &= l_6 \cos(\gamma_4 + \theta) - d_3, & u_4 &= l_6 \sin(\gamma_4 + \theta) - d_4; \\ d_1 &= x_B - x_A, & d_2 &= y_B - y_A, & d_3 &= x_C - x_A, & d_4 &= y_C - y_A. \end{aligned} \quad (3)$$

Based on the identity from system (2),

$$\sin^2 \gamma_i + \cos^2 \gamma_i = 1 \quad (i = 2, 3)$$

the system is obtained:

$$\begin{cases} 2l_1(u_1 \cos \gamma_1 + u_2 \sin \gamma_1) + u_5 = 0, \\ 2l_1(u_3 \cos \gamma_1 + u_4 \sin \gamma_1) + u_6 = 0, \end{cases} \quad (4)$$

where:

$$u_5 = u_1^2 + u_2^2 + d_5, \quad u_6 = u_3^2 + u_4^2 + d_6; \quad (5)$$

$$d_5 = l_1^2 - l_2^2, \quad d_6 = l_1^2 - l_3^2. \quad (6)$$

From the system (4) are found

$$\cos \gamma_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad \sin \gamma_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad (7)$$

where:

$$\begin{aligned} \Delta &= 2l_1(u_1 u_4 - u_2 u_3), \\ \Delta_1 &= u_2 u_6 - u_4 u_5, \quad \Delta_2 = u_3 u_5 - u_1 u_6. \end{aligned} \quad (8)$$

As a result of these transformations and after applying the identity, an equation with one unknown γ_4 is obtained:

$$F(\gamma_4) \equiv \Delta_1^2 + \Delta_2^2 - \Delta^2 = 0. \quad (9)$$

Based on equalities (8), the function $F(\gamma_4)$ can be written as follows:

$$F(\gamma_4) = u_7(u_8 + d_6)^2 + u_8(u_7 + d_5)^2 - 4l_1^2(u_7 u_8 - u_9^2) - 2u_9(u_7 + d_5)(u_8 + d_6), \quad (10)$$

where:

$$\begin{aligned} u_7 &= u_1^2 + u_2^2 = -2l_4(d_1 \cos \gamma_4 + d_2 \sin \gamma_4) + l_4^2 + d_1^2 + d_2^2, \\ u_8 &= u_3^2 + u_4^2 = -2l_6[d_3 \cos(\gamma_4 + \theta) + d_4 \sin(\gamma_4 + \theta)] + l_6^2 + d_3^2 + d_4^2, \\ u_9 &= u_1 u_3 + u_2 u_4 = l_4(l_6 - d_3) \cos \gamma_4 - l_4 d_4 \sin \gamma_4 - \\ &\quad - l_6 [d_1 \cos(\gamma_4 + \theta) + d_2 \sin(\gamma_4 + \theta)] + d_1 d_3 + d_2 d_4. \end{aligned}$$

Since $u_7, u_8,$ and u_9 depend linearly on $\sin \gamma_4, \cos \gamma_4$.

It follows from (10) that the function $F(\gamma_4)$ is a trigonometric polynomial of the form:

$$F = A_1 z^3 + A_2 z^2 v + A_3 z^2 + A_4 z v + A_5 z + A_6 v + A_7, \quad (11)$$

where $z = \sin \gamma_4, v = \cos \gamma_4,$ and A_1, A_2, \dots, A_7 are coefficients depending only on the 12 set parameters of the group.

The following method [4] is used to find the coefficients of the polynomial (11):

1. The argument γ_4 is assigned seven arbitrary values and the corresponding seven values of the function $F(\gamma_4)$ are calculated using the algorithm described above.
2. Substituting these seven values of the angle γ_4 and the found values of the function F in equation (11), the resulting system of seven linear equations regarding the unknowns A_1, A_2, \dots, A_7 is solved.

In order to simplify the calculations, such values of the angle γ_4 are taken that their sines and cosines have relatively simple values, for example: 0 and 1; 0 and -1; 1 and 0; -1 and 0; 0.6 and 0.8; 0.6 and -0.8; -0.6 and 0.8. In this case, the resulting system of linear equations is easily solved regarding the unknowns. For the values of the angle γ_4 thus set, the system is obtained

$$\begin{cases} A_7 = \frac{1}{2}(F_1 + F_2), & A_6 = \frac{1}{2}(F_1 - F_2), & A_3 = \frac{1}{2}(F_3 + F_4 - F_1 - F_2), \\ A_1 = \frac{5}{96}[16(F_1 + F_2) + 24F_3 - 6F_4 - 25(F_5 + F_6)], \\ A_5 = \frac{1}{2}(F_3 - F_4) - A_1, \\ A_4 = \frac{1}{24}[9(F_3 + F_4) - 25(F_6 + F_7) + 32A_7], \\ A_2 = \frac{5}{72}[-36F_1 + 4F_2 - 9(F_3 + F_4) + 25(F_5 + F_7)], \end{cases} \quad (12)$$

where $F_k = F(\gamma_{4k})$ is the k th calculated value of the function $F(\gamma_4)$ ($k=1, 2, \dots, 7$).

Based on (11) and the identity $z^2 + v^2 = 1$ the trigonometric equation (9) can be written in the form of the following algebraic (with respect to the unknown z) equality:

$$R_1^2 = (1 - z^2)R_2^2, \tag{13}$$

where:

$$R_1 = A_1z^3 + A_3z^2 + A_5z + A_7, R_2 = A_2z^2 + A_4z + A_6. \tag{14}$$

It can be seen from (13) that every real root of the equation (if we exclude from consideration the special case when $R_1(z) = R_2(z) = 0$) satisfies the condition:

$$-1 \leq z \leq 1.$$

Equation (13) can be transformed into the form

$$\Phi(z) \equiv B_0z^6 + B_1z^5 + B_2z^4 + B_3z^3 + B_4z^2 + B_5z + B_6 = 0, \tag{15}$$

where:

$$\begin{cases} B_0 = A_1^2 + A_2^2, & B_1 = 2(A_1A_3 + A_2A_4), \\ B_2 = A_3^2 + A_4^2 - A_2^2 + 2A_1A_5 + 2A_2A_6, \\ B_3 = 2(A_3A_5 + A_4A_6 + A_1A_7 - A_2A_4), \\ B_4 = A_5^2 + A_6^2 - A_4^2 + 2A_3A_7 - 2A_2A_6, \\ B_5 = 2(A_5A_7 - A_4A_6), & B_6 = A_7^2 - A_6^2. \end{cases}$$

Thus, the task is reduced to solving the algebraic equation (14), which is of the 6th degree, that is, to finding the roots of the polynomial $\Phi(z)$. As shown above, they always lie in the interval

$[-1, 1]$. The values of the function $\Phi(z)$ at the endpoints of this interval satisfy the inequalities

$$\Phi(-1) \geq 0, \Phi(1) \geq 0,$$

$$\text{As } \Phi(\pm 1) = (A_1 \pm A_3 \pm A_5 \pm A_7)^2.$$

The number K of real roots of the equation of the 6th degree (14) is not greater than 6. Usually K takes values 0, 2, 4 or 6, since the number of complex roots is even, and all real roots if exist, they are usually different. In the special cases when the roots are multiples, the number K can take other values, but such cases are unlikely and can only occur in special situations of the external hinges of the group.

The number of actually existing variants of the Asura's group of class III (hereinafter referred to as assembly variants) coincides with the number K of the solutions of the source system of equations (1), that is, with the number of solutions of the system (9), and in the case of reduction to one final equation with the number of real roots of the polynomial (14).

The case $K = 0$ means that for the given parameter values the group does not exist. The case $K > 0$ means that the group has K number of assembly variants, that is, the members of the group can occupy K number of non-coinciding positions on the plane with fixed positions of the external hinges.

The number K of assembly variants of a four-membered group can be found in another way, in which it is not necessary to find the roots of the equation (14), but it is only necessary to know the values of the coefficients B_0, B_1, \dots, B_6 of the polynomial $\Phi(z)$. This method is based on Sturm's method for determining the number of real roots of a polynomial on the given interval and is described below.

As was shown, all real roots of the polynomial $\Phi(z)$ lie in the interval $[-1, 1]$. According to Sturm's method, the number K of real roots of a polynomial of the sixth degree that lie in the interval $[-1, 1]$ is determined by the formula

$$K = N(-1) - N(1),$$

where: $N(x)$ is the number of sign changes in the sequence $f_0(x), f_1(x), \dots, f_6(x)$;

$$f_0(x) = \Phi(x), \quad f_1(x) = \frac{d f_0}{d x},$$

$f_k(x)$ - the remainder of the division of

$f_{k-2}(x)2(x)$ by $f_{k-1}(x)$, taken with the opposite sign ($k = 2, 3, \dots, 6$).

The roots of the polynomial $\Phi(z)$ are found by the method of secants. After the roots

z_i ($i = 1, 2, \dots, K$) of the polynomial $\Phi(z)$ have been found, the calculations are performed separately for each of the K assembly variants. Thus, for the i -th assembly option, we find:

$$\begin{cases} \sin \gamma_4 = z_i, \\ \cos \gamma_4 = -R_1/R_2, \end{cases}$$

where R_1 and R_2 are found by formulas (14) at $z = z_i$. Then $u_1, u_2, \dots, u_6, \Delta, \Delta_1, \Delta_2$ are found by formulas (3), (5) and (8) and $\cos \gamma_1, \sin \gamma_1, \cos \gamma_2, \sin \gamma_2, \cos \gamma_3, \sin \gamma_3$ are calculated according to formulas (2) and (7) [5, 6].

In the algorithm discussed above, the cases where $\Delta=0$ and $R_1 = R_2 = 0$ are not included because they are trivial.

III. CONCLUSION

The purpose of creating a service robot is to cover a wide range of activities to perform various tasks in the service of people in the medical facility, to perform auxiliary functions, as well as to help people with disabilities. Of course, this is a difficult and very responsible task, which implies the realization of special functional characteristics of the service robot.

It is supposed to work in close proximity with the people of the medical staff as well as with the patients served. First, a service robot was created to help the disabled. Due to the matching of the set tasks, the ensured high positioning accuracy of the robot's manipulator and the possibility to work safely in close proximity to people based on the rich sensory information received from the environment, it is proposed to use this cognitive robot for the purpose of providing assistance in medicine. Through logical connection tailored to the specific structure of the investigated robot mechanism, new knowledge can be obtained about the kinematics, reconfiguration possibilities, functionality and metric influence of the mechanism units, which knowledge will contribute to the construction of new, more efficient constructions of manipulation mechanisms and creation of a more realistic model by which the robot will be managed to assist healthcare. Algorithms for determining the force loads of the individual units of the studied mechanism can be easily created on their basis, in a manner similar to that described by V. Kagan and A. Andreev [2]. The obtained results of the research can find application in the field of construction of mechanisms in mechanical engineering, equipment construction, production of manipulators and robots, construction of mechatronic products, training of students in higher education institutions, etc.

ACKNOWLEDGMENT

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, Bulgaria.

REFERENCES

- [1] U. A. Joldasbekov, "Graphoanalytic Methods of the Analysis and Synthesis of Mechanisms of High Classes". Moscow, Nauka, Russia, 1983.
- [2] V. Kagan, Andreev A., "Algorithms of Kinematic Calculation of Two-Wire And Three-Wire Groups. Algorithms of Design Schemes of Mechanisms". Moscow, Nauka, Rossiya, pp. 102-125, 1979.
- [3] M. Konstantinov, Raikov P., "Study of the Possibilities of some Closed Kinematic Structures for their use in Robotics". Fifth NCTPM, Varna, Bulgaria, pp. 168-173, 1985.
- [4] E. E. Peysakh, Nesterov V.A. "System of Design of Flat Lever Mechanisms". Moscow, Mashinostroenie, Russia, 1988.
- [5] R. Paul, "Modeling, Trajectory Planning and Control of the Robot Manipulator". Moscow, Nauka, Russia, 1978.
- [6] M. A. Chase, "Vector Analysis of Linkages". J. Engineering for Industry, Trans.ASME, Vol.85, 1963.
- [7] H Chung, C Radcliffe, "Kinematics and Mechanisms Design". John Wiley & Sons Inc., 1978.
- [8] J. Denavit, R. Hartenberg, "A Kinematic Notation Lower Pair Mechanisms Based on Matrices". J. Applied Mechanics, Vol. 22, 1955.
- [9] Y. Paunski, R. Zahariev, "Service Robots Control System, Based on Arm Cortex M Architecture Microprocessor System", Pr. TU Sofia, XXVI International Conference "ADP-2017", June, 2017, Sozopol, Bulgaria, 2017, pp. 300-304
- [10] N. Valchkova, R. Zahariev, "Optimization of Model Operator for A Service Robot, Intended to Service Persons with Disability.", Pr."TECIS-19" IFAC Conf. 26-28 September, 2019, Sozopol, Bulgaria. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.468>
- [11] R. Zahariev, N. Valchkova, G. Angelov, Y. Paunski et al. "Robots for Help in Pedagogy and Rehabilitation." In Pr. 20th Int. Conf. on Computer Systems and Technologies, ACM, New York, NY, (2019) USA, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1145/3345252.3345253>

A SERVICE ROBOT MODULE BASED ON 8-BIT MICROCONTROLLERS DESIGNED TO MEASURE A PATIENT'S TEMPERATURE

Vasil Tsvetkov
Bulgarian Academy of Sciences,
Institute of Robotics
Sofia Bulgaria
e-mail: cvetufv_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: roman.zahariev@abv.bg

Abstract: This article examines the application of Microchip's 8-bit PIC microcontrollers for the purpose of building the sensor system of a service robot used in healthcare. A microprocessor system based on a PIC16F628A and a temperature sensor DS18B20 from the company MAXIM semiconductor was considered and their unctional possibilities were analyzed. A structural diagram of the algorithm for extracting data from the communication interface of the sensor is provided, and an electrical schematic diagram is provided.

Keywords: service robot, digital temperature sensor, PIC microcontroller, patient care, body temperature, mobile platform, Omni wheels.

I. INTRODUCTION

The use of thermographic systems is crucial for the initial assessment of temperature for medical purposes, in cases such as:

- Initial screening of human temperature during triage during emergency situations in health facilities to determine the level of fever and elevated temperature.
- Temperature evaluation in high occupancy areas such as public and business buildings, airports, and more.

Normal body temperature changes during different parts of the day according to the circadian rhythm Regulation occurs in the frontal part of the human brain called the hypothalamus [5].

The surface temperature of human skin is different from the internal body temperature and varies for different body parts. Facial skin temperature is usually between 32°C (cheeks) and 34°C (forehead) and is lower than normal body temperature (36.5°C-37.5°C) due to heat exchange between the human body and environment (body heat loss). In order to determine the internal temperature of the body, by means of the skin temperature, the arterial heat balance method can be applied:

$$T_c = K*(T_s + T_a) + T_s, \tag{1}$$

where:

Tc- core body temperature

Ts- temperature on the surface of the skin;

Ta- environmental temperature;

k- the thermal coefficient for the skin surface area.

The arterial balance method mainly depends on the degree of blood perfusion in the local tissue [4]. Studies have shown the insufficient accuracy of this method, but it is applicable when there are no requirements for high accuracy of the measured temperature - for example, initial triage or momentary assessment of the patient's state of health. The aim of this study is to synthesize a sensor microprocessor system to be implemented in the structure of a service robot, with an application in health care for measuring the body temperature of patients. The author's focus is to offer an economically viable system built with affordable materials and a modern element base. Achieving the goal set in this article is tied to the fulfillment of the following tasks:

- Synthesis and simulation of schematic circuit in a software environment;
- Development of PCB of the sensor module;
- Evaluation of the possibility of application of sensor-information systems built with 8-bit microcontrollers and intelligent temperature sensors for the purposes of service robotics.

II. SYSTEM DESIGN

A. Schematic diagram of a two-zone temperature sensor

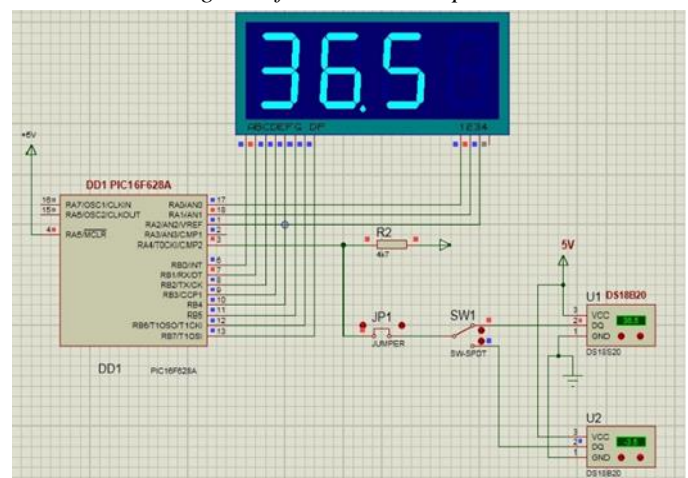


Fig. 1. Schematic diagram of a two-zone temperature sensor module for the purpose of a service robot in healthcare.

The schematic diagram (fig.1) clarifies the method by which the module receives temperature information. The sensor part is based on two specialized DS18B20 intelligent sensors, manufactured by DALLAS SEMICONDUCTOR DS 18B 20 is an improved intelligent temperature sensor, the successor of the DS1820. In contrast to the thermistor-based sensors, the advantages of the used component are indisputable. It is capable of direct conversion of the measured temperature and programming and encoding it into a 9 or 12-bit binary value. The conversion itself takes 750 ms. The communication interface with the PIC microcontroller is single-wired, and the DS18B20 is powered on the same data line. This eliminates the need to use a large number of I/O ports of the microcontroller. The proposed circuit solution was developed as a modular device (Fig. 2). A computer simulation of the circuit diagram was performed in PROTEUS and the printed circuit board was created in EasyEda. Compactness considerations have been followed in the design in order to easily mount on various mobile robotic platforms.

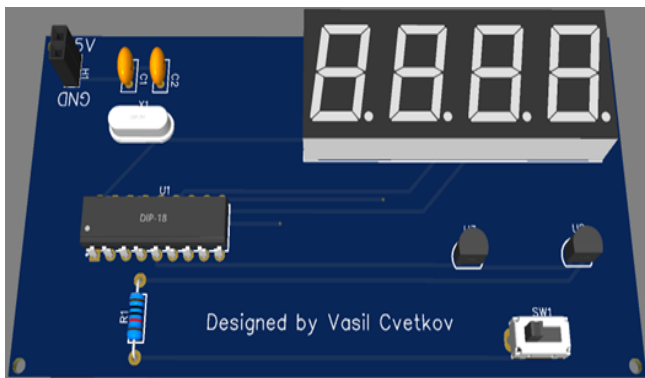


Fig. 2. 3D model of the designed 2-zone sensor module.

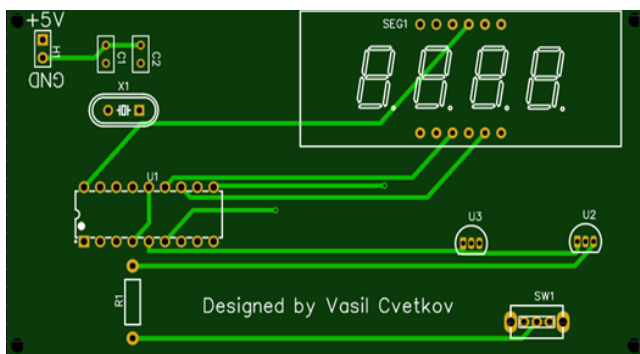


Fig. 3. PCB component side.

B. Main characteristics of the DS18B20 sensor

- Reduced component count in system design;
- Temperature range from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F);
- ±0.5°C accuracy in range from -10°C to +85°C;
- Programmable conversion resolution from 9 ÷ 12 bits;
- Implementation of the DS18B20 in the design eliminates the need of other external components;
- Unique individual 64-bit ID address, saved in the sensor's ROM ;

- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μSOP, и 3-Pin TO-92 packages.

III. SENSOR MODULE PROGRAM ALGORITHM

The main program code for the PIC microcontroller was written in Assembly programming language and the algorithm is shown (Fig 4).

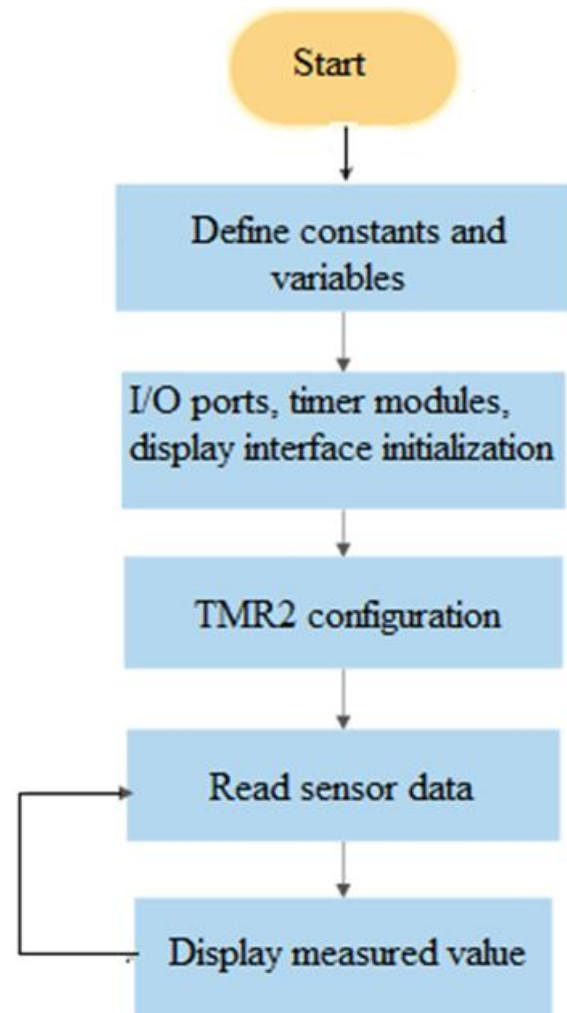


Fig. 4. Program algorithm

Initialization is a standard procedure for the PIC MCU. The following code fragment is presented as an example. The term initialization refers to the definition of the states of the I/O ports of the MCU. This procedure requires the manipulation of the TRIS registers. Prior to manipulating the bits of any of these registers the corresponding memory bank should be selected - bank 0 or bank 1. PIC16f628A has two 8-bit TRIS registers - TRISA and TRISB. Setting any of these bits in 1 state defines the pin as an input and vice versa- setting it in 0 defines the corresponding pin as output;

```

PORTA and PORTB init subroutine;
INIT MOVLW H'07'; Turn Comparators off and enable pins for I/O functions
MOVWF CMCON;           CM0, CM1, CM2 off
BSF STATUS, RP0;      Bank 1
  
```

```

MOV LW B'00010000' ; RA<7:5><3:0> Output, RA<4>
Input
MOVWF TRISA
CLRF TRISB ; RB<7:0> Outputs
BCF STATUS, RP0; Bank 0
CLRF PORTA; clear random stored data
CLRF PORTB; clear random stored data

```

The communication between the smart temperature sensor and the used PIC microcontroller is established over a single-wire data line. For this purpose, it is necessary to provide a startup algorithm in the program code

```

CALL DQ_LL; Force the DQ Line to Logic Low
MOV LW (D'480'-5)/5 ; Reset pulse held minimum of
480uS
CALL DELAY ;
CALL DQ_HIZ; Release DQ Line
MOV LW (D'60'-5)/5; Wait for recovery
CALL DELAY ;
BTFSC PORTA, 4; Test for 'Presence Pulse'
GOTO DS18B20_RESET; If not present, Reset
MOV LW (D'420'-5)/5; Must wait for a minimum of
480uS from when the DQ line is released before moving on
CALL DELAY ;

```

IV. MOBILE ROBOTIC PLATFORM

In this section, a four-Mecanum-wheeled robot with a symmetrical structure is taken as the research object. A number of scientific sources describe them as characterized by higher mobility in comparison to conventional wheeled platforms. They find application when performing tasks in an environment with the presence of a large number of static and dynamic objects that present obstacles for the mobile robot. Such characteristic of the working environment is found in facilities and production premises, warehouses, hospitals, and care centers for the elderly. Conventional wheels are mechanically simple and have a high load capacity and a high tolerance to the unevenness of the working surface. However, due to their nonholonomic nature, they are not truly omnidirectional. There are proposals to design a platform that uses conventional wheels and achieves performance close to that of platforms with omnidirectional wheels (OWMP) [1]. The cited mobile platforms have at least two active wheels, each of which has a drive mechanism and a steering mechanism. Although this type of platform can move in all directions, a major drawback is that in case of movement along non-continuous curvatures, it is necessary to stop and reorient its wheels [3].

The slippage between the wheels and the ground is a disadvantage of Mecanum-wheeled robots, causing them to lose velocity and affecting their positioning accuracy. There are currently some studies on reducing the impact of slippage on the accuracy of robot motion. Chu [2] proposed a method to eliminate position and orientation errors; in this method,

multiple ultrasonic distance sensors were used to measure the position and orientation of the mobile robot, and a position compensation algorithm was developed to minimize the position error between the current position and the desired position.

A. Geometric characteristics of the robot

According to the geometric characteristics of the robot, for any Mecanum wheel O_{wi} , $\alpha_i + \beta_i = 0$, the following formula can be derived:

$$\dot{\varphi}_i = \frac{-1}{r_w \sin \gamma_i} [\cos \gamma_i \quad \sin \gamma_i \quad l \sin(\beta_i + \gamma_i)] \dot{\zeta} = -\frac{1}{r_w} [\cot \gamma_i \quad 1 \quad W - H \cot \gamma_i] \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Equation (2) provides information on the platform kinematic model and how a robot would perform in the working area.

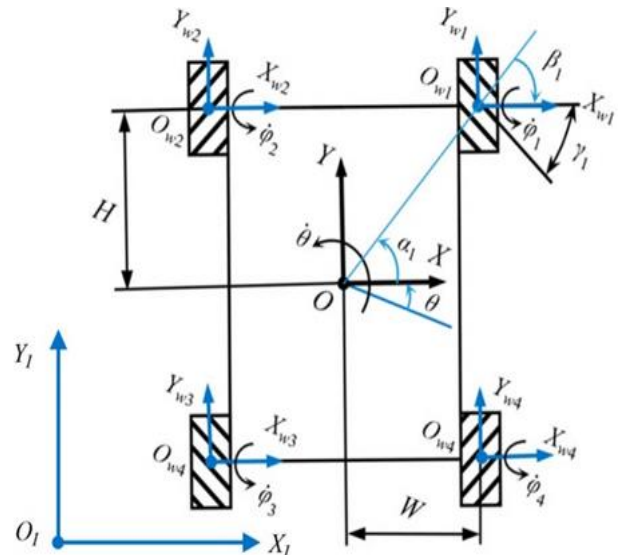


Fig. 5. Geometric characteristics of the robot.

The designed service robot sensor module is mounted on a mobile platform with a hardware configuration shown in (Fig.5). Main characteristic of the platform is the implementation of omnidirectional wheels (mecanum wheels), with a diameter of $\varnothing 100$; 450, through which it achieves the necessary kinematic parameters for a service robot [6]. As a particularly important feature, the ability to perform translational plane movements without a turning radius can be pointed out (Fig.6).

During the construction of the mobile robot, considerations regarding technical clarity and traceability of the individual levels of the architecture, sufficient computing capacity of the controller (necessary for command communication, processing of information coming from the sensor-information system, as well as for the implementation of a control function) were observed of the electric drive, possibility to configure and upgrade on a modular principle as well. Last but not least – the economic profitability of the product (Fig.7).

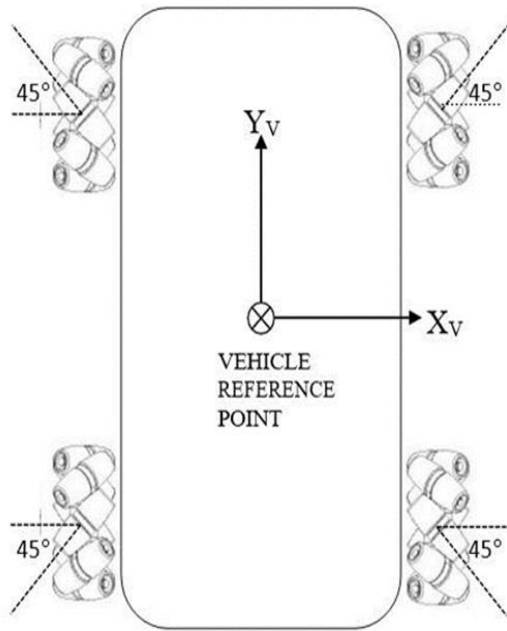


Fig. 6. OWMP layout.

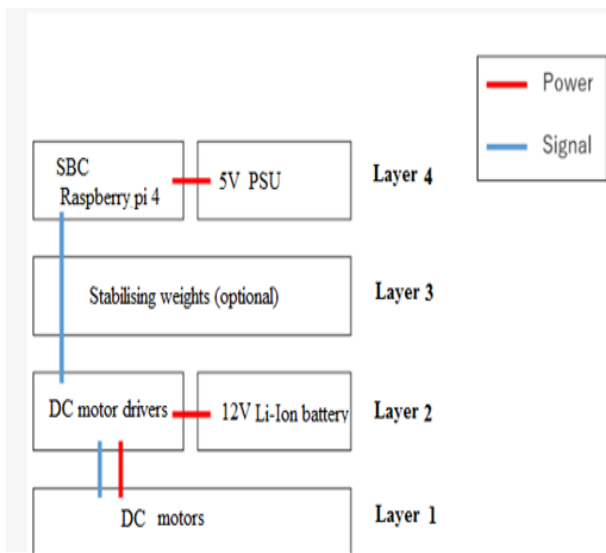


Fig. 7. Generalized diagram of the robotic platform topology.

CONCLUSION

In this paper an approach for making an improved two-zone temperature sensor module for application in the field of service robotics is proposed. The sensor has been successfully implemented on a mobile platform with omni-wheels. A mobile Android application was developed in order to control the entire setup through space, thus demonstrating the possibility of the application in a wheeled service robot of the 8-bit microcontrollers from the PIC family.

ACKNOWLEDGMENT

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, Bulgaria.

REFERENCES

- [1] N.M.Bornstein, Aronovich, B.D., Karepov, V.G., et al. (1996), The Tel Aviv Stroke Registry 3600 Consecutive Patients. Stroke, 27, 1770-1773.
- [2] B. Chu, "Position Compensation Algorithm for Omnidirectional Mobile Robots and Its Experimental Evaluation", Int. J. Precis. Eng. Manuf. 2017, 18, 1755-1762.
- [3] S Dubowsky, F Genot, S Godding, H Kozono, A. Skwersky, H Yu, LS Yu. "PAMM - A Robotic Aid to the Elderly for Mobility Assistance and Monitoring: A "Helping-Hand" for the Elderly" Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference ..., 2000.
- [4] F. Pompei and M. Pompei, "Non-invasive temporal artery thermometry: Physics, physiology, and clinical accuracy" in Proceedings of SPIE, edited by M. R. Dury, E. T. Theodorou, N. J. Harrison, M. Hilton and N. Fox, vol. 5405, 2004, pp. 61-67.
- [5] H. David Humes, "Kelley's Textbook of Internal Medicine", (Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2000) , August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- [6] M. Young, "The Technical Writer's Handbook". Mill Valley, CA: University Science, 1988

AN ECG MONITORING DEVICE FOR A MODULAR INSTRUMENT TO SURGICAL ROBOTS

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

Stoyan Ivanov
Communication Systems and Services
Institute of Information and
Communication Technologies,
Bulgarian Academy of Sciences
Sofia, Bulgaria
e-mail: stoyan.ivanov@iict.bas.bg

Yordan Doshev
Institute of Robotics,
Bulgaria Academy of Sciences
Sofia, Bulgaria
e-mail: jodo@abv.bg

Abstract: The article examines an innovative solution related to ECG (DECG) monitoring of patients during minimally invasive surgery. The device is part of a developed robotic modular laparoscopic instrument (RMLI). The ultimate goal is to create a new type of laparoscopy tool to improve healthcare and patient care. In the working mode of (RMLI), ECG analysis and patient monitoring and other diagnostic and therapeutic activities are performed comprehensively. The device detects and warns of abnormal heart rate during surgery. An innovative concept based on the uMAC wireless network stack is used for communication between the module and the control unit in local and remote (from a distance) mode of operation by means of the control computer program (Local Operator Station) and/or directly from the instrument display directly connected to the patient. Unlike other similar devices, innovative solutions related to the construction and connection of the ECG with the used RMLI robotic module are presented here. A future goal is the diagnostic tool to work as an autonomous device as well. The current development is a continuation of the team's work in minimally invasive surgical area.

Keywords: Robotics, Mechatronics, DECG, Minimally Invasive Surgery, Wireless Network Stack uMAC.

I. INTRODUCTION

Developments in information and communication technologies (ICT) are increasingly entering our daily lives. ICT improvements ensure a smart lifestyle with more options and free time. These improvements are most strongly reflected in the fields of healthcare [1, 2, 3], automation of household appliances, and smart services. Technologies are present in the treatment of the patient, in the operating rooms such as robots for operations [4, 5]. New protocols [6, 7] and modelling systems tools and sensor networks, as well as systems for collecting information and its subsequent processing in the fields of medicine and surgery, are increasingly being used. Some of them have applied unified modelling languages - UML [8, 9]. New wireless sensor networks with applications in medicine [10, 11] and bloodless surgery [12] have been developed and continue to be developed using state-of-the-art elements and devices in electronic and information technology [12].

ECG monitoring is mandatory during the operation. The electrocardiograph (ECG) is a commonly used physiological signal to monitor the electrical activity of the heart over time in a patient. The results of the electrocardiogram (ECG) are indicative of the condition of the human heart. Automatic analysis of these recordings can be performed using various computational methods from the fields of signal processing and machine learning. Various types of ECG monitoring devices have been developed for the needs of medicine [13]. Their advantage is related to the compactness and portability of the developed wireless heart rate monitoring devices [12, 14, 15, 16, 25].

The development of new devices in this field also pose new challenges related to their hardware and software implementation, communication and other aspects such as wireless transmission of information from the device to the control operator station on a computer or smart phone, signal processing and analysis. Necessary is that these devices provide precision, convenience and low cost [17, 19]. In recent years, systems with wireless transmission of ECG signals to a computer have been imposed as in [16, 18, 19].

New devices for ECG, heart rate, oxygen level and their application pose new challenges in the processing and analysis of measurement results and increase the need for automatic, cheap, real-time and effective monitoring of these parameters, with application in home and/or in outpatient settings.

One of the trends in medical technology is the development of robots, tools and accessories for them, which solve a number of problems such as scaling movements, eliminating tremors, precisely following a set trajectory, reducing errors and fatigue in the surgical hand, and all this is beneficial to both patients and physicians. The developed robotic systems are built on a modular basis to include additional diagnostic modules for monitoring vital functions of the patient and the accompanying equipment during the operation. The topicality of the topic stems from the above.

A robotic modular laparoscopic instrument was developed and manufactured, discussed in detail in previous studies [5].

External specialized autonomous instruments for monitoring the patient's current condition have also been designed for the needs of RMLI. The platform includes an operator's intelligent panel, a specialized management controller and various sensors to monitor various vital signs of the patient during the operation. These devices and the dedicated controller form a wireless network to exchange information in real time. An example of such instruments are: the ECG meters connected to the body of the operated person. Within the framework of the present study, a wireless diagnostic ECG device was designed as an additional module to the developed RMLI, designed to monitor the patient's current condition. The paper examines the designs of RMLI's dedicated controller and its capabilities for working with the designed diagnostic wireless ECG device (DECG), detailing the design of the DECG and its connection to the Dedicated Controller. The designed instrument is an important component for monitoring the patient's current condition during laparoscopic surgery. The possibilities for designing other modules to the robotic system are also presented. In conclusion, the prospects for refitting the RMLI and the possibilities for other DECG applications are indicated.

Several sections are included in the article: Introduction, point 1: A specialized controller to control RMLI and DECG; point 2: Device and mode of operation of a wireless diagnostic instrument (DECG) and Conclusion includes future directions for thematic work.

II. SPECIALIZED CONTROLLER FOR MANAGEMENT OF RMLI AND DECG

When performing laparoscopic operations, devices are also used to monitor various vital signs of the patient (ECG, blood pressure, level of CO2 level in the patient's abdominal cavity, etc.). The developed robotic modular laparoscopic instrument - RMLI, is designed to perform diagnostic and therapeutic procedures in laparoscopic surgery described in detail in [5, 20].

The platform integrates an operator's intelligent panel, a specialized control controller, electromechanical linear drives and tactile sensors for measuring longitudinal forces of the reaction of the manipulated object, as well as the additionally included modules for monitoring ECG, pulse, etc. [21]. This article will detail the operation of the Dedicated Controller and its connection to the Wireless ECG Monitoring Module.

The specialized Controller [5] is designed for:

- management and control of mechanical movements realized in RMLI;
- providing the operator with a convenient graphical interface (GUI), through which he can set commands to the RMLI, monitor their execution, receive a visual operation of the patient's condition, connect via wireless Internet to a remote server or client, in order to receive additional auxiliary information formed in energy-independent memory about the actions performed with RMLI and the indicators of the operated chronologically during the operation process [22];
- ensuring a wireless connection with smart devices (ECG mobile devices, wireless sensors, etc.);

- generation of text and sound messages upon detection of deviations in the operation of the RMLI (or the module installed to it), deviations in the parameters of the operator or incorrect commands given by the operator.

The controller includes two functional blocks A and B. Block A consists of two relatively independent sub-blocks (A1 and A2) that control and implement various RMLI functions. A1 and A2 communicate with each other via an SPI wire interface. Figure 1 shows a block diagram of block A.

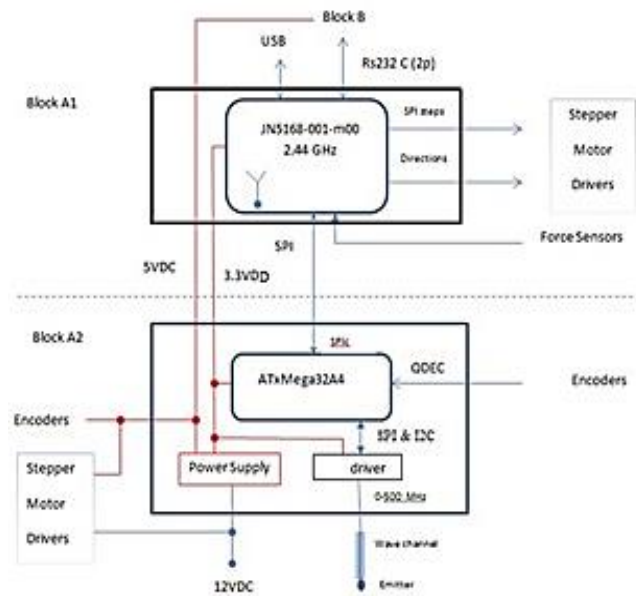


Fig. 1. Blok diagram of block A

A. Blok A -structure and functions (Figure 1).

Blok A acts as a master unit and is responsible for:

- the implementation and control of various mechanical movements;
- the processing of information from its encoder and built-in tactile sensors;
- working with the module installed in RMLI;
- communication with wireless external smart devices;
- the communication with and management of block B.

The block is designed as a two-processor device based on specialized wireless microcontrollers JN5168-001-M00 of the company NXP [23] and industrial microcontroller ATxMega32A4 of ATMEL [24].

BlockA2 includes an ATxMega32A4 microcontroller [24] designed to process the signals from the encoders to the stepper motors using built-in QDEC automata. It uses the built-in independent SPIs (I2C together with SPI) to communicate with the JN5168-001-m00 (Block A1) and control a dedicated driver forming a programmable frequency signal designed for radiotherapy. The latter, after amplification, through a waveguide to an emitter installed at its end and implements irradiation of the given object in accordance with a program-determined frequency and intensity set by a time recipe.

A2 has a built-in unit for generating all the voltages necessary for the operation of the devices included in the composition of the RMLI, using as an energy source an external power supply providing it with 12VDC.

Block A1 is controlled by its embedded JN5168-001-000 [20]. It uses its built-in SPI to form pulses generating stepper motors, receives and processes signals from tactile sensors measuring applied forces using its analog inputs ADC0, ADC1 and ADC4, and being a network device and having a built-in radio antenna, generates and supports working with a wireless network, including external network devices. A1 supports the connection of Block A to Block B using a serial RS232 C interface. The interface includes a built-in own USB as a service interface or for loading into its flash memory the dedicated control program

JN5168-001-M00 (A1) has two serial ports (UART), one of which (UART0) is used to service and load the program into CPU flash, and the other (UART1) to communicate with block B. The microcontroller functions as the main device in block A. JN5168-001-M00 is a network wireless device and under the control of the specialized stack uMAC [31] functions as a Gateway of a wireless network including intelligent devices participating and ensuring the successful progress of the laparoscopic operation (ECG mobile devices, wireless sensors and etc.). The specialized controller is shown in Figure 2.

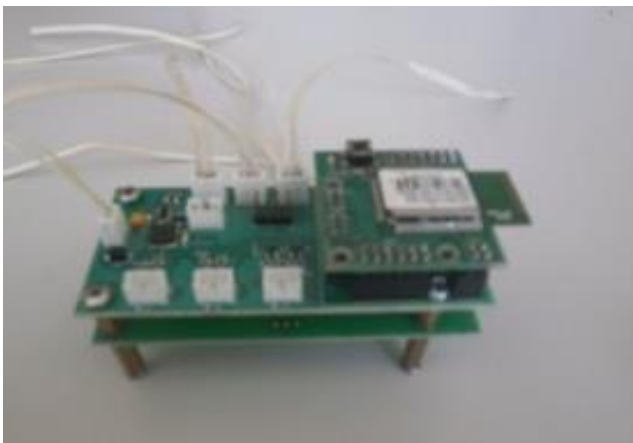


Fig. 2. A specialized controller.

B. Blok B -structure and functions:

Block B implements the RMLI operator interface. It is designed on the basis of gen4-IoD-28T (2.8" TFT LCD module with Resistive Touch) of the company 4DSYSTEMS. Detailed information can be found in [27]. The device provides the operator with a full-fledged 2.8" intelligent LCD-TFT display controlled by an ESP8266 GPU [26].

The device is convenient for integration and use with other devices. It has a 2.8" colorful TFT LCD display with a resistive touch screen. Supports Wi-Fi set of functions for the user. The Gen4-IoD-28T can be easily programmed with the 4D Systems Workshop4 package [28]. The gen4-IoD range can be easily programmed using 4D Systems Workshop4 installed for ESP8266 core. 4D Systems GFX4d allows design to use primitive graphics functions, advanced graphics (via Workshop4), SD functions, touch control functions, all integrated into one library.

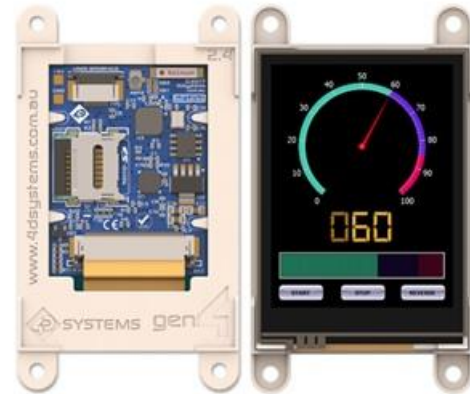


Fig. 3. A device gen4-IoD-28T [27]

SD A special 10-pin ZIF connector is included, designed for connection to another controller performing supervisory functions, as well as for additional accessories. The design of the user screen is done OFF LINE, by creating a project in the WORKSHOP4 program package provided by the company 4DSystems. The package runs under Windows and includes Designer, Editor and Compiler. A specialized C-like language was developed to design the various applications. It allows both the design of the graphical user interface and the association of actions related to the created touch buttons. After generating user executable code for an application, the latter is loaded via USB to the processor's FLASH or to an application library on the SD card. Only one application can be launched at any time, but during its execution, it can load another one from the SD library and activate it. The SD card can also be used to form a log of operator data and actions.

Blok B communicates with Blok A over a serial interface connecting its ZIF socket built-in user UART to Unit A's JN5168-001-M00 UART0 using a dedicated communication protocol.

A Recon Jet™ Pro AR Specialized Display [29] with virtual reality elements can be added to Block B. It is designed as smart glasses in which an auxiliary display is mounted, occupying 7% of the visual space, on which important data about the patient's condition is projected. The remaining space is used for normal monitoring. The data for the auxiliary display is sent via Wi-Fi from block B. In this way, the surgeon has the opportunity to operate without necessarily monitoring the touch screen of block B. The specialized display is autonomously powered. It can be turned on or off by the surgeon as desired.

III. DEVICE AND MODE OF OPERATION OF A WIRELESS DIAGNOSTIC DEVICE (DECG)

The sensor module is fundamental in the structure of the RMLI, it comprises of a communication wireless microcontroller (which automatically makes it a network device) and built-in sensors for measuring quantities related to the operation process of the laparoscopic instruments - pressure, the level of CO2 in the abdominal cavity of the patient, temperature, humidity, ECG and other indicators and parameters. Thus, the information (obtained from these sensors) can be made available to the laparoscopic instruments of a given group and/or the Operator Station using the built wireless network of the group.

Basic element of the diagnostic instrument (DECG), designed to control important vital parameters during the operation, implemented as a wireless network device, designed to control the state of the operated patient in real time. This is done by cyclically generating an ECG, presented in digital form and sent wirelessly to the Controller unit A of the laparoscopic instrument. In this block, an analysis of the received digital information is carried out, specifying such parameters as pulse, heart activity, blood pressure, body temperature, etc., are measured in an area where the probe of the device is fixed.

It is possible to install several such devices with different placement of the probes, which are connected to the patient's body, thus making it possible for the laparoscopic instrument to obtain a complex picture of his condition.

The measured and specified data serve as feedback in the programs controlling the instrument, and can also initiate an audible alarm message in the presence of dangerous deviations, to be reproduced by the Controller. These data are continuously present (in graphic and digital form) on the touch screen of the Controller block B and allow the surgeon to be informed at any moment about the current state of the patient.

In the current project, this module is implemented as a mobile ECG. It measures the electrical potential between two

points on the human body, forms an ECG-gram and sends it on request over the wireless network to the JN5168-001-M00.

The device consists of two modules:

- Controller developed on the basis of JN5168-001-M00 [23];
- Measurement developed based on MAX30003 [30].

Schematic diagram of the measuring module shown in figure 4.

The power supply of the instrument is provided by the control module based on 5VDC received via USB cable from USB interface or from 220V AC to USB converter.

The control module controls the operation of the meter and ensures the communication of the instrument via a wireless interface - uMAC [31] or wired - USB. The measurement module generates the patient's ECG via two serviceable electrodes and sends the information via an internal SPI interface to the controller.

A standard ECG uses electrodes connected to important points on the patient's body: 1. Right arm, RA; 2. Left arm, LA; 3. Left leg, LL; 4. Right Leg, RL; 5. Chest, C.

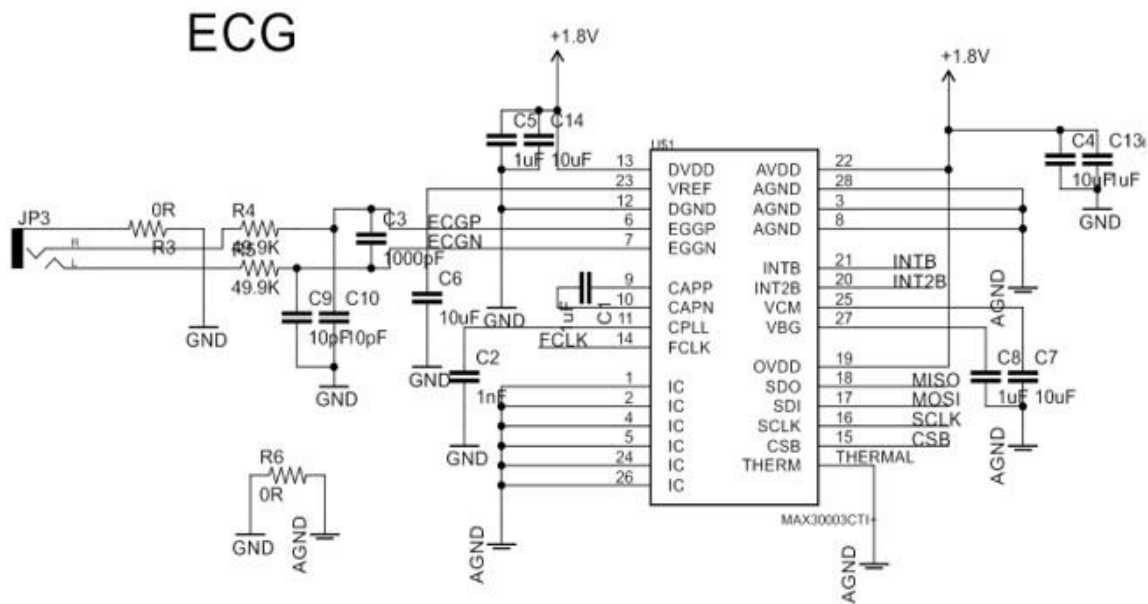


Fig. 4. Schematic diagram of the measuring module

Depending on the connection of the electrodes to the ECG sensor, different forms of the signals and their amplitudes can be observed. Each pair of electrodes provides unique information about the heart's activity.

Electrodes can be connected bipolar, unipolar and unipolar to the chest. Bipolar connected, depending on the choice of contact points, are of 3 types: Lead I, Lead II or Lead III, (figures 5 and 6).

More information about the electrodes used in ECG machines can be found in [16, 17, 34].

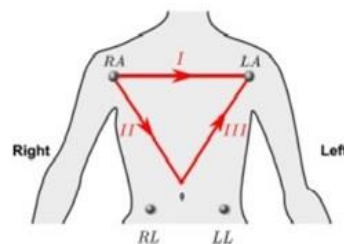


Fig. 5. Standard limb led positions, bipolar. Einthoven. Einthoven triangle [32]



Fig. 6. Signals acquired from standard ECG limb leads I, II, III [33]

For the implementation of the diagnostic ECG device, a specialized MAX30003 integrated circuit [30] was used, performing all analogue processing of the signals from the electrodes and supporting an SPI interface with a JN5168-001-M00 wireless microcontroller.

The device (DECG) includes: two ECG electrodes, integrated circuit MAX30003 (implementing Ultra-Low-Power, Single-Channel Integrated Biopotential (ECG, R-to-R, and Pace Detection) and Bioimpedance (BioZ) AFE) two-electrode device SPI connected to JN5168-001-M00. The latter functions as a wireless network device, buffering the received digital information, and sending it over the wireless network to Unit A (JN5168-001-M00 of this RMLI unit), when requested by the latter. The uMAC wireless network stack used to communicate with the dedicated controller is described in detail in [31].

We use 4 robotic instruments working together. Each of them contains in its memory an IEEE 802.15.4 stack, a uMac stack and a user program corresponding to the type of instrument it controls. The Network Coordinator is connected via a wired USB channel to a Personal Computer in which the Local Operator Station resides. The coordinator creates the network, maintains communication with the routers, and provides relaying of entries between routers and a local management program. The IEEE 802.15.4 stack, the uMac stack and a user program responsible for maintaining a communication protocol with the Local Control Program are loaded and running in its memory.

The uMac stack is designed to work with means of controlling mechatronic objects, designed on the basis of wireless microcontrollers JN5168 of the NXP company [23, 31]. The control system is implemented as a wireless network, including two types of communication devices - "Gateway" and "Controller". These devices function as coordinators of wireless networks (IEEE 802.15.4) that do not include other nodes (empty LAN). The "Gateway" is designed based on the JN5168-001-M00, functioning as a communicator and adapter, converting a serial channel (3.3V) to USB, bi-directionally. "Controller" is designed based on JN5168-001-M00 and a peripheral module connected to it, controlling the sensors and actuators connected to the managed object. An Operator Station has been developed to work under Windows (for a personal computer, laptop or tablet), with possibilities for programming the tasks and monitoring the states of the managed objects. Two logical channels are used to work with the Gateway - through the graphical interface of the Operator Station or directly, via USB in InLine mode, through a special command language [31]. The general scheme of the diagnostic portable instrument includes two ECG electrodes, a MAX30003 integrated circuit (implementing Ultra-Low-Power, Single-Channel Integrated Biopotential (ECG, R-to-R, and Pace Detection) and Bioimpedance (BioZ) AFE) two-electrode device connected via SPI with JN5168-001-M00.

The block diagram of the Diagnostic Tool (DECG) is shown in Figure 7, and more detailed information about the connection of the tool to the RMLI is shown in Figure 8.

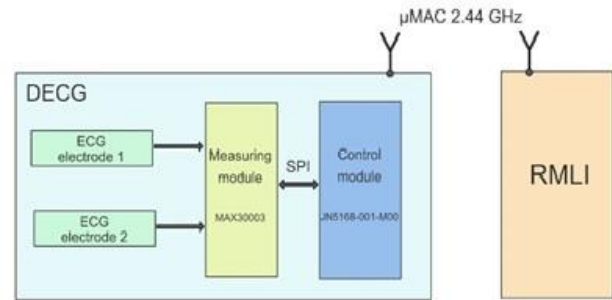


Fig. 7. Block diagram of the Diagnostic Tool

The diagnostic tool (DECG) supplies the measured information according to the uMAC protocol to Block A of the Specialized Controller, which, according to the RS 232 C protocol (Figure 8), supplies the gen4-IoD-28T information (Block B of the specialized RMLI controller). More detailed information on the operation of the gen4-IoD-28T is given in the description of Block B.

The measured information is accumulated in a local database on a SD card. It is submitted to the RMLI Operator's Station upon request.

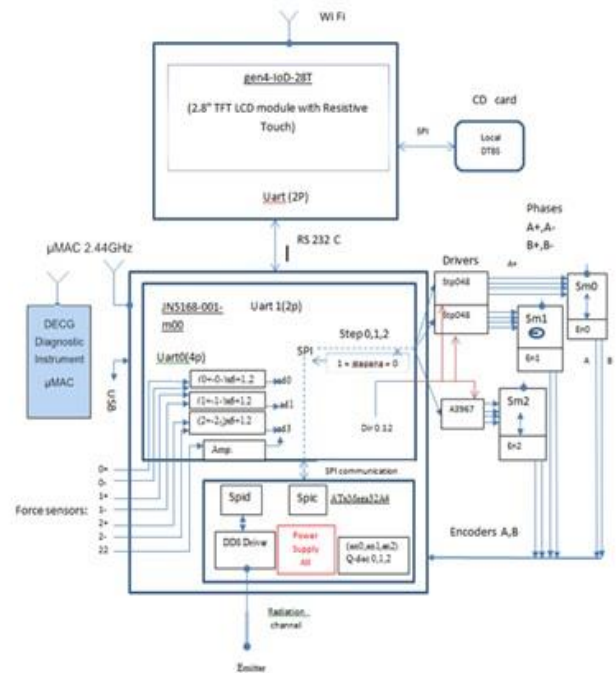


Fig. 8. Connection between the DECG and the dedicated controller

The Tcl/Tk scripting language for Windows is used to operate the station. A shared reality upgrade has also been developed for Android. Described in detail in [8, 20]. The operating station is intended for a personal computer, tablet or laptop and performs the function of a Wireless Local Area Network (WLAN) coordinator with a Graphical Programming Interface for the Surgeon-Operator. Its purpose is to configure the work of RMLI, to program, visualize the work of their end-effectors, to function as an advisor to the Operator.

For this purpose, a database is used, included in a library of macros for the generation of different types of movements carried out by the various tools; a program mechanism for recording all the actions of the tools with the possibility of reversing each of them; An information system about the patient's condition, including the history of his illness, the current values of his vital parameters (ECG, pulse, etc.), official information about his medical record, as well as information about the patient's heart activity during the operation.

The operator station is connected to the Internet and, if necessary, can provide authorized online access to external information sources and specialized databases. In the future, it is also planned to implement the possibility to save the complete information about the patient's condition on a personal smart card, which can be used if necessary by the personal physician or other doctors monitoring the patient.

CONCLUSION

The article examines an innovative solution related to ECG (DECG) monitoring of patients during minimally invasive surgery. The device is part of a developed robotic modular laparoscopic instrument (RMLI) as create a new type of tool to improve healthcare and patient care. The device detects and warns of abnormal heart rate during surgery. The Wireless ECG Monitoring Module is connected to Dedicated Controller that control and implement various its functions. uMAC wireless network stack is used for communication between the module and the control unit in local and remote (from a distance) mode of operation by means of the control computer program (Local Operator Station) and/or directly from the instrument display directly connected to the patient. For the convenience of the operator's work with the device, an intelligent operator panel has been developed, based on the use of a graphic touch screen, which is used both for management and for information visualization during the operating process. An additional possibility of receiving and visualizing important messages in specialized glasses, using the method of virtual reality, has been implemented, which the operator can use during his work. Specialized software has been developed, allowing the management of the various devices included in the RMLI, as well as the realization of diagnostic and test procedures in real time of their functioning described in [5, 22]. It is also planned to develop more autonomous devices for diagnostics and other vital indicators such as pulse, blood pressure, etc. to work together with the developed RMLI system.

The possibility of the developed autonomous wireless diagnostic device as a means of identification or access control is also being investigated.

One of the goals for future work is to develop a device (included in the RMLI) to monitor and adjust the level of CO₂ in the patient's abdominal cavity during surgery.

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] A. Cristobal-Huerta, Torrado-Carvajal, A.; Rodriguez-Sanchez, C.; Hernandez-Tamames, J.A.; Luaces, M.; Borroero, S., "Implementation of ISO/IEEE 11073 PHD SpO₂ and ECG Device Specializations over Bluetooth HDP following Health Care Profile for Smart Living". *Sensors*, 22, 5648, 2022, pp. 1-12, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9371174/pdf/sensors-22-05648.pdf>
- [2] M. Atta, Raghied, "Cost-effective vital signs monitoring system for COVID-19 patients in smart hospital", *Health and Technology*, 12, 2022, pp. 239–253, <https://doi.org/10.1007/s12553-021-00621-y>, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12553-021-00621-y>
- [3] E. Djambazova, "Achieving System Reliability Using Reliability Adjustment", *Proceedings of the 23th International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech '22)*, June 17, 18, 2022, University of Ruse, Ruse, Bulgaria. ACM, New York, USA, 2022, pp. 64–68, DOI: <https://doi.org/10.1145/3546118.3546129>
- [4] A. N., Rawi, Halimah Badioze Zaman, Azlina Ahmad, "Technical Considerations in Designing Haptic Applications: A Case Study of Laparoscopy Surgery Simulation with Haptic Elements", *Journal of Information and Communication Technology*, 13, 2014, pp. 125–144
- [5] V. Ivanova, "Laparoscopic executive tools for robots", PhD Thesis, Institute of Robotics, Bulgarian Academy of Sciences, 2020, pp. 1-136, http://ir.bas.bg/competitions/atanasova/avto_ata.pdf (in Bulgarian)
- [6] P. Vasilev, Janev E, Elenkov G., "Communication Interface Module for WEB - Based Control", *Scientific Proceedings of the VIII International Congress "Machines, Technologies, Materials"*, 3, 2011, pp. 79-82, (in Bulgarian)
- [7] S. Ilchev, Otsetova-Dudin, E., Device model and communication protocol with low overhead for sensors and actuators in smart buildings, *Proceedings of the 23th International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech '22)*, University of Ruse, Ruse, Bulgaria, ACM, New York, NY, USA, 2022, pp. 33-38, <https://doi.org/10.1145/3546118.3546141>
- [8] P. Vasilev, Ivanova V., Andreev, R., Boneva A., "Modeling of a System for Studying of Biological Tissues with the Use of Augmented Reality", *Proceedings of 2021 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*, IEEE Xplore, IEEE, 2021, pp. 167-173, DOI: 10.1109/ICAI52893.2021.9639865
- [9] A. Heryana, Suhardi, "Smart personal health care monitoring services design using UML", *IEEE Xplore*, 2014, pp. 124-130, DOI: 10.1109/ICTSS.2014.7013161
- [10] K. Preechawai, Neatpisarnvanit, C., Ngarmukos, T., Naiyanetr, P., Naiyanetr, P., "A Wireless Portable Electrocardiogram Monitoring System for Continuous Cardiac Activity Recording", *Proceedings of the Third IASTED International Conference October 6 - 7, 2016, Zurich, Switzerland, Telehealth and Assistive Technology (TAT 2016) / 847: Intelligent Systems and Robotics*, 2016, pp. 18-23, DOI: 10.2316/P.2016.846-006
- [11] N. Nasri, Kachouri, A., Dallali, A., "Survey of Wireless Body Area Sensors Network for Wearable Health Monitoring : Cardiac Monitoring Case Study", 2017, pp. 1-7, https://www.researchgate.net/publication/320617830_Survey_of_Wireless_Body_Area_Sensors_Network_for_Wearable_Health_Monitoring_Cardiac_Monitoring_Case_Study
- [12] P. Gustafsson, Hagblad, J., "Miniaturised multi channel wireless ECG connected to graphical computer interface using Bluetooth", A Master of Science thesis in electronic sciences performed at The Department of Computer Science and Electronics, Mälardalen University during the spring and summer of 2007, 2007, pp. 1-62, <http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/ecg/equipment/Small%20wireless%20ECG%20with%20Bluetooth.pdf>
- [13] M. Gospodinov, E. Gospodinova, G. Georgieva-Tsaneva, "Chapter 7: Mathematical methods of ECG Data Analysis", *Healthcare Data Analytics and Management*, Vol. 2, Elsevier Science Ltd, 125 London Wall, London EC2Y 5AS, England, ISBN:978- 0-12-815368-0, DOI:10.1016/B978-0-12-815368-0.00007-5, 32, 2019, pp. 177-209, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B97801281536800075?via%3DIihub>
- [14] E. Merdjanovska, Rashkovska, A., "Comprehensive survey of computational ECG analysis: Databases, methods and applications",

- Expert Systems with Applications, 203, 117206, 2022, pp. 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117206>
- [15] V. Randazzo, Ferretti, J., Pasero, E. (2019). "ECG WATCH: a real time wireless wearable ECG", IEEE Xplore, 2019, pp. 1-12, DOI: 10.1109/MeMeA.2019.8802210.
- [16] G. Georgieva-Tsaneva, E. Gospodinova, M. Gospodinov, K. Cheshmedzhiev, "Portable Sensor System for Registration", Processing and Mathematical Analysis of PPG Signals. Applied Sciences, ISSN:2076-3417, 10, 3, MDPI, 2020, pp. 1-22, DOI:<https://doi.org/10.3390/app10031051>, <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/3/1051>
- [17] Liu, You-De, Yen-Chen Liu, Peng-Yu Chen, Sheng-Fu Liang, Kun-Chan Lan, Chung-Ping Young, Da-Wei Chang, Alvin W. Y. Su, Fu-Zen Shaw, "A portable wireless system for real-time electrocardiographic monitoring", Proceedings of the 3rd International Symposium on Engineering Medicine and Biology Applications (SEMBA'13), 2013, pp. 1-4, <https://manualzz.com/download/29219530>
- [18] P. Rajbhondary, Nallathambi G. Selvaraj, THANG TRAN, N., Colliou, O., "ECG Signal Quality Assessments of a Small Bipolar Single-Lead Wearable Patch Sensor", Cardiovascular Engineering and Technology, Biomedical Engineering Society, 2022, pp. 1-14, <https://doi.org/10.1007/s13239-022-00617-3>
- [19] T. Kirthana, Monisha K, E Mahalakshmi, G S Sahana, Rampur Srinath, "Miniaturized Two Electrode ECG System for High Motion Ambulatory Environment with Bluetooth Connectivity", International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, 4(6), 2018, pp. 215-218
- [20] V. Ivanova, Bachvarov, D., Boneva, A., (2018). "An Advanced Robot System for Diagnostic and Therapeutics Tasks with Application in Laparoscopic Surgery", Journal of Computer Engineering & Information Technology, 7(2), 2018, pp. 1-9, DOI: 10.4172/2324-9307.1000198
- [21] V. Ivanova, Batchvarov D., & Boneva A., "A Smart Laparoscopic Instrument with Different Application", International Journal of Bioautomation, Institute of Biophysics and Biomedical Engineering at the Bulgarian Academy of Sciences, 24 (4), 2020, pp 403–417, DOI: 10.7546/ijba.2020.24.4.000723
- [22] V. Ivanova, Vasilev, P., Stoianov I., Andreev R., Boneva A., "Design of Multifunctional Operating Station based on Augmented Reality (MOSAR)", Journal Cybernetics and Information Technologies, 21 (1), 2021, pp. 119-136, DOI: 10.2478/cait-2021-0009
- [23] NXP, "Data Sheet: JN5168-001-Myy, JenNet-IP, ZigBee PRO and IEEE802.15.4 Module", Data Sheet, 2013, <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/JN5168-001-MXX.pdf> (last visited 31.03.2023)
- [24] Atmel, "8/16-bit XMEGA A4 Microcontroller ATxmega128A4, ATxmega64A4, ATxmega32A4 ATxmega16A4, Data Sheet", 2013, pp. 1-108, http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8069-8-and-16-bit-AVR-AMEGA-A4-Microcontrollers_Datasheet.pdf (last visited 31.03.2023)
- [25] V. Romanov, Mintser, O., Galelyuka, I., Degtjaruk, V., Chernetsky, V., Chaikovskiy, I., "Computer Devices and Information Technologies for Medicine", International Journal Information Technologies & Knowledge, 10 (1), 2016, pp. 21-32, <http://www.foibg.com/ijitk/ijitk-vol10/ijitk10-01-p03.pdf>
- [26] Espressif Inc, "ESP8266EX, Data Sheet", 2022, pp. 1-31, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf (last visited 31.03.2023)
- [27] 4DSystems, gen4-Internet of Displays Series, Data Sheet, (2021, a), pp. 1-23, https://eu.mouser.com/datasheet/2/451/gen4_iod_datasheet_r_1_5-1627290.pdf (last visited 31.03.2023)
- [28] 4DSystems, (2021, b) Workshop4, <https://4dsystems.com.au/workshop4>, (last visited 31.03.2023)
- [29] Intel, Recon Jet™ Pro AR, User Manual, 2016 https://www.intel.com/content/dam/support/us/en/documents/emergin-g-technologies/wearable-devices/Recon_Jet_Pro_User_Manual_120116.pdf (last visited 31.03.2023)
- [30] Maxim Integrated, "MAX30003: Ultra-Low Power, Single-Channel Integrated Biopotential (ECG, R-to-R Detection) AFE", Data Sheet, <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30003.pdf>, 2021, (last visited 31.03.2023)
- [31] D. Batchvarov, Boneva, A., Ilcheva, Z., Angelov, S., Ivanova, V., "Tools for control of mechatronic objects using the wireless network stack uMAC", Proceedings for International Conference Automatics and Informatics'2017, 4-6 October 2017, ISSN 1313-1850, CD: ISSN 1313-1869, John Atanasoff Society of Automatics and Informatics, Sofia, Bulgaria, 2017, pp. 77 – 80,
- [32] Jr. Salinet, João Loures, Silva Olavo Luppip, "Chapter 2 - ECG Signal Acquisition Systems", Developments and Applications for ECG Signal Processing, Modeling, Segmentation, and Pattern Recognition, Academic Press, 2019, pp. 29-51, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814035-2.00008-6>
- [33] M. Ekström, "Small wireless ECG with Bluetooth™ communication to a PDA", A Master of Science thesis in electronic sciences performed, Department of Computer Science and Electronics, Mälardalen University, 2006, pp. 1-33,
- [34] Cui, T.-R.; Li, D.; Huang, X.-R.; Yan, A.-Z.; Dong, Y.; Xu, J.-D.; Guo, Y.-Z.; Wang, Y.; Chen, Z.-K.; Shao, W.-C.; et al., "Graphene-Based Flexible Electrode for Electrocardiogram Signal Monitoring", Applied Sciences, 12, 4526, 2022, pp. 1-22, <https://doi.org/10.3390/app12094526>

ОТНОСНО ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ЕФЕКТИВНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА РОБОТИЗИРАНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МОДУЛИ

Иванка Пеева
РУ „Ангел Кънчев“
Катедра ТММРМ
Русе, България
e-mail: ipeeva@uni-ruse.bg

Чавдар Костадинов
ВА „Г. С. Раковски“
Катедра КИС
София, България
e-mail: ch.kostadinov@rncd.bg

Резюме: Роботизираните технологични модули имат все по-голямо индустриално приложение в различни производства със сериен характер. За определяне на ефективното им използване в реални условия се използват предварително определени и заложи критери, като производителност, натоварване на оборудването и др. Чрез аналитично моделиране работата на автоматизирано оборудване, може да се получат прогнозни стойности на такива параметри. В статията е направен анализ на възможностите за ефективно използване на структуриран роботизиран модул за механично обработване на база техническите характеристики на заложеното оборудване.

Ключови думи: роботизиран технологичен модул, робот, производителност, ефективност, натоварване, интензивност на заявките.

I. РОБОТИЗИРАНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МОДУЛИ В СЕРИЙНОТО ПРОИЗВОДСТВО

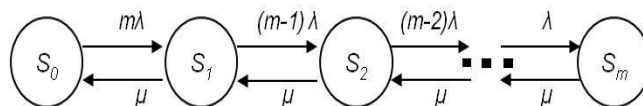
Особеност на съвременната индустрия е увеличаващият се дял на серийното производство, което се определя от засилената конкуренция на пазара, намаляващият жизнен цикъл на произвежданите изделия и нарастващите изисквания на потребителите. Това налага използване на гъвкаво автоматизирано оборудване, имащо възможност за бързо пренастройване в рамките на техническите си възможности, за производство на нови или модифицирани изделия, съответстващи на често изменящи се пазарни условия. Съвременното автоматизирано оборудване изисква значителни капитални вложения, които са икономически целесъобразни при по-дълъг период на експлоатация, за който в серийните производства се изисква бързо пренастройване за определена номенклатура произвеждани изделия. Тези обстоятелства правят роботизираните технологични модули (РТМ) все по-използвани в практиката, както самостоятелни производствени единици, така и като част от по-големи индустриални системи.

В машиностроенето РТМ за механично обработване се компоноват на база една или няколко металорежещи машини с ЦПУ, един обслужващ робот (ПР) и необходими периферни устройства. Наличието на програмируемо оборудване осигурява възможност за бързо пренастройване цикъла на обработване за различните детайли и режими на работа. Броят и вида на включените в модула обработващи машини зависи от множество изисквания, като особености на технологичния процес, вид операции, характеристики на

работните зони, възможност за автоматизирано обслужване, габаритни размери и др. В машиностроенето най-голямо приложение намират РТМ с една до три машини, като съществуват модули с повече машини, обслужвани от един ПР [1]. Изборът на промишлен робот се основава на анализ, определящ подходящите му технически параметри (за обслужване на предвидено оборудване, детайл, изисквания за производителност) и диапазона на техните възможни изменения, с оглед разширяване на неговото приложение при различни производствени задачи. Важно значение за ефективната работа на роботизирания модул имат включените в състава захранващо-разтоварващи и буферни устройства, организацията на работа (паралелна или последователна) и сценария на обслужване при повече от две машини. Определянето на подходящи технически параметри на включените в състава на РТМ производствени единици е в основата на ефективното използване на този тип индустриални системи.

II. АНАЛИТИЧНО МОДЕЛИРАНЕ РАБОТАТА НА РТМ

За определяне на прогнозни стойности на основни технически характеристики на РТМ, които да се използват при анализ на условията за ефективна работа на този вид производствена система, е подходящо аналитично моделиране на основата на Теория на масовото обслужване (ТМО) [2]. Съществуват различни аналитични модели, като работата по изчисляване вероятностите на състоянията и свързаните с тях характеристики се облекчава, ако системата се състои от m на брой машини със сходни технически възможности, водещи до интензивности на подаваните заявки за обслужване близки до средна стойност $\lambda = \lambda_{\text{ср}}$ и близка интензивност на обслужване (според приети компоновъчни и технически параметри на системата). За описание работата на системата е подходящо да се използва граф на състоянията, показан на фиг. 1 [3] ($\lambda = \lambda_{\text{ср}} = \frac{1}{t_{\text{обсл ср}}}$; $\mu = \mu_{\text{ср}} = \frac{1}{t_{\text{обсл ср}}}$; m – брой машини в РТМ).



Фиг. 1. Линеен граф на състоянията

Възможните състояния на системата са: S_0 – всички машини работят, ПР чака заявки; S_1 – една машина се обслужва, останалите работят; S_2 – една машина се

обслужва, една чака обслужване, останалите работят и т.н.

В условията на Марковски характер на заявките и процеса на обслужване в системата с краен брой възможни състояния граничните вероятности се определят чрез следната зависимост [4]:

$$P_k = \frac{\frac{m!}{(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{\sum_{i=0}^m \frac{m!}{(m-i)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i} \quad (1)$$

където $k = 0 \div m$ е номера на състоянието; m – брой машини на ПС; λ – интензивност на заявките; μ – интензивност на обслужването.

Ако системата е с паралелна структура, то:

$$P_{PTM} = m\lambda N_M \quad (2)$$

където N_M е средното натоварване на една машина, m е броят машини.

Броят m на включените в производствената система технологични машини оказва съществено влияние върху броя на възможните състояния на системата, които имат отношение към описанието на вероятностния математичен модел и неговото представяне чрез граф на състоянията. Често при анализа на изменение на някои от характеристиките на системата се използва отношението $\rho = \lambda / \mu$, даващо възможност за едновременно отчитане влиянието на времената за обработване и обслужване. Използвайки зависимостта (1) може да се определят средните натоварвания на машините (НМ) и работа (НР) за дадена система:

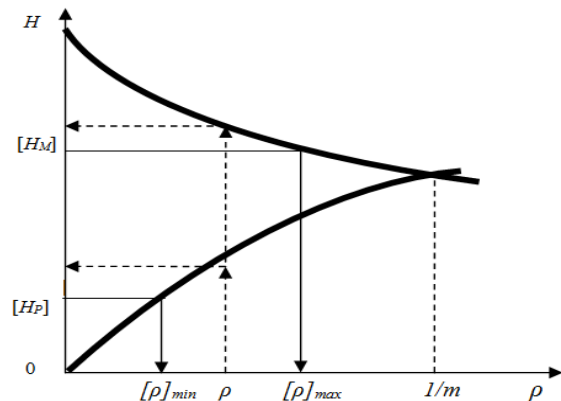
$$N_M = \frac{1}{m} \sum_{k=0}^m (m-k) P_k \quad (3)$$

$$N_P = 1 - P_0 \quad (4)$$

Освен изискванията за товароносимост, точност на позициониране, работна зона, вид на регионалната структура и др., правилният избор на ПР зависи и от осигуряването на необходимото съотношение на времената за работа и обслужване, което е в пряка зависимост от броя на обслужваните машини. Приемайки условието $N_M > N_P$, пресечната точка на графиките за НМ и НР при определено m задава максимално допустима стойност на отношението $[\rho]$, за което съответната система има смисъл да бъде структурирана. С увеличаване на броя на машините m допустимата гранична стойност на $[\rho]$ намалява, което прави избора на робот сложна задача за дадени производствени условия.

Условията за ефективно използване на оборудването в роботизирания модул налагат изисквания за достигане на натоварвания, по-големи от минимално допустимите натоварвания на машините [НМ] и работа [НР]. В ТМО са известни зависимостите между броя на технологичните машини, относителната интензивност и натоварванията на отделните единици, което е показано графично на фиг. 2 [5]. Допустимото минимално натоварване за машина може да бъде получено при известни обем на производство и срокове за изпълнение на производствената програма. За определяне на допустимото минимално натоварване на ПР се използват икономически критерии. При зададен брой машини в модула и допустимо минимално натоварване [НМ] на една машина може да бъде намерена аналитично или графично стойността $[\rho]_{max}$, представляваща горна граница на диапазона за изменение на ρ . При зададено минимално допустимо натоварване [НР] на ПР аналитично или графично може да се получи стойността $[\rho]_{min}$, представляваща долна граница на диапазона на изменение на ρ . Колкото броят на машините в РТМ е по-голям, толкова се стеснява областта на възможните решения за относителната интензивност ρ .

Въз основа на получени данни за натоварванията на оборудването може да се определи подходящият диапазон за изменение на ρ при РТМ с m машини, което е показано графично на фиг. 2 [5].



Фиг. 2. Определяне на диапазона за изменение на относителната интензивност ρ

Времето за обслужване $t_{ОБСЛ}$ трябва да бъде в границите, зададени чрез минимално допустимите натоварвания на машините [НМ] и работа [НР].

$$t_{ОБСЛ}^{min} = t_{ОБР}[\rho]_{min}, \quad t_{ОБР} = \frac{t_{ОБР}^{M1} + t_{ОБР}^{M2}}{2} \quad (5)$$

$$t_{ОБСЛ}^{max} = t_{ОБР}[\rho]_{max} \quad (6)$$

$$t_{ОБСЛ}^{min} \leq t_{ОБСЛ} \leq t_{ОБСЛ}^{max} \quad (7)$$

Изпълнението на условие (7) осигурява оптималност в работата на обслужващ робот по зададените критерии за ефективност. Ако в реални производствени условия за

даден РТМ и цикъл на обслужване това условие не е спазено, следва да бъдат направени препоръки относно възможни корекции на скоростите на движение на ПР по отделните степени на подвижност, които при зададена траектория на обслужване биха довели до промяна на времето за обслужване. Положителен резултат може да се постигне и чрез оптимизиране циклограмата на ПР по пътя на възможно съвместяване на движения. При високи изисквания към натоварването на машините и на работа е възможно задачата да няма решение [6]. Полученото условие (7) може да се използва като критерий за избор на структурно-компоновъчна схема на РТМ, за избор на обслужващ робот при прието компоновъчно решение или за определяне на оптимален цикъл на обслужване при експлоатация на съществуващ РТМ.

Получените граници на ρ позволяват определяне диапазона на времената за обработване на детайли, за чието производство се използва наличен РТМ при определено време за обслужване:

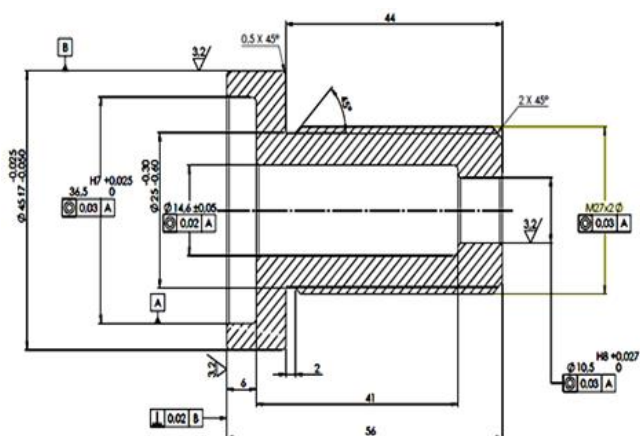
$$t_{\text{OBRmin}} = \frac{t_{\text{OBSL}}}{[\rho]_{\text{max}}} \quad (8)$$

$$t_{\text{OBRmax}} = \frac{t_{\text{OBSL}}}{[\rho]_{\text{min}}} \quad (9)$$

Чрез тях може да се определят подходящите детайли (изделия) и режими на обработване, при които времена t_{OBR} (при съответен технологичен процес) са в диапазона $[t_{\text{OBR}}]_{\text{min}} \div [t_{\text{OBR}}]_{\text{max}}$, определени според приетите критерии за ефективно използване на структуриран РТМ.

III. АНАЛИЗ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ЕФЕКТИВНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА МОДУЛ ЗА МЕХАНИЧНО ОБРАБОТВАНЕ

Обект на разглеждане е РТМ съставен от 2 машини, 1 промишлен робот и транспортно устройство за обработка на ротационни детайли (фиг. 3) по зададен технологичен процес [7].

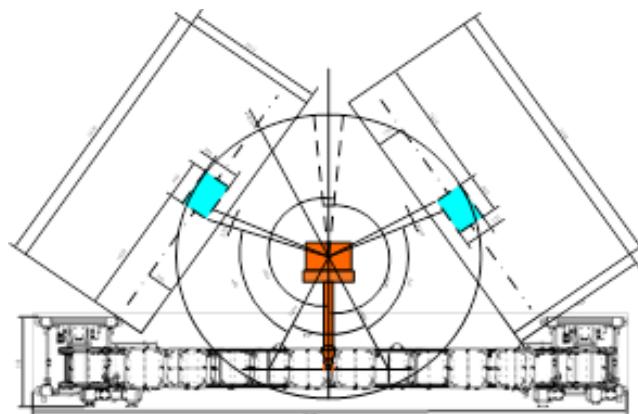


Фиг. 3. Обработваният детайл

Посоченият детайл е от стомана (41СгМо4), като масата на заготовката е 0,95 кг. Според приетата технология, обработването е условно разделено на две

части, поради необходимост от преустановяване. При разработен технологичен процес и избрани режими на работа за отделните операции са получени съответни машинни времена за двете части на технологичния процес – 3,2 мин и 4,7 мин. На фиг. 4 е показан компонован модул, състоящ се от две стругови машини с ЦПУ – Т200-РАИС (Райс ООД – гр. Пазарджик), промишлен робот KR 16 R1610-2 (KUKA AG) и периферно устройство – количков магазин Versamove (Technology Group). Използваните стругове с ЦПУ имат възможност за изпълнение на широк диапазон стругови обработки върху детайли със средни размери в серийното производство. Машината притежава инструментален магазин за 8 инструмента (12 инструмента), като може да се обработват заготовки с диаметър до $\phi 200$ мм.

За целите на роботизирания модул е избран промишлен робот модел KR 16 R1610-2 от серията KR СУВЕКТЕСН (Robotiq – Canada), с товарносимост 16 кг, позволяващ манипулиране на детайли с маса в широк диапазон, което отговаря на условията на работа в серийното производство. Машините Т200 – РАИС може да изпълняват всички операции от задания технологичен процес. При работата по структуриране на РТМ може да се разгледа базов вариант с една металообработваща машина, един промишлен робот и един количков магазин, обединяващ входната и изходната позиции, но поради малкото натоварване на ПР, използването на такъв модул не е ефективно. При РТМ с две металообработващи машини са възможни два различни варианта на организация на работа, определящи наличието на система с последователно действие или система с паралелно действие. В първия случай и при определените машинни времена е получен период на работния цикъл 5,3 минути.



Фиг. 4. РТМ за механично обработване

При разглежданата компоновка времената за обслужване $t_{\text{OBSmi}} = 0,6$ мин са еднакви и за двете машини. Това се дължи на симетричното разположение на машините, входната и изходната позиции с малки разлики в разстоянията и това, че двете машини са идентични. Извършено е аналитично моделиране работата на система, съставена от две машини с различни машинни времена (при описване на състоянията с разклонен граф [2]), при интензивности на подаваните заявки за обслужване на машините, съответно: $\lambda_{M1} =$

$$\frac{1}{t_{\text{ОБР}M_1}} = \frac{1}{3,2} = 0,31 \text{ мин}^{-1}, \quad \lambda_{M_2} = \frac{1}{t_{\text{ОБР}M_2}} = \frac{1}{4,7} = 0,21 \text{ мин}^{-1}.$$

Като резултат при РТМ с последователно действие са получени прогнозни стойности за натоварването на работа е 27 %, натоварването на M_1 е 82 %, а на M_2 е 87 %. Очакваната производителност на машините е: $\Pi_{M_1} = \lambda_{M_1} N_{M_1} = 0,31 \cdot 0,82 = 0,25$ бр./мин = 15 бр./час, $\Pi_{M_2} = \lambda_{M_2} N_{M_2} = 0,21 \cdot 0,87 = 0,18$ бр./мин = 11 бр./час.

Производителността на модула при последователно обработване е лимитирана от по-малко производителната машина: $\Pi = \min\{\Pi_{M_1}, \Pi_{M_2}\} = \min\{15, 11\} = 11$ бр./час. Допълнителните загуби от изчакване за обслужване са равни за двете машини: $D_{z1} = D_{z2} = 0,02 = 2\%$.

Получените стойности за натоварвания и допълнителни загуби са в допустимите граници, но недостатък на разглеждания вариант е неравномерното натоварване на двете машини. При същата компоновка (фиг. 3) е възможен вариант на РТМ с паралелно обработване. Благодарение на универсалността на струга с ЦПУ Т200-РАИС и наличния инструментален магазин, възможно е цялата обработка да се извърши на една и съща машина, при междинно обслужване и завъртане на заготовката на 180° . Периодът на работния цикъл за обработване на детайл на всяка от машините е 8,8 минути. Интензивността на заявките е: $\lambda_{M_1} = \lambda_{M_2} = \lambda = \frac{1}{t_{\text{ОБР}}} = 0,1 \text{ мин}^{-1}$. Според предвидена циклограма, несъвместените времена на обслужване за двете машини са $t_{\text{ОБС}M_1} = t_{\text{ОБС}M_2} = 1,1$ мин. Предвид равните стойности за интензивностите на постъпване на заявките $\lambda_{M_1} = \lambda_{M_2} = \lambda$ и интензивностите на обслужване на заявките $\mu_{M_1} = \mu_{M_2} = \mu$, модулет е разгледан като система от две машини с еднакви технологични възможности. След решаването на такъв аналитичен модел, описан с линеен граф (фиг. 1) са получени: натоварване на ПР 25 %, натоварване на машините 86 %, очаквана средна производителност на една машина 6,7 бр./час, а общата производителност на РТМ с паралелно действие е 13,4 бр./час. Даденият РТМ има по-голяма очаквана производителност при паралелна организация на работа.

С цел изследване на допълнителните възможности за ефективно използване на компонования модул за условията на серийно производство, в реални производствени условия е подходящо използване на модел, съответстващ на фиг. 1.

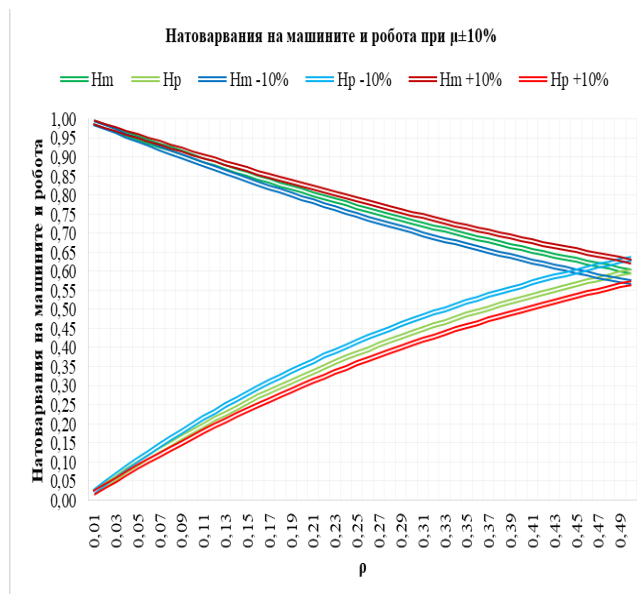
За разглеждания РТМ, при промяна на времето за обслужване $\pm 10\%$ се получават следните резултати:

$$t_{\text{ОБР}min} = 2,75 \text{ мин}$$

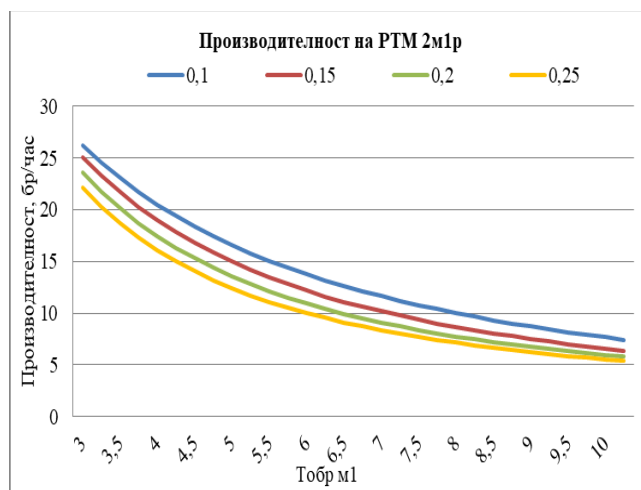
$$t_{\text{ОБР}max} = 11 \text{ мин}$$

при $t_{\text{ОБС}l} = 1,1$ мин

Графично те са представени на фиг. 5. На фиг. 6 е представена производителността на разглеждания роботизиран технологичен модул при различни $\rho = 0,1, 0,25$, като времената на машините са непроменени, а се променят времената за транспортно захранващи операции, изпълнявани от работа.



Фиг. 5. Натоварвания на машините и работа при $\pm 10\%$ от μ



Фиг. 6. Производителност на РТМ 2m1p

Получените характеристики на разглеждания модул позволяват за определени условия на работа на системата (изисквана производителност) да се определят времена за обработване, които при съответната относителна интензивност ρ биха осигурили оптимални натоварвания на основното и спомагателно оборудване.

Изводи

Задаване границите на относителната интензивност ρ на постъпване и обслужване на заявки в производствена система, позволява определяне диапазона на времената за обработване на детайли, който би осигурил ефективното използване на производствената система. В практиката, при зададени обем и срокове за производство на определена номенклатура изделия, чрез предварително разработени аналитични модели на действащи в конкретни производствени условия роботизирани модули, може да се определи група произвеждани детайли, чийто технологичен процес може да се реализира в съответствие със заложените критерии за ефективност.



ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bocharov P.P., A. V. Pechenkin, Queuing theory. Moscow, 1995.
- [2] Kleinrock L., Queuing systems. Volume 1 Theory. Moscow. Mashinostroenie, 1979.
- [3] Vencel E. S., L. A. Ovcharov, Probability theory and its engineering applications. Moscow, Higher School, 2000.
- [4] Gnedenko B. V., U. K. Belyaev, A. D. Solovyev, Mathematical methods in reliability theories. Moscow, Nauka, 1965.
- [5] Penchev M. S., General algorithm for design of robotic modules according to a given technological process. VIII NSTC „ADP”, Sofia, ISSN - 1310-3946, pp. 172-176, 1997.
- [6] Kostadinov C., I. Peeva, A comparative analysis of models for analytical performance prediction of robotic technology modules. XXVI ISTC „ADP-2017”, Sozopol, ISSN - 1310-3946, pp. 144-149, 2017.
- [7] Milev L. Performance analysis of a robotic technology module. Bachelor thesis. University of Ruse, Bulgaria, 2021.

ABOUT THE POSSIBILITIES OF EFFECTIVE USE OF ROBOTIC TECHNOLOGY MODULES

Ivanka Peeva
University of Ruse “Angel Kanchev”
Department MEMTC
Ruse, Bulgaria
e-mail: ipeeva@uni-ruse.bg

Chavdar Kostadinov
G.S.Rakovski National Defence College
Department CIS
Sofia, Bulgaria
e-mail: ch.kostadinov@rndc.bg

Abstract: Robotic technology modules have an increasing industrial application in various productions of a serial nature. To determine their effective use in real conditions, pre-defined and established criteria are used, such as performance, equipment load, etc. By analytically modeling the operation of automated equipment, it is possible to obtain estimated values of such parameters. The article analyzes the possibilities for the effective use of a structured robotic module for mechanical processing based on the technical characteristics of the deployed equipment.

ПРИЛАГАНЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ НА ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ В ТРЕТАТА АВТОМОБИЛНА РЕВОЛЮЦИЯ

Давид Авишай

Азриели, академичен инженерен
колеж в Йерусалим,
катедра Индустиален мениджмънт
и инженерство
Йерусалим, Израел
e-mail: davishay@jce.ac.il

Гая Павлова

Технически университет – София,
Факултет Компютърни системи и
технологии
София, България
e-mail: racheva@tu-sofia.bg

Резюме: Възникването на условия за осъществяване на трета автомобилна революция, включваща конструктивни промени на моделите, иновативна организация на заводите и нова производствена цена, е пряко свързано с технологиите на Industry 4.0. Как двете революции се отразяват една в друга и къде са точките на сътрудничество е темата на настоящата работа. Сътрудничеството на двете революции се отразява на битието на човечеството от екологична, технологична и социална гледни точки, което формира изводи и определени решения.

Ключови думи: автомобили, автомобилно производство, електромобили, роботика, изкуствен интелект, интернет на нещата, трета автомобилна революция, индустриална революция 4.0.

I. Увод

Динамиката на развитие на обществото, през последните години, напълно се идентифицира със скоростта, с която го управляват технологиите във всички обществени и лични области. Изкуственото задържане и забавяне, причинено от пандемията на Ковид19, избухна в последствие в технологичен скок и стимулира световната наука, икономика, образование, транспорт, и целия обществен живот. Видимо доказателство за тази динамика е интензитетът, с който навлизат електромобилите и структурите, свързани с тях. Повсеместно влязоха в употреба новите продукти на изкуствения интелект (ИИ), като Chat GPT (Generative Pretrained Transformer) и следващите го конкуренти като BARD на Google и китайският ERNIE Bot, отпаднаха определени служби и агенции за сметка на самостоятелното организиране на желанията с помощта на личен компютър, таблет или телефон. Ботове, управлявани от подходящи програми и приложения, съдействат за бързо заплащане с помощта на соларните устройства, налагат крипто-валутите и много други нововъведения.

В този аспект е резонно производството на стоки и услуги да се преориентира и преобразува. Точно в този момент се извършва организацията и се оформя третата автомобилна революция. Тя навлиза в условията на действие на технологиите на четвъртата индустриална революция, които доста трайно се настаниха не само в съвременната индустрия, а въобще в ежедневието.

Задачата на тази статия е да покаже къде двете технологични революции съвпадат и подпомагат съвместното и ефективно развитие.

II. АВТОМОБИЛНИ РЕВОЛЮЦИИ

„Третата автомобилна революция“ е термин, който понякога се използва за описване на настоящи и продължаващи тенденции и развития в автомобилната индустрия, като компютъризирането, електрифицирането и въвеждането на автономно управление. „Първата автомобилна революция“ обикновено се свързва с периода на навлизането на автомобила в края на 19-ти и началото на 20-ти век, докато „Втората автомобилна революция“ често се разглежда като въвеждането на масовото му производство и поточната линия в средата на 20-ти век.

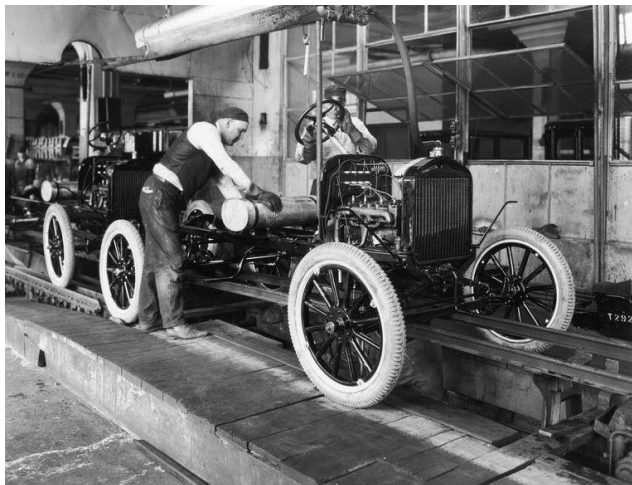
Ако детайлизираме понятията в еволюцията на автомобилната индустрия, разгледано технологично и организационно, трите периода на развитие могат да се представят по следния начин:

A. Първа автомобилна революция.

Започва с въвеждането на поточната линия на Хенри Форд, на която се произвежда автомобила FORD Model T. Кой е Хенри Форд? Той е американски инженер и предприемач и е един от най-вдъхновяващите в автомобилната революция, която се е случила в началото на миналия век. Благодарение на неговото визионерство за икономически подем, работниците започват да получават достойни заплати за труда си, а света се съобразява с въведената от него 5-дневна работна седмица при 8 часа труд. На 1 октомври 1908 година Форд пуска на пазара своя Model T. Той става най-масово произвеждания автомобил за своето време. На 01.12.1913 Хенри Форд инсталира първата движеща се поточна линия (конвейер), за масово производство на автомобили в света. Това нововъведение позволява да се намали времето за производство на един автомобил от над 12 часа до само два часа и половина [1].

За да се приложат новите, технологично инженерни постижения, в производството на Model T, са наложени конструктивни промени на крайното изделие. Тези изменения, позволяват конвейърното му производство, и съчетават улеснения за водача му по време на управление.

Така Model T става забележително техническо постижение, за времето си, в инженерната, индустриалната и социална области.



Фиг. 1. Конвейера на Форд за монтаж на автомобила FORD Model T

Б. Втора автомобилна революция.

„Just in time” (JIT) – „точно навреме“ е името на втората автомобилна революция, изобретена и проведена от фирмата Toyota. Тя достига своя апогей през 70-те години на миналия век. След втората световна война Киширо Тойода, създателят на концерна Toyota осъзнава, че единствено развитието на развойно-внедрителската дейност може да запази компанията му в конкуренцията със световните сили, GMC и Ford. Той мечтае да създаде система, в която нито един елемент да не се създава преди да възникне необходимост от него. Така, основен лозунг в Toyota става „Точно навреме” (Just in time). В пълна степен възможностите на „Just in time” се развиват и използват след 50-те години на XX век, при управлението на Ейджи Тойода. През 1950 г. японските инженери получават възможност да стажуват в американските заводи на Ford. Проучвайки производствената им система, Ейджи Тойода и други специалисти на Toyota, установяват, че от една страна, масовото производство и стандартизацията във Ford създават благоприятни условия за поевтиняване на автомобилите и позволяват внедряване на техническия прогрес, но от друга има сериозни недостатъци, като например:

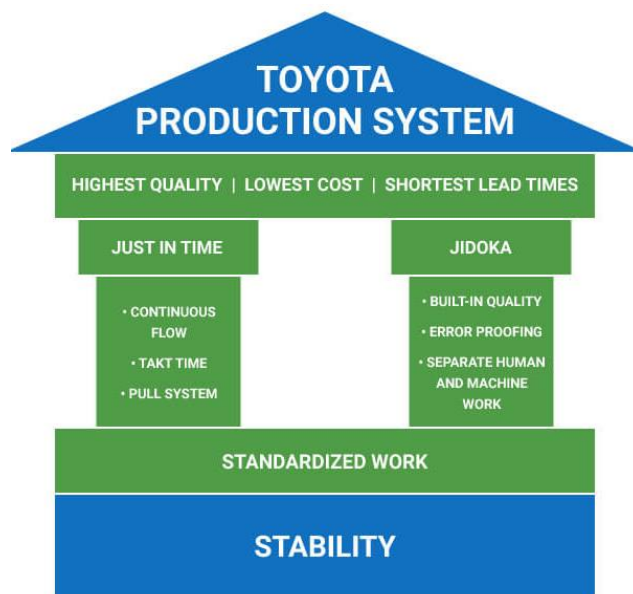
- Свръхпроизводство в отделни сектори на производствената система, следствие от целта да се произвеждат огромни количества продукция (подсигуряване)
- Складиране на големи стокни запаси в някои сектори и транспортирането им към други сектори, където тяхната обработка трябва да продължи (скъпо платен транспорт)
- Неравномерен производствен поток, с прекъсвания между отделните му етапи, което поражда финансови загуби
- Невъзможност да се откриват дефекти в големите партии продукция, което също води до загуби.

На тази база в Toyota, се въвеждат множество технологични промени, които са документирани в наръчниците „Общо профилактично обслужване на оборудването”, „Тотално управление на качеството”, „Непрекъснато усъвършенстване”, „Автоматизация” и „Доставки точно навреме на комплектуващи детайли”.

Идеите на Ейджи Тойода са продължени от заместника му Соичиро Тойода. Той внимателно изучава идеите на Уилям Деминг (експерт по управление, създател на концепцията за „тотално управление на качеството”) за управление на качеството и на тази база производствената система в Toyota е подобрена, като променят два аспекта:

- Процесът на управление на качеството се систематизира на базата на високи стандартизирани критерии
- Процесът на управление на качеството се внедрява във всяко подразделение на компанията

Така под управлението на Соичиро Тойода, Toyota се превръща в прочута международна корпорация, прилагайки системата TPS (Toyota Production System), базираща се на два принципа - концепция „Точно навреме” (Just in time - JIT) и концепция „Джидока” (Jidoka е жаргон произхождащ от японски, което се превежда като „автономия”, комбинация от думите автономен и автоматизация).



Фиг. 2. Два стълба на производствената система на Тойота – JIT и JIDOKA

- Концепция „Точно навреме” (Just in time) – произвежда се само това, което е необходимо, само когато е необходимо и само в необходимото количество
- Концепция „Джидока” (Jidoka) – автономизация, т.е. внасяне на човешки интелект в машините, способни самостоятелно да откриват първия дефект, веднага да спират и да сигнализират, че е възникнал проблем

Организирайки се въз основа на тези концепции Toyota постига гъвкавост в производство на автомобили с високо качество, при ниски производствени разходи и кратки срокове за изпълнение [2].

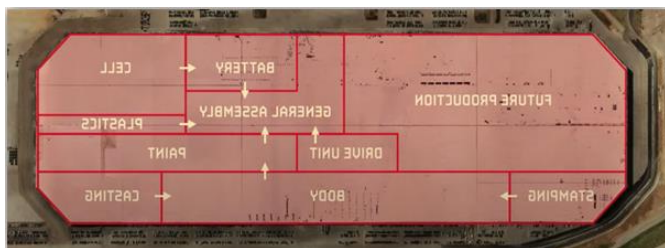
В. Трета автомобилна революция.

По време на техническата конференция на Goldman Sachs (една от най-големите инвестиционни банки в света), Мартин Виена, ръководител на връзките с инвеститорите на фирмата Tesla, е направил изказване, в което се фокусира върху две големи теми. Според него те са от решаващо значение за фирмата и EV (Electric Vehicle) индустрията за следващите 5 години.

- доставка на батерии и технологии
- необходимите разходи за производство на самите превозни средства.

Той се е изразил така: „Разходите за производство на превозно средство са най-важният показател за наблюдение през следващите години, това е крайният определящ фактор, за това колко коли компаниите са способни да произведат и до колко автомобилните компании могат да пораснат и да се замогнат.

През 2017 г. разходите на Tesla за производство на един автомобил са били 84000 \$. През третото тримесечие на 2022 година тези разходи са свалени до 36000 \$ на автомобил. Tesla е постигнала това с помощта на по-добрия и опростен автомобилен дизайн, както и новият вид на заводите и новата умна организация в тях.



Фиг. 3. Концепция на монтажния завод на Тесла

Архитектурата на EV моделите е много по-различна от тази на колите с двигател с вътрешно горене, което позволява революция в автомобилното производство. В допълнение трябва да се обърне внимание и на разработките на софтуер за тези автомобили, който се развива с цел достигане на модел FSD (Full Self-Driving) или пълна автономия при управлението. В разработването на софтуера се използват елементи на изкуствен интелект (AI), който се самоучава от данните за инциденти с автомобила, които непрекъснато влизат в глобалната база с данни на Tesla.

В Tesla се ориентират също за намаляване на използваните микропроцесорни чипове от 80 на 20 без да променят възможностите им и да ги оскъпяват. Това става чрез подобряване и актуализиране на медупроцесорната мрежа с помощта на софтуера. Така необходимите за един автомобил чипове ще се влагат в четири. Tesla прави собствен дизайн на чипове за своята система за самостоятелно управление. Няма точни данни колко чипове се използват в другите съвременни

автомобили. Предположенията са, че в зависимост от моделите в тях се влагат от 1000 до 3000 чипа.

Доказателство за началото на нова автомобилна революция е изказването на новия мениджър на Toyota, Коджи Сато пред представители на „Automotiveneews“ за Tesla Model Y. „Макар Model Y да изглежда визуално идентичен (с другите модели на Tesla), той е напълно променен под ламарините. Разглобяването на електромобила показва, че производственият процес на Toyota е морално остарял. Премахвайки „кожата“ на Model Y на Tesla, се вижда, че той е истинско произведение на изкуството. Невероятно е!“ [3].

От обясненията по-горе е очевидно че последните новости, въведени в автомобилната индустрия са зависими от напредналите технологични открития и постижения, от което може да се направи извода, че тук на помощ се явява четвъртата индустриална революция.

III. ТЕХНОЛОГИИ ОТ INDUSTRY 4.0 ПРИЛОЖИМИ В ТРЕТАТА АВТОМОБИЛНА РЕВОЛУЦИЯ

Industry 4.0 представлява нова ера на производството, която се характеризира с автоматизация, цифровизация, интернет на нещата (IoT), изкуствен интелект (AI) и много други напредни технологии. Industry 4.0 е концепцията за промишлената революция, която въвежда нови технологии и в производствените процеси. Тези технологии са налице в цялата индустрия и се прилагат и в производството на автомобили [4].

Industry 4.0 е комплекс от технологии и затова е целесъобразно да се разглеждат поотделно като се посочва точното приложение в конструирането и производството на автомобили и в частност на EV автомобилите. Да разгледаме най-често приложимите от тях:

А. Използване на Интернет на нещата (IoT).

IoT технологиите могат да бъдат използвани за свързване на автомобилите с други устройства, като например смартфони, домашни уреди и др. Това може да позволи на потребителите да контролират и мониторират своите автомобили от разстояние, да получават информация за състоянието на батерията на EV автомобилите, температурата на мотора, проблеми с всички устройства на автомобила и др. Това позволява на производителите да следят по-ефективно състоянието на автомобилите и да предлагат по-добри гаранции и сервизно обслужване.



Фиг. 4. IoT комуникация между участниците в уличния транспорт в града

Б. Използване на AI.

AI технологиите могат да бъдат използвани за оптимизиране на ефективността на автомобилите, като например да се намали разхода на енергия и да се удължи живота на устройствата и батериите на EV моделите. AI може да се използва и за автоматизация на производствения процес, като например за контрол на качеството на компонентите, за анализ на данните, събрани от автомобилите и за предвиждане на проблеми в автомобилите. Това може да помогне за намаляване на времето за ремонт на автомобилите и за предотвратяване на по-големи проблеми.

В. Използването на 3D принтиране.

3D принтирането е приложимо при производство на елементи от конструкцията на автомобилите, комплектовани в неразглобяеми блокове с движещи се части, както и на части на електрическите мотори за окомплектоването им. Това може да ускори производствения процес, да намали разходите за производство и да позволи по-голяма гъвкавост в дизайна на компонентите.

Г. Използване на автономни системи за управление на автомобили.

Автономните системи се прилагат в две направления:

- системи за производство на автомобили, като например за монтаж на компонентите или за качествен контрол
- системи за управление на автомобилите, което може да помогне за намаляване на броя на инцидентите на пътя.

Автономните системи могат да бъдат използвани и за доставка на автомобилите до клиентите.

Д. Използване на блокчейн технологии.

Блокчейн технологиите могат да бъдат използвани за съхранение на данни за производствения процес и доставчиците на компоненти. Това може да помогне за по-лесно следене на произхода на компонентите, управление на инвентара и по-бързо откриване на евентуални проблеми в производствения процес.

Е. Използване на виртуална реалност (VR) и допълнена реалност (AR).

VR и AR технологиите могат да бъдат използвани за обучение на работниците от производствените линии за монтаж и проверка на автомобилите. Това може да помогне за по-ефективно обучение на нови служители, намаляване на времето за обучение и по-бързо внедряване на нови процеси.

Ж. Използване на масиви от данни (Big Data).

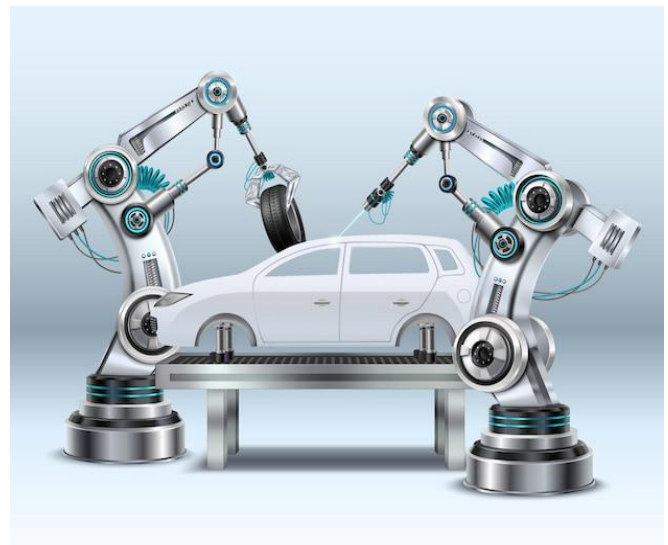
Обслужването на Big Data ще се използва за анализ на данните, събрани от сензорите в автомобилите. Това може да помогне за предвиждане на нуждите на клиентите, оптимизиране на сервизното обслужване и подобряване на конструктивните и производствени необходимиости.



Фиг. 5. Използване на VR и AR технология за обучение и контрол

З. Използване на колаборативни роботи (Cobots).

Коллаборативните роботи са приложими в автоматизираното производство на автомобилите. Подпомат увеличаването ефективността на процесите, като премахват субективната грешка и подобряват качеството. Те предразполагат за развитие на машинното обучение с прилагането на технологията за самообучение на машините (Machine to Machine – M to M).



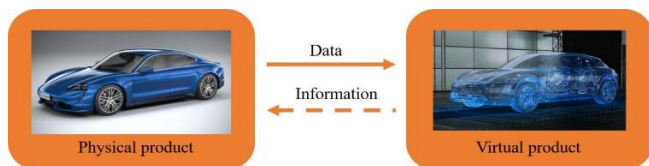
Фиг. 6. Коллаборативна самообучаваща се роботика

И. Използване на облачните услуги.

Облачните услуги могат да бъдат използвани за управление на данните за автомобилите и за свързване на автомобилите с други IoT устройства. Това може да помогне за по-добро управление на автомобилите и за предоставяне на нови услуги на клиентите.

Й. Използване на цифрови близнаци (Digital Twins).

Създаване на точен дигитален модел на определени устройства (роботи, помпи, електромотори, машини, инструменти и др.), с възможност да изпълняват в симулативен режим желаните реални операции, така че с тяхна помощ да се проверяват процесите, без да се нарушава производството и да се създават условия за нежелани инциденти.



Фиг. 7. Създаване на симулативен цифров близък

К. Използване на сензори.

Сензорите са в основата на дигитализацията и управлението на съвременната индустрия. Данните, получени от тях, са приложими за мониторинг на състоянието на автомобилите, за следене на износването на компонентите и за предвиждане на нуждите за ремонт и поддръжка на автомобилите.

Л. Технологиите за киберсигурност.

Задължителна технология за контрол и безопасност. Като всичко създадено от човекът, технологиите на Индустрия 4.0 не са лишени от грешки и опасности за човечеството. Във всеки един момент участват управляващи програмни продукти. В последно време се прилагат и AI софтуерни продукти, които се самообучават и вземат самостоятелни решения. Киберсигурността трябва да наблюдава, санкционира и предпазва от евентуални инциденти, съобразявайки се с международните юридически закони.

Тези са някои от най-използваните технологии на industry 4.0, които се прилагат в изграждането на автомобилите и в частност на EV автомобилите. В бъдеще със сигурност ще се разработят нови по-иновативни, по-гъвкави и по-умни технологии, които ще намерят широко приложение в този клон на индустрията, използването и поддръжката на автомобилите.

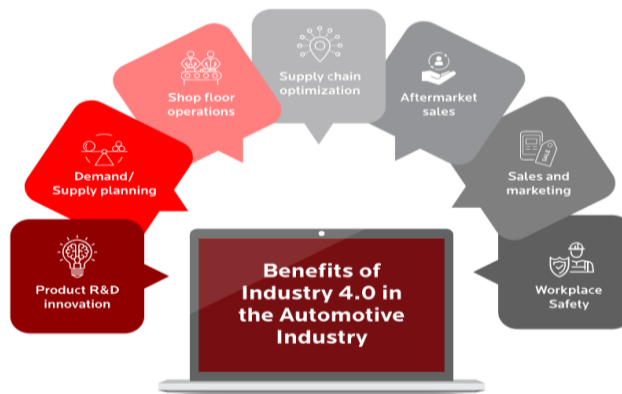
IV. СЪВМЕСТНО РАЗВИТИЕ НА ДВЕТЕ РЕВОЛЮЦИИ (INDUSTRY 4.0 AND THIRD AUTOMOTIVE REVOLUTION)

Съвременните автомобили и в частност електрическите автомобили са напълно различни от техните събратя и модели от миналия XX век. Разликата е в техните конструкции, компоненти и производствени методи. Именно тук Индустрия 4.0 допринася за по-ефективно и качествено производство.

В крайна сметка Индустрия 4.0 може да допринесе за значително по-ефективно и качествено производство на автомобилите чрез използване на нови технологии и методи в производството.

Например, Industry 4.0 може да бъде използвана за изграждане на цифрови модели на производствения процес на EV автомобилите, които да се използват за оптимизация на процеса и намаляване на времето и разходите за производство. Технологиите като IoT могат да бъдат използвани за мониторинг на работата на машините, за да се открият проблеми по-рано и за да се предотвратят прекъсвания в производствения процес. Също така, изкуственият интелект и машинното обучение могат да бъдат използвани за анализ на големи обеми данни, за да се извлекат полезни информации от тях, за да се подобри качеството и ефективността на производството. В допълнение, 3D принтерите могат да

бъдат използвани за производство на компонентите на EV автомобилите, което може да намали времето за производство и да увеличи стойността на произведените компоненти. Блокчейн технологията може да бъде използвана за подобряване на веригата на доставките и за осигуряване на по-добра прозрачност на данните в производството на EV автомобили. Това може да помогне да се гарантира, че компонентите, използвани за производство на EV автомобилите, са произведени в съответствие с определени стандарти и критерии за качество.



Фиг. 8. Фиг.8 Съвместяване технологиите на Industry 4.0 в автомобилното производство

В крайна сметка, Industry 4.0 може да помогне да се постигне по-ефективно и качествено производство на автомобилите и EV автомобилите.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бъдеще съвместяването на Industry 4.0 и автомобилното производство ще продължи да се развива и да се усъвършенства. Очаква се да видим все повече автоматизация и роботизация на производствените процеси, както и все по-голяма интеграция на технологии като IoT, изкуствен интелект и машинно обучение в самите автомобили.

Това ще доведе до значително повишение на ефективността и качеството на производството на автомобили, както и до намаляване на времето и разходите за производство. Също така, автоматизацията на производствените процеси ще допринесе за намаляване на риска от човешки грешки и ще подобри безопасността на работниците в производствената среда.

В крайна сметка, съвместяването на Industry 4.0 и автомобилното производство ще доведе до по-ефективно, качествено и иновативно производство на автомобили, което ще отговаря на нарастващите изисквания на пазара и потребителите. Конструкциите и системите в автомобилите ще стават по-сигурни и издръжливи. Управлението ще е подпомогнато от технически средства и устройства, предпазващи от грешки на механиката, електрониката и софтуера. Целта е една, по-добро и сигурно производство, по-добри и надеждни модели, по-грамотно управление, безинцидентно пътуване, премахването на инфронтациите между водачите на превозните средства и подобряване на транспортния климат на човечеството.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Martin Pillar. "Catching up with Henry Ford's 'Conveyor Revolution' TODAY...!", Business Development at Coveya Ltd | Keeping you Moving! Published Nov 2, 2016.
- [2] The Toyota Production System House, September 20, 2018, by Jesse Allred
- [3] David Zalubowski. "A Tesla executive laid out the company's next 5 years at an invite-only conference.", A Tesla Model 3, INSIDER, Sep 12th, 2022, at 5:27PM.
- [4] Dr. David Avishay, Prof. Veselin Pavlov, Ph.D. Galya Pavlova, "Psycho-technical, social and real achievements, and problems in the use of AI and robots in production management during the Fourth Industrial Revolution", June 2020, ADP Conference, Bulgaria.

APPLYING THE TECHNOLOGIES OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION TO THE THIRD AUTOMOBILE REVOLUTION

David Abishai
Azrieli, Jerusalem Academic College of
Engineering,
Department of Industrial Management
and Engineering
Jerusalem, Israel
e-mail: davishay@jce.ac.il

Galya Pavlova
Technical University of Sofia,
Faculty of Computer Systems and
Technologies
Sofia, Bulgaria
e-mail: racheva@tu-sofia.bg

Abstract: The emergence of conditions for the implementation of the third automotive revolution, including constructive changes of models, innovative organization of plants and new production cost, is directly related to the technologies of Industry 4.0. How the two revolutions are reflected in each other and where the points of cooperation are is the subject of the present work. The cooperation of the two revolutions affects the existence of mankind from ecological, technological, and social points of view, which forms conclusions and certain decisions.

АВТОМАТИЗАЦИЯТА НА ПРОИЗВОДСТВОТО В ЧАСОВНИКАРСКАТА ПРОМИШЛЕНОСТ

Стефан Къртунов
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: skartunov@abv.bg

Петър Рачев
ТУ-Габрово
Катедра „Машиностроене и
уредостроене“
Габрово, България
e-mail: ra4ev_petar@abv.bg

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

Резюме: В статията се прави исторически обзор в развитието на часовникарската промишленост. Дава се информация за фирми-производители на уреди за измерване на време. Разгледани са оборудване и роботи в автоматизацията, автоматизирано конструиране, технологични операции в производството, тестване, изпитания и контрол в часовникарската промишленост.

Ключови думи: автоматизация на производството, часовникарска промишленост

I. ВЪВЕДЕНИЕ

A. Исторически обзор в развитието на часовникарската промишленост

Изобретяването на механичния часовник със сигурност е едно от най-големите открития на Човечеството, при това в Северното полукълбо. След Реформацията на Мартин Лютер в Германия и конкретно на Калвин в Швейцария се налагат нови идеи през 16 век в морално отношение за ограничаване на бижутата и скъпоценностите като аксесоари предимно на аристокрацията и заможната част от населението. Това води до нововъведения не само по сгради, замъци и катедрали, но и в облеклото и бита на хората предимно като джобни часовници отново за крале, знатни и заможни персони, а към 1525-1540 г. – съответно до настолни и стенни часовници за по-обикновените хора. В Германия още от края на 14-ти век най-известните ателиета са в Нюрнберг, Аугсбург, Саксония, а часовникари като Й. Бейтелрок (Германия), Ж. де По и А. Вибреге (Франция) създават прототипи на съвременните механизми. Петер Хенлайн през 1542г. изработва в Нюрнберг първите преносими джобни часовници като заменя барабанът с пружина, които се смятат официално за първите механични часовници. Специално в Аугсбург около 1560 г. вече се произвеждат механични часовници с паузи. Градът се развива като център на часовникарската занаятчийска камера и към 1580г. за пръв път се произвеждат часовници с формата на чиния със задвижван циферблат. Не случайно и във връзка с казаното по-горе около 1600 г. Пол Ом конструира часовници със сребърна кутия във формата на мъртешки глави за свещеници-служители на духовни ордени, а Хенри Естер изработва в Аугсбург джобни часовници с механизъм за отброяване на часовете с удар. Следват автоматични часовници на Паул Шустер и Ханс Шлотхайм отново в Германия.

Във Франциз, Париж към 1544 г. се създава еснаф на часовни-карите, ръководен от избрани часовникари. В Италия, Милано - Б. Бертола има часовникарска работилница. Разбира се през 1555г. в Швейцария, Женева започват да се произвеждат джобни часовници с подвижни фигурки. Създадените там ателиета от бижутери се преквали-фицират и преместват в самото начало на 17-ти век дискретно в планината Юра и град Ноен-бург (Швейцария). Занаятчийи и отделни фами-лии като например Даниел Ришар конструират във Франш-Конте, а особено в Морез и Морбиер правят джобни часовници. В последствие от тази промяна се развива швейцарската часовни-карска индустрия, като постепенно се разработват различни конструкции и приспособления за производството на детайли/механизми и сглобя-ването на часовници. Швейцарецът Грюе изобретява веригата като елемент, пренасящ движе-нието между пружинната кутия, червяка и зъбния механизъм на джобния часовник. (За това се посочва 1590 г.) 1665 г. Т. Мюдж конструира анкерна система за джобни часовници.



Фиг. 1. Пощенска марка, издадена в чест на Мартин Лютер и по случай 400 г. от изобретяването на часовник с баланс в Германия. Часовници от около 1400, 1560, 1681, 1584-5 и 1600г. Джобен часовник, Лате - Швейцария 18-ти век (л.а.)

Спорът за първенството между Германия и Швейцария обаче продължава и до днес. В този кратък исторически обзор трябва да се спомене и англичанинът Робърт Флъд, който през 1618 г. описва джобен часовник. Много по-късно, около 1860 г. масовото индустриално производство на часовници за бита в Германия, Англия и САЩ с шаблонни часовници става причина за изместването на ръчното производство и занаятчиите се специализират в поправката на часовници, а през 1881 г. е открита първата фабрика на Seiko в Япония.

В 1895 г. юбилейният часовник на Глазхюте е изложен за петдесетата годишнина на часовникарската индустрия в Глазхюте като майсторско постижение на индустриалното точно уредостроене. Масовото производство на ръчни часовници започва в 1930 г., след като още от около 1790 г. са били изработвани гривни с часовници-бижута като единични бройки. В България, София е открита часов-никарска фабрика „Гномон“ в на 1.IX.1934 г. от Г. Хаджиниколов. След 9-ти септември 1944 г. в България са произвеждани 3 марки будилници, по същество съветски реплики. През 60-те години в различни варианти са изработвани часовниците „Радиосинхрон“. Върх на часовни-карската промишленост е ЗЧП „Импулс“ Габрово, произвеждащ през 70-те и 80-те години на 20-ти век часовникови релета, броячи и други, както и електронните часовници от Правец. Производството на механични часов-ници след ВСВ обаче трябва да се пренастрои най-вече поради изобретяването на електронния часовник. През 1952 г. в САЩ се произвеждат първите прототипи на ръчни часовници със задвижвани от електричество трептящи системи на баланса, а 7 години по-късно фирмата Хамилтън пуска масово електрически часовник.

За около 10-15 години до 1969 г. фалират над 1000 фирми на механични часовници, остават около 600 фирми (основно Сейко), внедрили кварцовите часовници, което води до криза в производството на механичните такива. Едва след 1983 г. автоматичните часовници се завръщат на пазара. Така към 1984 г. водещите държави, производители на автоматични часовникови механизми-калибри, са Китай, Япония и Швейцария. Китай - 25% са в Тянь Жин Сигъл и FIYTA, базирани на швейцарски патенти. Япония-Мийота за механизми, собственост на Ситизен, Casio с около 30 дъщерни компании, Ориент и Сейко (различни части от производството на часовниците Seiko се правят в Китай, Малайзия, Япония и Сингапур); Швейцария, Ета за детайли и меха-низми - на най-големият производител в Света SWATCH (~25% от пазара) и Селита. Кризата налага обединяването на малките фирми в големи групи дружества, концерни и холдинги, както и нови конструктивни решения. Много от фабриките са закрити за посетители, фирмите не публикуват данни, а технологиите са секретни.

В Швейцария англичанинът Джорж Даниелс работи в продължение на 25 години и въвежда във фирма „Омега“ коаксиален ходов, спусков механизъм, който е комбинация от лостовият и стопорният и това техническо решение предо-пределя развитието на цялата часовникарска промишленост в бъдеще като от 2001 г. започва масово производство на механични часовници с такъв механизъм. През 21-и век следва производство на сложни турбийони, ръчни и многофункционални Smart-часовници.

Б. Фирми-производителки на уреди за измерване на време

Понастоящем индустрията за часовници е глобална и повечето световни марки са част от големи концерни производители, собственост или имащи правата върху името и производството им. SWATCH GROUP 1983 (Биен/л, Switzerland, фиг. 10) притежава марките:

Breguet, Blancpain, Glashütte Original, Harry Winston, Jaquet Droz, Omega, Léon Hatot, Longines, Rado, Union Glashütte, Tissot, Calvin Klein, Balmain, Certina, Mido, Hamilton, Swatch, Flik Flak. Благодарение на собствеността върху механизми ETA е осигурена потребността от детайли и механизми за собствени нужди, като освен това е и най-голям снабдител на механизми за часовници в швейцарската индустрия, в Англия на Bremont и др. RICHMONT GROUP (Switzerland) притежава марките: Vacheron Constantin, A. Lange & Söhne, Jaeger-LeCoultre, Roger Dubuis, Piaget, IWC Schaffhausen, Officine Panerai, Ralph Lauren**, Baume & Mercier, Cartier, Van Cleef & Arpels, Montblanc, Dunhill. По продажби доминира дела на инструментите за време и бижутерски марки. LVMH GROUP (France) притежава марките: TAG Heuer, Bulgari (от 2012), Hublot (марка на последните 3 световни първенства по футбол), Zenith, Dior, Fred, Chaumet, Louis Vuitton. LVMH Moët Hennessy Louis Vuitton SA е най-големият концерн за луксозни стоки в света.

Следващата KERING GROUP (France) - Ulysse Nardin, Girard-Perregaux, Jean Richard, Gucci, Boucheron, Qeelin, Bottega Veneta. KERING е голяма компания, базирана в Париж с акцент върху модата. През 2012 г. закупуват Sowind Group, състояща се от марките Girard-Perregaux и Jean - Richard. Sowind прави швейцарски механични механизми, които се появяват и в часовниците Gucci за първи път през 2013 г. И разбира се SEIKO GROUP (Japan) притежава марките: Seiko, Grand Seiko, Credor, Pulsar, Lorus, Alba, Orient като Сейко произвежда всички компоненти, използвани в двете основни направления - механични и кварцови часовници. FOSSIL GROUP (Ричърдсън, Тексас USA) – притежава марките Fossil, Relic, Michele, Zodiac, Skagen (от 2012), Adidas*, Burberry*, Diesel*, DKNY*, Michael Kors*, Tory Burch*, Marc Jacobs*, Emporio Armani*, Emporio Armani Swiss Made*, Armani Exchange*, Karl Lagerfeld* и силата ѝ са модните марки часовници. MOVADO GROUP (Парамус, USA), лидер в сегмента луксозни и фешън часовници, притежава марките: Ebel, Concord, Movado, ESQ by Movado, Coach*, Hugo Boss*, Juicy Couture*, Tommy Hilfiger*, Lacoste*, Scuderia Ferrari*. CITIZEN GROUP (Japan) – притежава марките: Citizen, Campanola, Q&Q, Arnold & Son, Bulova (от 2008), Bulova Accutron II, Bulova AccuSwiss, Wittnauer, Caravelle New York, Bulova Clocks, Frank Lloyd Wright*, Harley-Davidson*, Frederique Constant, Alpina, Ateliers de Monaco и е известна с дейността си главно в направата на часовници, металорежещи машини, компоненти и електроника. TIMEX GROUP (USA) притежава марките: Timex, Nautica*, Opex*, GC*, Guess*, Salvatore Ferragamo Timepieces*, Versace*, Versus*.

Групата е най-добре позната със своята едноименна масова марка Timex. FRANCK MULLER GROUP (Гентод, Switzerland) притежава марките Franck Muller (има собствена едноименна луксозна марка Franck Muller), Pierre Kunz, European Company Watch, Rodolphe, Martin Braun, Barthelay, Backes& Strauss**, Pierre Michael Gokay, Smalto Timepieces*, Roberto Cavalli*. FESTINA GROUP (Барселона, Spain) притежава марките Perrelet, L.Leroy, Candino, Festina, Lotus, Jaguar*, Calypso*.

Група притежава и Soprod, които правят швейцарски механизми за някои часовнически марки, също тяхна собственост е и производителят на високо часовнически турбини MHV. Acrotex (Франция)-18 фирми. Руски и в комбинация с други страни часовнически-Волмакс (Volmax), Източна Европа (Восток-Европа), Слава, Ракета, Изток, Романов, Чайкин. Преди 1991 г., е имало много часовническа промишленост в СССР, наброяваща около дузина фабрики и стотици марки. Руските компании за часовнически правят някои наистина страхотни и уникални изделия в постсъветската епоха, но ситуацията се обърна от голямата конкуренция [10, 13]. В Беларус Минският частен завод за часовнически предлага моделите Луч, Favorit и Sekonda. В Китай 53% от часовниците се произвеждат в Шънджън. От гледна точка на автоматизацията всички тези групировки разработват групови технологични процеси за детайли и типови такива за конкретни марки и модели часовнически. Забележка: Отбелязаните със звезда марки се произвеждат по лиценз [11].

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

A. Оборудване в автоматизацията на часовническата промишленост

В съвременността се появиха прецизни машини и обработващи центрове, които дават възможност за изработването на прецизни части за часовнически на фирмите да произвеждат различни детайли и изделия от фината механика. Още през 1922 г. немската фабрика Hermle, основана от Франц Хермле за производство на часовнически в Госхайм е местен клон на известната марка "Kienzl Kloks" и е изключително ангажирана в производството на детайли и отделни части за часовнически, което развива фирмата и промишлеността като цяло. Много по-късно, с производството и внедряването на многооперационни машини тип обработващ център Хермле затвърждава тази стратегия.

След появата на машините с ЦПУ в началото на 60-те години на 20-ти век, следва разработването и внедряването на машините тип обработващ център в часовническата промишленост. За Германия са характерни центрите Декел, Щайнел, Трумпф и цитираните Хермле, във военното производство – Маузер и Махо, специализираните Хауни\$Блом, Хобегер, Хаас. За Швейцария това са Асиера и Таурус; за Япония – Хитачи, Митсуи Сейки, Амада, Раскин, Фанук, за Австралия - обработващи центрове за фрезование с управление по 5-оси от Kern Microtechnik, Willemin (Германия), за Китай–Rapid Done и др. Информация за този тип машини и техните възможности е дадена в [1].

В течение на последните 20-25 години машините тип обработващ център за часовническата промишленост се специализираха поради естеството на работа. Проектанти, производители на инструменти и подизпълнители искат и вече имат производствени ресурси, съвместими с концепцията Industry 4.0, които съответстват на глобалните им амбиции.

Например обработващият център за производство на часовнически Fanuc Atome внася нова динамика в швейцарската часовническа промишленост.

Базирана в Льо Локле (Нюшател), фирмата производителка на специализирани и стандартни машини за автомобилната и часовническата промишленост Emissa извършва сама 90% от изработката на своите компоненти. За допълнително увеличаване на гъвкавостта и автономията на обработващия център за производство на часовнически Atome може да се монтира робот на тази много компактна машина. И за това производителят избира робот FANUC модел LR Mate 200iD/4S, с две управлявани оси и 40N товароносимост на хващача, точността му на повторимост при позициониране е +/- 0,02 mm (фиг. 2).



Фиг. 2. Робот FANUC LR Mate 200iD и напълно персонализиран интерфейс човек-машина обслужва центъра Атоме [3]

Основна роля в автоматизацията на производството на часовнически имат роботите. Фрезването на корпуси на часовнически и други детайли с обработващите центрове Robodrill с ЦПУ 31i-Model A5 по 5 оси трябва да е целесъобразно дори за малки производствени серии, благодарение на оригиналната концепция на инструментите, закрепването и обслужването с робот (фиг.3).



Фиг. 3. FANUC ROBO DRILL, Обслужващ робот поставя обработените детайли. Устройство за бърза смяна на инструментите с 21 инструментални позиции [4]

B. Автоматизирано конструиране в часовническата промишленост

При автоматизираното конструиране от идеята до скиците, след това 2D и 3D дизайн и накрая техническите чертежи и производство се осъществява от CAD-CAM-системи. Например производството на Bulgari Haute Horlogerie SA в Ла Шо дьо Фон, Нюшател, получава съответните чертежи и 3D-CAD данни. Въз основа на тези данни се създава екипировката за закрепване и приспособленията-държачи за обработваните детайли. След това чрез CAM се планира производството стъпка по стъпка.

B. Технологични операции в производството на часовнически

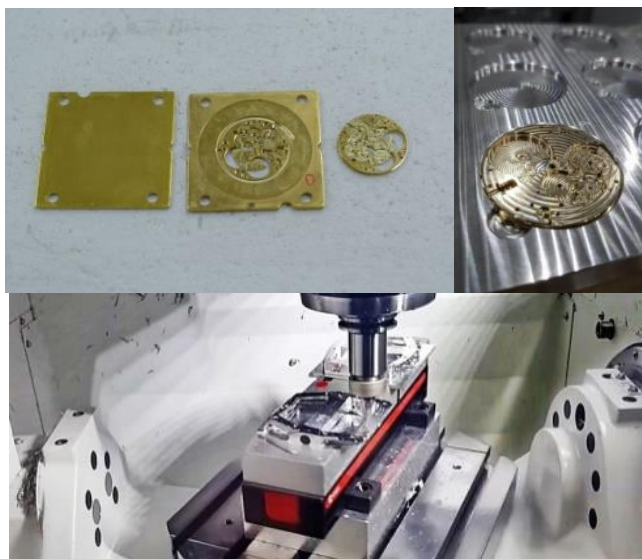
В един механичен часовник има средно около 135 детайли, 450 в хронограф, до над 700 в турбийоните. Много от технологиите за тях са секретни и защитени, а информацията – много оскъдна.

Тук се дават само някои примери. Циферблатите в Bulgari например се конфигурират на няколко слоя и са толкова сложни, че има дори независима производствена операция за тях в допълнение към тази за верижките на часовниците. Корпусът, циферблатът и задното капаче на корпуса се произвеждат в Ла Шо дьо Фон.



Фиг. 4. STP или "Swiss Technology Production" (Производство по Швейцарска технология), е тайното оръжие на Fossil за спечелването на пазара на механични часовници [9]

В зависимост от типа на корпуса той се стругова или фрезова, като най-напред се използват базови размери като референтни размери или референтна област. След процеса на струговане, фрезване и пробиване, обработваният детайл (корпус, плоча, мост, пластина или баркета) се полира (фиг. 5).



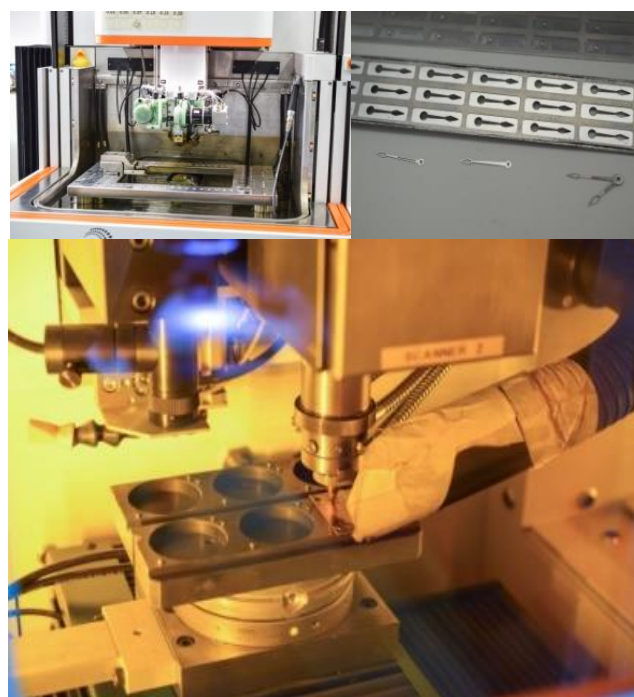
Фиг. 5. Корпуси след обработка на центри Kern Micro-technik, Rapid Done [5,6]

Щанцоването е производствена операция на точни компоненти с повторямост и висока производителност. Производствените толеранси са +/- 2 µm. Решението за производство на детайл чрез щанцоване зависи от размера на детайлите, сложността и от партидата на производство (фиг. 6).



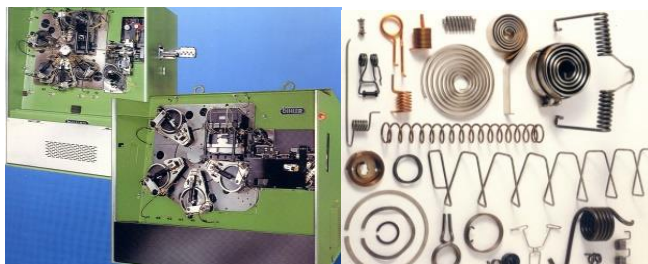
Фиг. 6. Шанци на Essa и машинни центри Primacon за производство на Монохром, фирма Vaucher Manufacture Fleurier [7]

Прилагането на енергийни методи лазерна обработка, маркировка и гравирание е обичайно. Например фирмата VMF използва нишкова ерозия най-вече за производство на матрици за щанцоване и ажурни части. Лазерната обработка позволява производството на детайли с висока точност, подходяща е за машинна обработка на тънки компоненти (до 0,8 mm при VMF), особено за дребносериенно производство, за което производството на инструменти за щанцоване е твърде дълго и скъпо. Малки партии от стрелки или маркери за часове също се обработват с лазер (фиг. 7).



Фиг. 7. Машини за ерозиране и лазерно обработване на фирма VMF [7]

Автомати за плоско спирални моментни пружини. Пример за различни видове пружини, навити на автомати Bihler, е представен на фигура 8 [2]. Примери за характерни технологии за детайли от бранша са посочени в [12].



Фиг. 8. Плоско спирални моментни пружини и автомат Билер

Сглобяването на механизми и производството на части за часовници са две абсолютно отделни направления в автоматизацията. Въпреки автоматизацията, елитните часовници се свързват неотменно с ръчна майсторска изработка и тестване, което определя цената, но фирмите, които я практикуват, остават все по-малко, например фабриката на Audemars Piguet и други (фиг. 9).



Фиг. 9. Ръчно производство и тестване на часовници в Китай и Швейцария (Ролекс) [8,9]

Производството на часовници в световен мащаб и в частност в Швейцария през последните 20-30 години все повече преминава на роботизирана основа. Доминират съвременни производствени комплекси и това го доказва например самата фирма Rolex в Биел, кантон Берн). Това е не само вследствие на завишеното търсене на т.н. модели „достъпен разкош“, а необходимост от големи серии на производство, внедряването на нови материали като силиций, приспособяване към авангардни технологии, кооперирано производство и модерни изделия с нови функции като „портфейл“ за криптовалута и инвестиции за олигарси. Японските механизми се произвеждат предимно на автоматизирани роботизирани поточни линии, което позволява допускането на отклонения да се сведе до минимум. В динамична и конкурентна среда, дори и след нахлуването на пазара на смарт часовниците CasioG-Shock продължава да е недостижим, защото много хора оценяват футуристичното мислене на японската компания Casio.

Най-продаваният часовник в света е G-Shock на Casio за 2022 год. За справка, световноизвестната компания Rolex продава около 800 000 часовника годишно, но продажбите на G-Shock са три пъти повече. Така или иначе в Китай се правят около 85% от часовниците по света, а 90% от частите за часовници се правят извън Швейцария. Данните за обема на производство и свързаната с него автоматизация в над 700 частни фирми по разбираеми причини са оскъдни и често фирмена тайна.

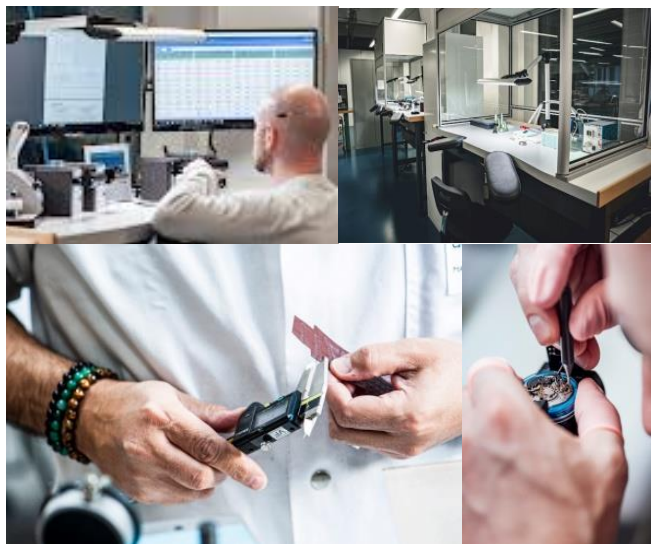


Фиг. 10. Ролекс, Ета, Swatch Group, Радо концентрирани в Биел/н,СН.Хронометри на Омега от едноименния музей [14]

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Светът на часовниците е необхватен. Те са символ на развитието на човешката цивилизация и стила на живот през вековете. Развитието на автоматизацията в часовникарската промишленост преминава през занаятчийството 16-17 век, конвейрите в края на 19-ти век до големите индустриални групировки в бранша понастоящем. Днес обаче часовниците не са това, което бяха преди. Автоматизацията се променя от вида им и с появата на съвременните интелигентни и хибридни видове и модели, става гъвкава, „маркетингова“ с интеграция между организационните, производствени и бизнес операции. Степента на автоматизацията пряко зависи от специфичните операции и процеси в бранша.

Основните ѝ раздели обаче остават автоматизираното конструиране и програмиране, технологично оборудване със специализирани машини и роботи, складиране, тестване, изпитания и контрол на софтуер за ПК (фиг. 11), вибрографи, херметичност и други, като в статията са посочени само някои примери за механични часовници. Основна остава и ръчната обработка. Все пак в рекламните материали и сайтове за часовници заради имидж и маркетингова политика за запазване на скъпите цени се дават предимно примери със занаятчийски часовникари! Дали само заради това?!



Фиг. 11. Автоматизиран и ръчен контрол в часовникар-ската промишленост - фирма Horage, CH [15]

- [5] <https://www.ctemag.com/news/industry-news/watchmaker-manufactures-small-parts-high-precision-machine-tool>
- [6] <https://www.rapiddone.com/5-axis-cnc-machining/>
- [7] <https://monochrome-watches.com/inside-vaucher-manufacture-fleurier-how-exactly-watch-parts-are-manufactured/>
- [8] <https://millenarywatches.com/rolex-watches-handmade/>
- [9] <https://timer.bg/blog/69>
- [10] <https://minikar.ru/bg/ezoterika/rossiiskie-chasy-marki-i-reiting-shveicarskih-chasov/>
- [11] <https://www.chasovnici-bg.com/fact-265- The biggest concerns and manufacturers in the watch industry.>
- [12] Kurtunov S., P. Rachev, Technology of mechanical engineering and equipment construction, third supplemented edition, Gabrovo, UI "V. April Fool's Day", 2009, ISBN 978-954-683-425-6
- [13] Multimedia clip. How is the production of WATCHES. Exploring how mechanical watches are made at the Raketa factory, <https://www.youtube.com/watch?v=9KLyivCemxg>
- [14] <https://www.google.com/search?client=opera&q=Musée+Omega+%2F+Omega+Museum&sourceid>
- [15] <https://www.horage.com>

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kurtunov S., Instrumentation Technology: Guide to Programming and Application of Metal Cutting Machines with Digital Program Control, Gabrovo, TU-Gabrovo Publishing House, 1996, ISBN 954-683-044-5, COBISS.BG-ID – 1033453796
- [2] Programm Bihler, Halblech/Füssen, Otto Bihler Maschinenfabrik GmbH&Co.KG, 2000
- [3] <https://www.fanuc.eu/bg/bg/emissa/examples-with-clients>
- [4] [examples with clientshttps://www.fanuc.eu/bg/bg/bulgari](https://www.fanuc.eu/bg/bg/bulgari)

PRODUCTION AUTOMATION IN THE WATCH INDUSTRY

Stefan Kartunov
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
 Gabrovo City, Bulgaria
 e-mail: skartunov@abv.bg

Petar Rachev
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
 Gabrovo City, Bulgaria
 e-mail: ra4ev_petar@abv.bg

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

Abstract: The article provides a historical overview of the development of the watchmaking industry. Information is given about manufacturers of time measuring devices. Equipment and robots in automation, automated construction, technological operations in production in the watchmaking industry are considered.

НОВ ПРОЕКТ НА АКТИВНА ЛАКЪТНА ОРТЕЗА

Емил Петров
Институт по Роботика – БАН
София, България
e-mail: epetroff@abv.bg

Пламен Райков
Институт по роботика - БАН
София, България
e-mail: plamen.raykov@abv.bg

Резюме: Настоящата работа разглежда подобрения на механиката и управлението на активна лакътна ортеза. Взети са под внимание и са отстранени някои недостатъци на съществуващ прототип. Механиката е олекотена, използван е актуатор с по-голям въртящ момент. Приложено е директно задвижване на оста на ортезата, което води до по-голяма точност на позициониране и до възможност за постигане на по-висока скорост на флексия/екстензия. При реални експерименти с доброволци са постигнати много добри резултати.

Ключови думи: активна лакътна ортеза, актуатор, контролер.

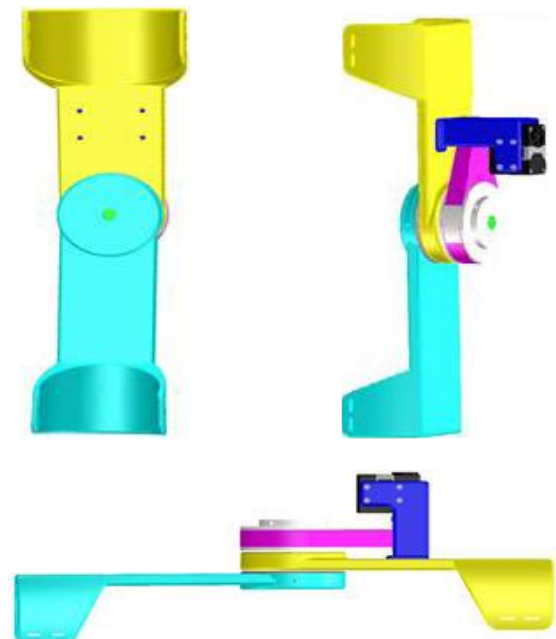
I. Увод

Лакътната става е от решаващо значение в ежедневните дейности на човека, като чрез нея е възможно да се достигне обект в пространството, да се държат инструменти и да се постига точност, както в затворена, така и в отворена верига на силите. При увредена лакътна става за правилната функция на лакътя е необходима притежаваща достатъчна здравина и обхват на движение стабилна и удобна ортеза, която да подпомага движенията на ръката. Инсултът или наранявания на лакътя са най-честата причина за развитие на скованост, което води до загуба на функционален обхват на движение. Продължителното обездвижване на лакътната става, след инсулт или наранявания на лакътя, води до скованост и може да причини значително увреждане на функцията на горния крайник. Загубата на екстензия - флексия или пронация - супинация е сериозно ограничение, което прави живота на индивида труден. Типичната лакътна става позволява екстензия от 0° и флексия от около 145° . Проучванията на Childress от 1985г. [1] описват необходимата функционалност за извършване на поне 90% от рутинните ежедневни дейности. Флексията - разгъване на лакътя трябва да бъде най-малко 100° , вариращи от 30° до 130° , с пронация - супинация на предмишницата от 100° , вариращи от 50° пронация до 50° супинация, но това не се отнася за спорт и работен диапазон на движение. Проблеми възникват след хоспитализация по повод прекаран инсулт или травми на лакътя, които изискват минимален защитен период, в който ставата трябва да бъде обездвижена в гипс [2]. След това от решаващо значение е да се продължи с рехабилитация на ставата, за да се избегне развитието на скованост в лакътя. Тъй като това отнема много време - от 6 до 12 месеца, за да се подобри, пациентът трябва да продължи с упражнения след изписване от болницата, и да следва рехабилитационна програма по време на домашното възстановяване.

Следователно разработването на интелигентна лакътна ортеза, като домашно помощно средство за тренировка на лакътната става за пациенти със скованост на лакътя, би подобрило тяхното възстановяване. Целта на всички изобретатели в тази област е създаване на леко и компактно домашно рехабилитационно устройство, което да се използва автономно от пациента извън клиничната среда.

II. СЪЩЕСТВУВАЩ ПРОТОТИП

Механиката на съществуващия прототип на лакътната ортеза [3,4] се състои от две рамена, които се закрепват към мишницата и предмишницата на пациента чрез подходящи ремъчни елементи. Двете рамена са свързани в областта на лакътната става чрез шарнир с една ротационна степен на свобода, осигуряващ флексия и екстензия. Двигателят е закрепен за неподвижното рамо (мишница) на ортезата. За да се повиши общия въртящ момент е добавена ремъчна предавка, понижаваща оборотите на двигателя. Размерът на желаните ъгли на движение и безопасността по време на работа се осигуряват чрез механични ограничители. CAD моделът на лакътната ортеза е представен на фиг.1. Горното рамо на устройството се използва и като корпус за електронни модули. [4]. На фиг.2. е показана снимка на прототипа на ортезата с монтирани актуатор и редуктор.



Фиг. 1. CAD модел на активна лакътна ортеза с редуктор зъбно-ремъчна предавка



Фиг. 2. Прототип на ортезата с монтирани актуатор и редуктор

За задвижване на ортезата е избран електрически актуатор Dymixel XH430-W350-T [5] като оптимален спрямо изискванията към ортезата. Основните му технически характеристики са:

- Захранващо напрежение [V] - 10.0–14.8;
- Максимален въртящ момент [N·m] - 3.40 (12V);
- Максимален ток [A] – 1.36;
- Датчик за позиция – безконтактен, абсолютен (12 [bit], 360 [deg]);
- Размери (WxHxD) [mm] - 28.5 x 46.5 x 34.0 ;
- Тегло [g] - 82.00.

Управлението на актуатора се осъществява по сериен канал от контролер OpenCM9.04 [6].

III. ПОДОБРЕНИЯ НА СЪЩЕСТВУВАЩИЯ ПРОТОТИП

След експерименти с доброволци и оценка на работата на гореописания прототип, бе решено той да се усъвършенства в следните направления:

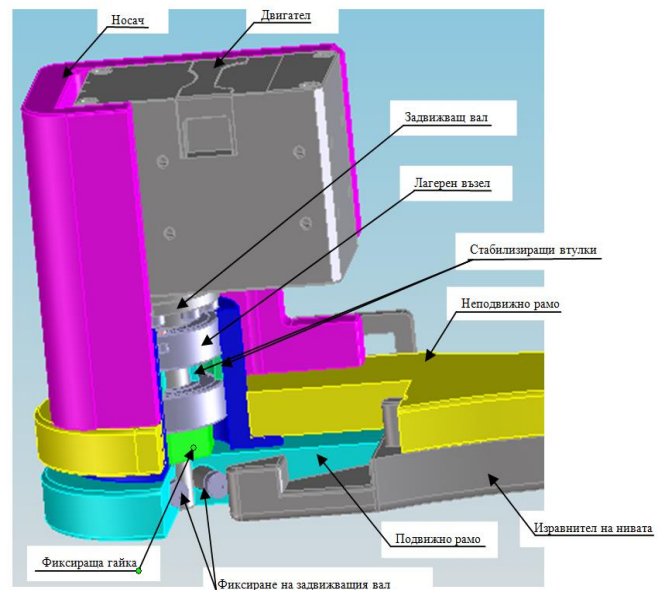
- Да се намали общата тежест на ортезата;
- Да се избегне ремъчната предавка;
- Да се увеличи скоростта на движение на ортезата;
- Да се намали неточността на позициониране вследствие хлабини в конструкцията.

Основните дейности бяха проведени в две направления:

A. Механичен дизайн

Съществуващият прототип бе изработен, сглобен и изпитан в реални условия и в заключение за него може да бъде отчетено, че се предлага като относително проста и надеждна механична конструкция на бъдеща ортеза, което осигурява една степен на подвижност в сагиталната равнина за лакътната става. На негова база, след проведени изпитания, беше извършено оптимизиране на механичната конструкция, с цел допълнително олекотяване на звената и допълнителни съображения относно размера (дължината на звената) и безопасността по време на употреба. Така създадената ортеза е пригодна за серийно производство и използване в областта на рехабилитацията

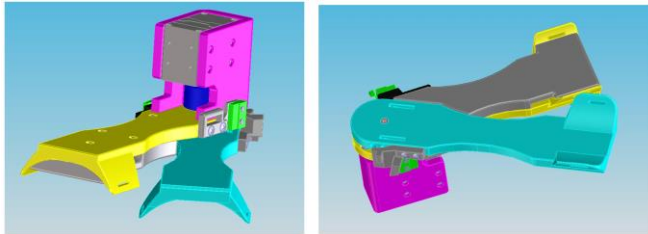
На база гореописаната конструкция беше приложена нова концепция: вместо конвенционално използваните предавки да се прибегне към “Direct drive” задвижване. Това обезпечава безхлабинно предаване на ротационните движения от двигателя в подходящо разработената ротационна става в рамките на заложените в конструкцията предпазни упори, като освен това освобождава раменната става от излишни детайли. Бяха олекотени звената на база на силов анализ по метода на крайните елементи. Беше осигурено по-добро закрепване на коланите към ортезата. Беше създаден нов CAD модел, който беше детайлиран и изработен в основната си част на 3D принтер.



Фиг. 3. Частичен разрез на задвижващата част.

Механичният модул (фиг. 3.) се състои от двигател фиксиран върху неподвижното тяло посредством подходящо изработен държач. Към вала на двигателя е закрепен задвижаващ ортезата вал, върху който е изграден лагерен възел посредством стабилизиращи втулки, част от които са фиксирани към неподвижното рамо. Част от вала е изработен като резбови детайл, върху който е вложена гайка с контриращ елемент. Чрез тази гайка е възможно обикане на хлабината на лагерите в лагерния възел, като основна част, която би създавала хлабини в движението на рамената на ортезата.

Лагерният възел е фиксиран към подвижното рамо посредством шлицово съединение, подкрепено от подходящо изработени фиксатори. Върху подвижното и неподвижното рамо са вградени твърдо закрепени и подвижни фиксатори, определящи ъгъла на завъртане на подвижното рамо на ортезата, с цел предпазване ръката от травмиране. На фиг. 4. са представени асконометрични проекции на новосъздадената ортеза.



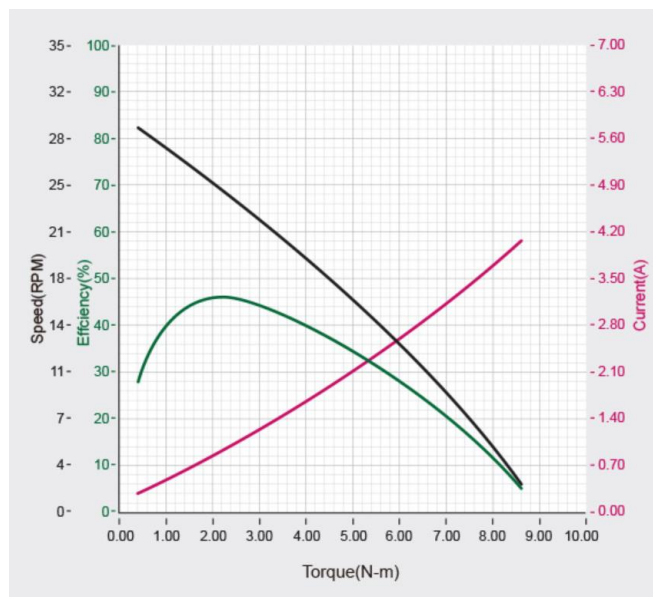
Фиг. 4. Асконометричен поглед на новосъздадената ортеза

Б. Актуатор и управление

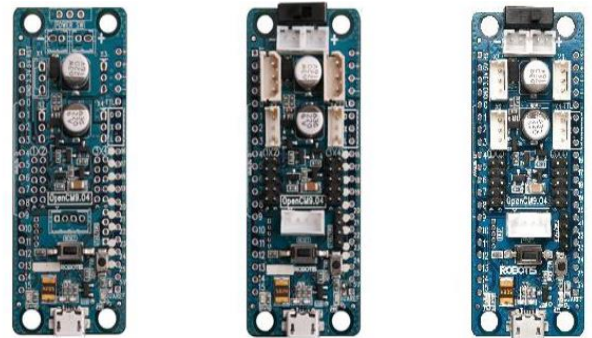
Както и в съществуващия вариант, така и в новия прототип за задвижване на ортезата бе избран актуатор на фирмата Dynamixel, в случая XM540-W270-T [7]. Основните му технически характеристики са:

- Захранващо напрежение [V] - 10.0–14.8;
- Максимален въртящ момент [N·m] – 10.6 (12V);
- Максимален ток [A] – 4.4;
- Датчик за позиция – безконтактен, абсолютен (12 [bit], 360 [deg]);
- Размери (WxHxD) [mm] - 27 x 58.5 x 51.9 ;
- Тегло [g] – 165.

На фиг.5. е представена графично зависимостта между въртящ момент, обороти и ефективност на XM540-W270-T.



Фиг. 5. Зависимост между основните параметри на актуатор XM540-W270-T



[OpenCM9.04 A-Type]

[OpenCM9.04 B-Type]

[OpenCM9.04 C-Type]

Фиг. 6. Главен контролер OpenCM9.04

Както и в съществуващия прототип, така и тук като главен контролер за актуатора Dynamixel XM540-W270-T се използва контролерът OpenCM9.04B [6] (Фиг. 6.). Системното програмно осигуряване се запазва същото с някои леки разлики в параметризирането на актуатора.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описаният по-горе нов прототип на активна лакътна ортеза е с по-добри характеристики от съществуващия. Сравнение на основните им показатели е показано в таблица 1.

Така изработената ортеза в момента се тества в един от институтите на БАН с цел да бъде обучена на базата на електромиографски сигнали да следва и подпомага движенията на лекуваната ръка. При реални експерименти с доброволци (Фиг. 7.) бяха постигнати много добри резултати.

ТАБЛИЦА 1 СРАВНИТЕЛНА ТАБЛИЦА

ПОКАЗАТЕЛИ	ПРОТОТИПИ	
	СЪЩЕСТВУВАЩ	НОВ
Тегло [g]	1250	670
Въртящ момент [N.m]	7.5 (с редуктор)	10.6
Скорост [rpm]	13	40
Точност [°]	<2	<0.1

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите благодарят за оказаната подкрепа по проект No BG05M20P001-1.002-0011 „Изграждане и развитие на Център за компетентност по мехатроника и чисти технологии MIRACle (mechatronics, innovation, robotics, automation, cleantechnologies)”, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“ и съфинансиран от Европейския фонд за регионално развитие (ЕФРР) и съфинансирана 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“ - ФНИ “Конкурс за финансиране на фундаментални изследвания на млади учени и постдокторанти – 2020 г.”



Фиг. 7. Реално тестване на ортезата

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. S. Childress, Historical aspects of powered limb prostheses. *Clinical Prosthetics and Orthotics*, 9(1): 2-13, 1985.
- [2] R. N. Scott, R. H. Brittain, R. R. Caldwell, A. B. Cameron, and V. A. Dunfield, Sensory-feedback system compatible with myoelectric control. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 18(1): 65-69, 1980.
- [3] Angelova S., P. Raykov, E. Petrov, R. Raikova (2021). A Prototype of an Active Elbow Orthosis – *Problems of Mechanical Design and Orthosis Control, Series on Biomechanics*, 35(3), 3-11.
- [4] Petrov E., S. Angelova, P. Raykov (2021). Active Elbow Orthosis Actuator Control, *Automation of Discrete Production Engineering, Technical University – Sofia*, 3, 177-180 (in Bulgarian).
- [5] <https://emmanual.robotis.com/docs/en/dxl/x/xh430-w350>
- [6] <https://emmanual.robotis.com/docs/en/parts/controller/opencm904/>
- [7] <https://emmanual.robotis.com/docs/en/dxl/x/xm540-w270>

ACTIVE ELBOW ORTHOSIS – NEW DESIGN

Emil Petrov
Institute of Robotics - BAS
Sofia, Bulgaria
e-mail: epetroff@abv.bg

Plamen Raykov
Institute of Robotics - BAS
Sofia, Bulgaria
e-mail: plamen.raykov@abv.bg

Abstract: The present work examines improvements to the mechanics and control of an active elbow orthosis. Some shortcomings of an existing prototype have been taken into account and fixed. The mechanics are lightened, an actuator with a greater torque is used. A direct drive is applied to the orthosis axis, resulting in greater positioning accuracy and the ability to achieve higher flexion/extension speeds. In real experiments with volunteers, very good results have been achieved.

SYNTHESIZE AND EXPLORE UNMANNED SYSTEMS OPERATING ENVIRONMENT

Stefan Biliderov
BAFA 'Georgi Benkovski'
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: biliderow_ss@yahoo.com
ORCID:0000-0001-8739-234X

Radostina Calovska
BAFA 'Georgi Benkovski'
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: radostina.calovska@gmail.com

Angel Genchev
BDI "Profesor Cvetan Lazarov"
Sofia, Bulgaria
e-mail: a.genchev@di.mod.bg
ORCID:0000-0002-0672-737X

Abstract: For the autonomous operation of an Unmanned system, it is necessary to develop a mathematical model of the atmospheric environment and relief over which the flight will be carried out. The presented material shows the principles for synthesizing such an environment. Atmospheric turbulence is included in the simulations, and terrain topography is set by a digital map in the mission control computer's memory. The flight of the aircraft over terrain is ensured at the height and flight profile set in the engineering navigation plan. The MATLAB environment and blocks from the Simulink tool were used to build a suitable environment.

Keywords: mathematical modeling, relief, atmosphere, flight environment, flight, UAV.

INTRODUCTION TO THE PROBLEM

The development of modern technologies has led to the emergence of 'smart' machines, possessing the intelligence to perform independent tasks and fully complete the intended mission. Unmanned aerial vehicles (UAVs) are included in the class of these autonomous machines, as they are designed to operate in environments that are dangerous to humans or where direct intervention by an operator would not lead to an increase in the effectiveness of the performance of tasks.

It is important for the flight of an UAV to take into account the external disturbing influences of the environment. Such disturbances are turbulence in the atmosphere, wind speed, disturbances in the gravitational and magnetic fields, etc. In addition, the measurements of the sensors on board the UAV are carried out with additional noise caused by various factors.

SYNTHESIZE EXTERNAL ENVIRONMENT FOR FLIGHT OF AUTONOMOUS UAV

The description of the external environment using the UML language for AUAV is shown in Figure 1. The algorithm for developing an environment in which to implement the flight plan of the AUAV flight is structured and presented through UML Use Case Diagrams [16]. The diagram in Fig. 1 is intended to define and describe the necessary characteristics of the environment for the operation of the AUAV. The connections and dependencies between the elements involved in its construction are presented.

From Figure 1, it can be seen that the input in the environment is based on the sea level, flight altitude (h), geographic coordinates and relief. Through the value of the height h, the atmospheric conditions are calculated and after that determined: the gravity; the magnetic field and terrain in which the flight experiment will take place.

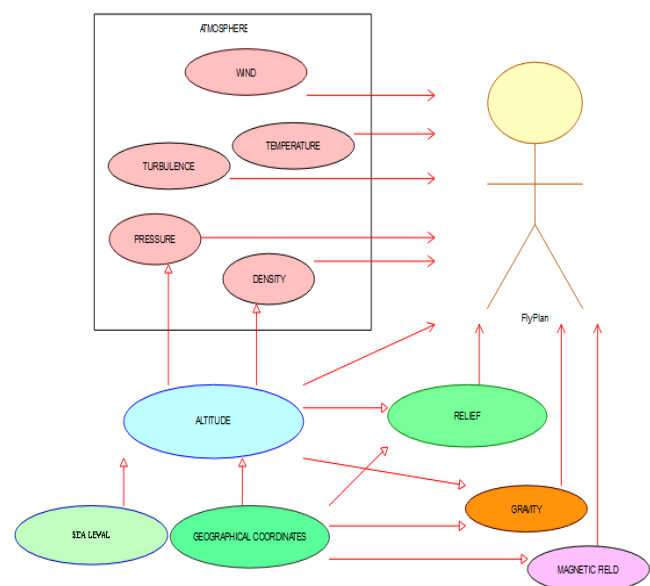


Fig. 1. UML Use Case Diagrams

The values of all factors are taken into account in the AUAV flight model and are fed as input signals to the synthesized automatic control system. In this way, an environment for operating in the management of AUAV is formed.

GENERATION OF RELIEF INFORMATION

In order to obtain information about the relief of the area during the flight's time, it is necessary:

Extract SRTM file from USGS:

Data from the scientific agency United States Geological Survey (USGS), which deals with fundamental research, is used to build a real 3D relief model [1]. This includes Global Digital Terrain Elevation Data (DTED) from the Shuttle Topography Radar Topography Mission (SRTM), Canadian Elevation Data and Ice, Cloud and Land Elevation Satellite (ICESat) data. Global raster data is provided in ESRI ArcGrid format. All stacked raster data are provided in GeoTIFF image format. The spatially referenced metadata is provided in ESRI Shapefile format. To extract the digital relief of the area, the USGS provides various products, which are presented in different formats. In the presented material, the SRMT file format is used to extract the relief of the AUAV flight site, and a grid cell in the region of the Republic of Bulgaria was selected. It is shown on Figure 2.



Fig. 2. STRM file from USGS

Processing of the relief information from SRTM in MATLAB

The next stage in the construction of the mathematical model of the environment is the generation of the relief with MATLAB. For this purpose, a program code of the MATLAB script language is developed, including functions and parameters through which it is operated. The terrain is rendered appropriately for the particular raster quadrant. Functions used for this are readgeoraster, usamap, geoshow, demcmap, view, axis, plot3.

As described in the MATLAB library:

- the function readgeoraster [11] creates an array by reading geographic or projected raster data from a file, reads an SRTM file;
- the usamap function [12] creates an empty map based on the axes (formerly called map axes) (Figure 3);
- the function geoshow [8] projects and displays the latitude and longitude vectors using the projection stored in the current axis-based map (Figure 3);
- the function demcmap [6] sets the boundaries of the color map and the color axis based on the limits of the altitude data obtained from the input argument Z (Figure 3);

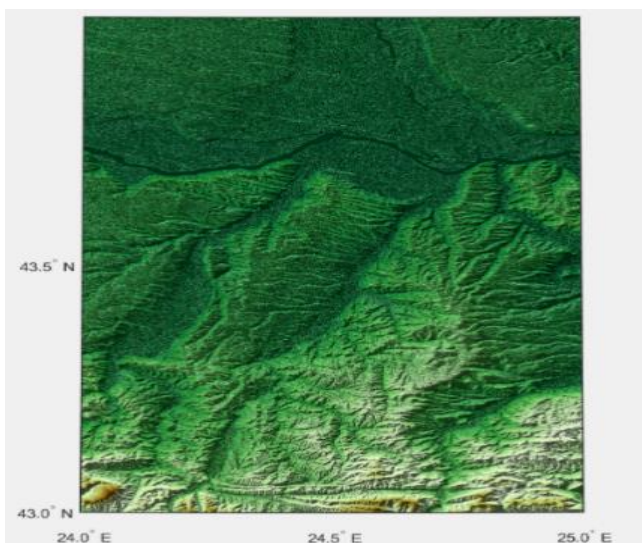


Fig. 3. GEOSHOW and DEMCMAP FUNCTIONS

- the view function [13] sets the line of sight according to the form, which is an array of two or three elements (Figure 4);
- the function axis [5] uses a predefined style to set the constraints and scaling (Figure 4)
- the function plot3 [10] draws coordinates in the 3D space (Figure 4).

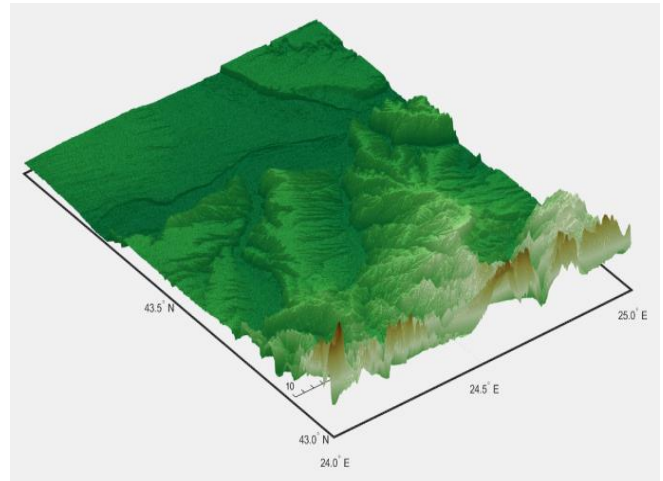


Fig. 4. VIEW, AXIS and PLOT3 FUNCTION

In order to display a real 3D graphic of the planned flight over the area, the Geoglobe function was used, which creates a geographic globe in a specified figure [7] (Figure 5).

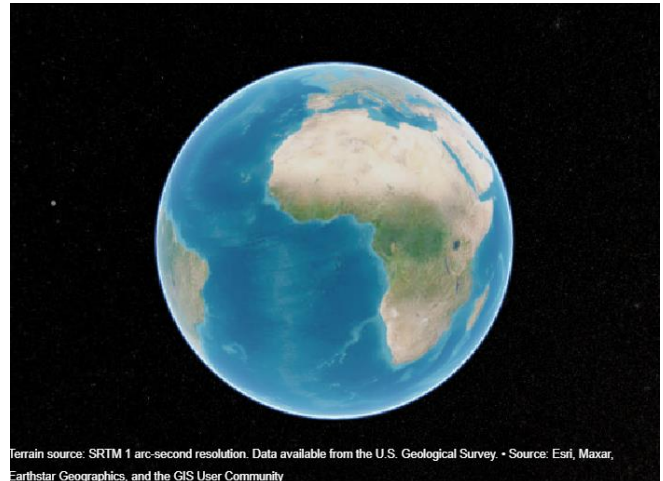


Fig. 5. 3D Geoglobe function

The satellite 3D view of the selected flight quadrant is shown in Figure 6, where a UAV ground control station has been added, tracking the UAV route along the set flight coordinates.

EARTH'S ATMOSPHERE IN SIMULINK

Simulink provides an opportunity to use Aerospace Blocks in building an atmospheric environment for the needs of the UAV flight. These blocks are divided into separate subsections. For the purpose of the given task, blocks from the subsection Environment have been selected, through which it is possible to add Atmosphere, Gravity and Wind.

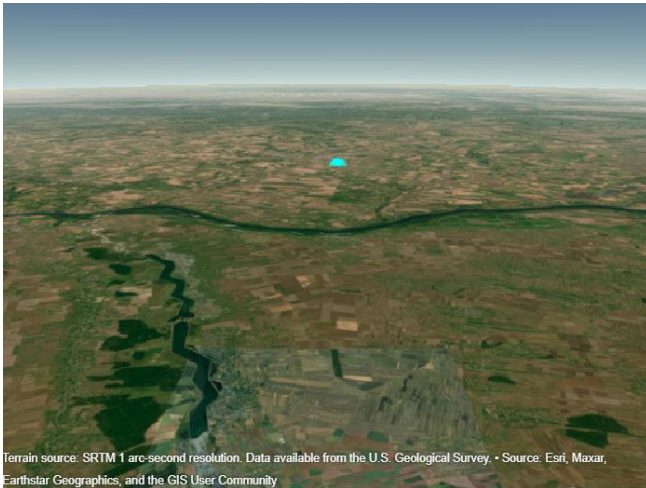


Fig. 6. UAV ground station position

For the atmosphere environment is chosen ISA Atmosphere model that is the international standard [14, 15] and the block representing it in MATLAB. It is a static model and shows how the pressure, temperature, density and viscosity of the Earth's atmosphere change over a wide range of altitudes or elevation. It consists of tables with values of various quantities.

Three blocks were used to determine the value of gravity as a function of altitude, the magnetic field with its horizontal intensity, inclination, declination, total intensity and the height above the geoid:

- World Magnetic Model;
- Geoid Height;
- WGS84 Gravity Model.

The World Magnetic Model is a joint product of the USNational Geospatial Intelligence Agency and the UKDefence Geographic Centre, which is a standard model for navigation, orientation, guidance and direction systems using the geomagnetic field. The World Magnetic Model Block calculates the Earth's magnetic field vector with its horizontal intensity, declination, inclination and total intensity at a given location and time [19, 20].

In the World Geodetic System (WGS84) the WGS84 Gravity Model block implements the mathematical representation of the geocentric equipotential ellipsoid of the World Geodetic System [17].

The Geoid Height block calculates the geoid height using the Geopotential model parameter. The block interpolates the geoid heights from a grid of point values in the tide-free system. It uses the specified geopotential model to degree and order of the model. The geoid undulations are relative to the WGS84 ellipsoid. The interpolations scheme wraps over the poles to allow for geoid height calculations at and near these locations.

Three blocks are used to determine and report wind speed and force:

- Discrete Wind Gust Model;
- Wind Shear Model;

- Dryden Wind Turbulence Model; (Continuous (+q +r))

The Discrete Wind Gust Model [3] applies a gust with a standard '1-cosine' form. The impulse is applied to each of the coordinate axes separately or all at once. The gust amplitude (increase in wind speed), gust length (m/s) and gust onset time were determined.

The Wind Shear Model [18] adds wind shear to aerospace and is designed to provide flight characteristics that ensure mission efficiency and flight safety.

Dryden Wind Turbulence Model (Continuous (+q +r)) [4] adds turbulence to the aerospace model by passing band-limited white noise through suitable shaping filters.

AUAV FLIGHT PROGRAMMING

In flight preparation, it is necessary to develop an engineering navigation plan (ENP) that describes in detail the plan of work of the AUAV from the beginning of the mission and entry into the route, until the moment of completion and exit at the end point of the route. It is prepared in an arbitrary form (for example, Table 1), and its content is determined by the nature of the task, the equipment of the UAV, the situation along the route and in the area of the reference points of the route, and also by their possible changes. For the purposes of the study, a flight plan was developed, for which the flight altitude is determined by the set raster relief [2].

TABLE 1 SAMPLE VIEW OF AN FLIGHT PLAN FOR AUAV

Flight Plan 27.02.2023 r.					
	SRP	IRP-1	IRP -2	--	ERP
H (m)	From Map	From Map	From Map	--	From Map
S (m)	352	412	408	--	427
W (m.s)	7	7	7	--	7
t (s)	181	212	210	--	220
Coordinates	SRP	1	2	--	ERP
B (°)	42,60	42,62	42,65	--	42,60
L (°)	24,57	24,39	24,60	--	24,57

The stage of the task execution starts from the starting point of the route (SRP) and passes through various intermediate points of the route (IRP), which are set in a geodetic coordinate system. The route ends at the end point (ERP), from where the landing stage begins. In the study of the trajectory movement, an example route and flight profile performed by an UAV, developed on an aviation map (Figure 7) in a geodetic coordinate system, was selected, which sets:

- the geodetic coordinates (B, L) of the main points of the route, together with the geodetic coordinates of the SRP and ERP;
- the heading angles for each of the stages of the route flight;
- the absolute altitude for the intermediate stages of the route flight;
- the route traveled by the UAV for the intermediate stages of the route flight;

- the speed according to Earth for the intermediate stages of the route flight;
- the time for the intermediate stages of the route flight;
- the geodetic coordinates (B, L) of the ERP, as well as the absolute altitude at which the aircraft should be at this point;
- the time of arrival at ERP and the distance traveled to reach IRP.

SIMULATION OF THE ROUTE ON THE AVIATION MAP

Using the Geoglobe function, Figure 7 shows a satellite map of the area over which the ENP flight will take place. A graphical representation of the flight plan is drawn, and a ground station for controlling the UAV is showed.

The altitude of the flight is determined from the digital map containing the ENP. Figure 8 shows a flight starting from SRP, passing through the set IRPs and ending the planned mission at the ERP, according to the assigned altitude.

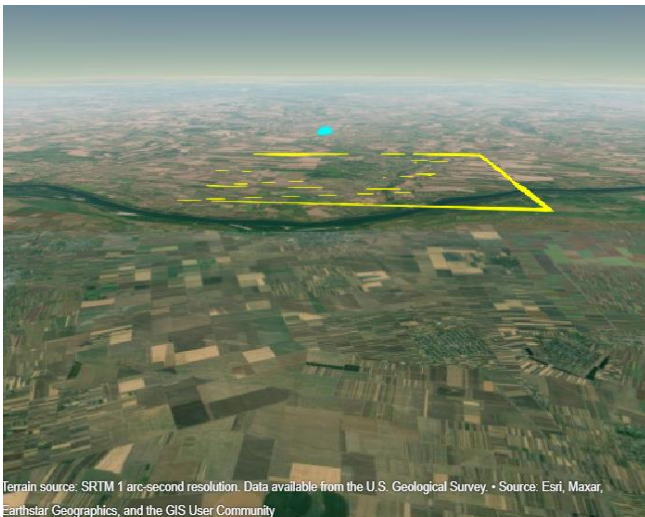


Fig. 7. 3D view of the route from ENP – Geoglobe

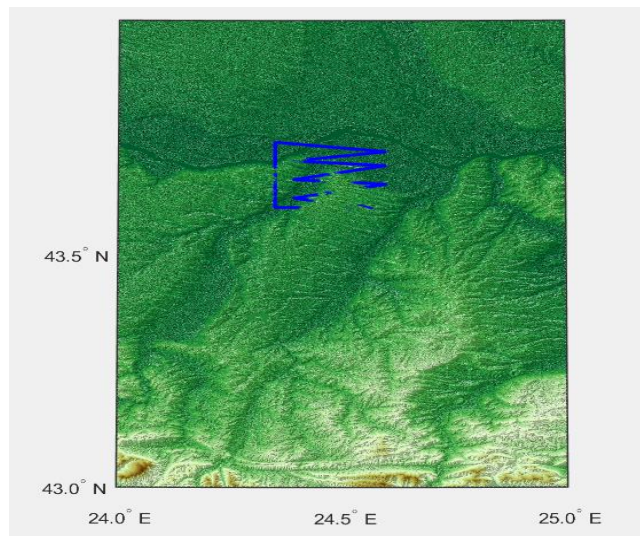


Fig. 8. ENP on the aviation map

Function mapprofile [9] is used to display the UAV flight according to ENP. This function plots a profile of values between reference points on a displayed regular data grid (Figure 9).

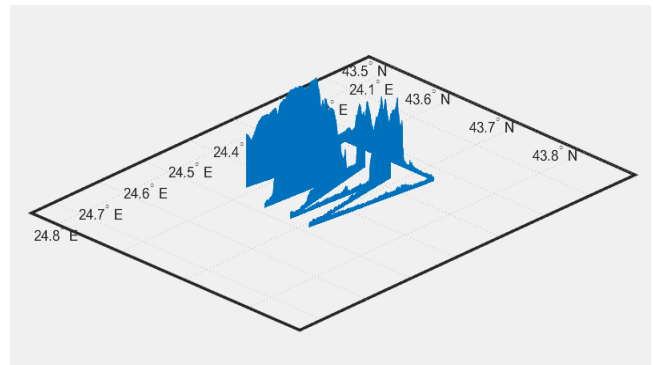


Fig. 9. The relief on the map using function mapprofile

RESULTS OF THE OPERATION OF THE MODELS SIMULATING THE EXTERNAL ENVIRONMENT OF THE UAV FLIGHT

Figure 10 shows the altitude, latitude and longitude input signals.

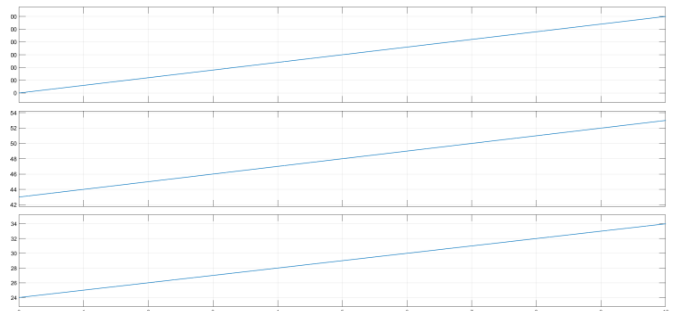


Fig. 10. Inputs by altitude, latitude, longitude

Figure 11 shows the ISA standard atmosphere model[15].

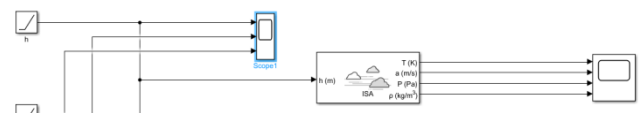


Fig. 11. Standard atmosphere model - ISA

Figure 12 shows the operation of the standard atmosphere model by processing the altitude input. The output signals show how the temperature, pressure, density and viscosity of the Earth's atmosphere change with altitude.

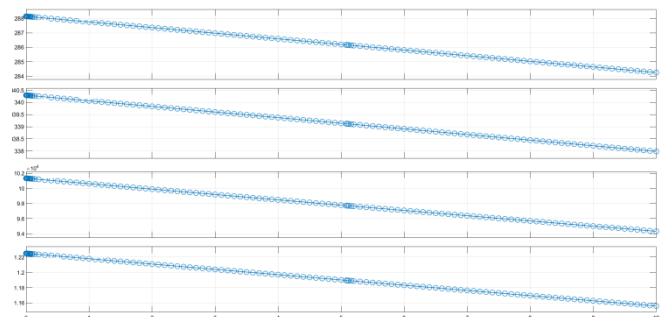


Fig. 12. Operation of the standard atmosphere model

Figure 13 shows the Gravity Model WGS84[17].

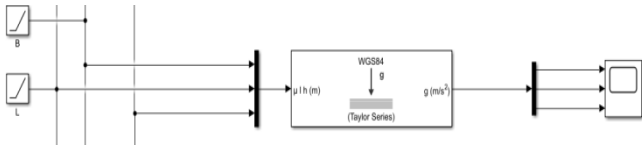


Fig. 13. Model of Gravity

Figure 14 shows the operation of Gravity Model WGS84 by processing the altitude, latitude and longitude input signals. The output signal is gravity.

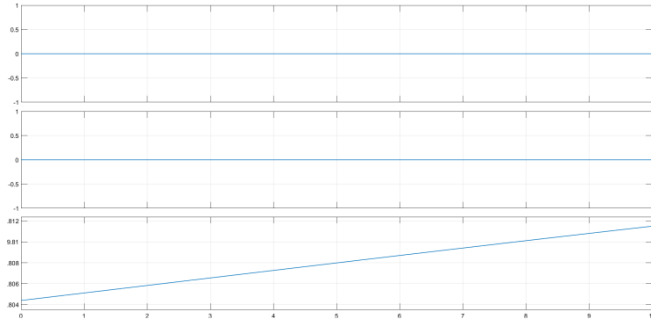


Fig. 14. Gravity model operation

Figure 15 shows the Geoid Height model EMG96[14].

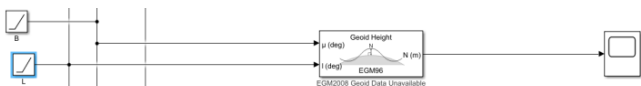


Fig. 15. Geoid model EGM96

Figure 16 shows the performance of the Geoid Height model EMG96.

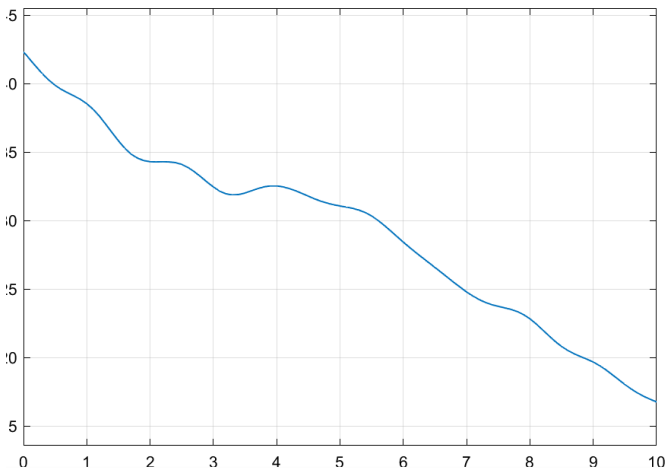


Fig. 16. Working of the geoid model EGM96

Figure 17 shows the Word Magnetic Model (WMM).

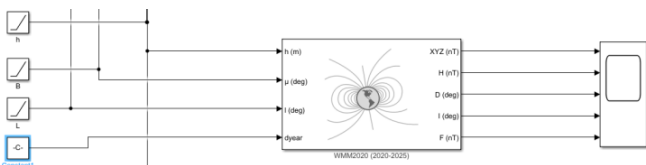


Fig. 17. Model of Earth's magnetic field (WMM2020)

Figure 18 shows the operation of WMM.

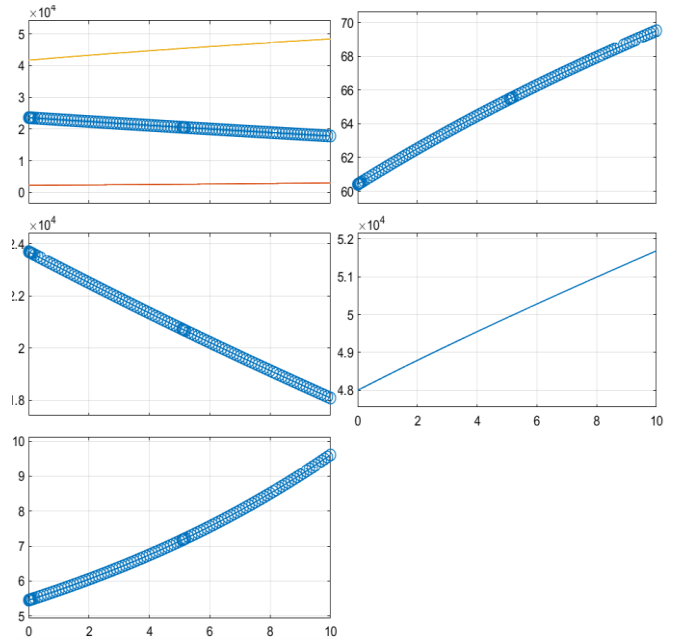


Fig. 18. Working of the magnetic model of the Earth

Figure 19 shows the input signals of the wind disturbance model.

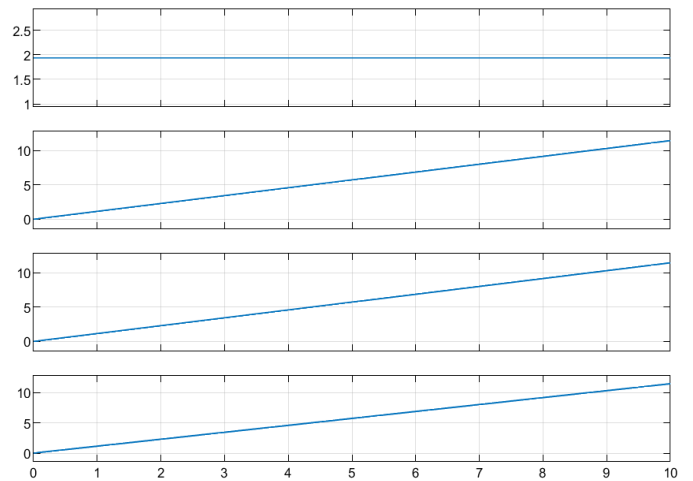


Fig. 19. Wind disturbance model inputs

Figure 20 shows the Wind Block Model.

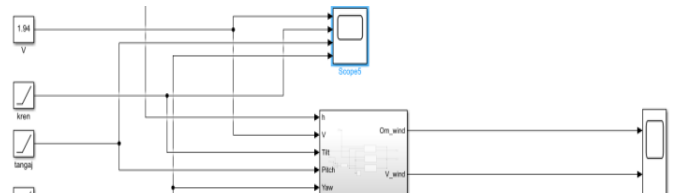


Fig. 20. Wind disturbance model

Figure 21 shows the performance of the wind disturbance model.

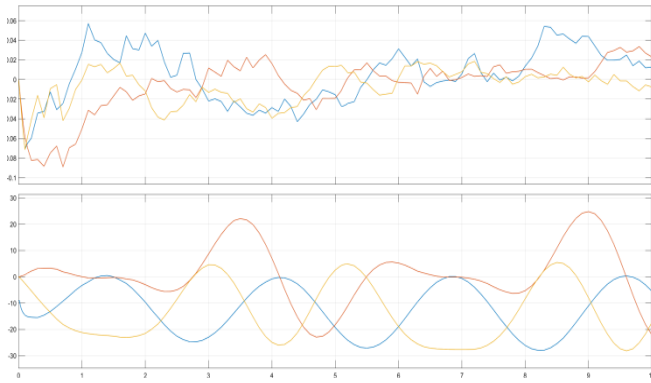


Fig. 21. Operation of the wind disturbance model

Figure 22 shows a general model of the atmosphere in which the autonomous flight of the UAV will take place.

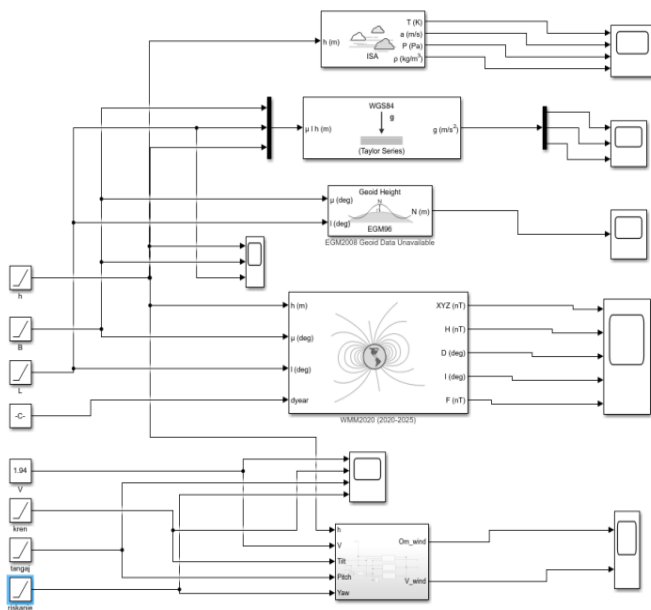


Fig. 22. Generic model of the UAV flight environment

INFERENCES AND CONCLUSIONS

- A UAV flight environment has been synthesized according to UML description;
- An engineering navigation plan (ENP) for UAVs has been developed;
- Based on Conclusion 2, the situation and topography of the flight area is visualized;
- The flight environment was studied based on standardized test signals.

ACKNOWLEDGMENTS

The research in this article is carried out in fulfillment of Task 1.2.3. “Research on robotic and machine learning-based systems for environmental analysis and decision-making, and prototype development” by the National Scientific Program “Security and Defense”, adopted by RMS No. 731 of 21.10.2021. and according to Agreement No. D01-74/19.05.2022.

REFERENCES

- [1] Jeffrey J. Danielson and Dean B. Gesch “GlobalMulti-resolutionTerrainElevation Data 2010 (GMTED2010)“.
- [2] S.Biliderov. "Control of an autonomous unmanned aerialvehicle along set trajectory" National Student Science and Technology Conference Sofia 2007.
- [3] Discrete Wind Gust Model, <<https://www.mathworks.com/help/aeroblks/discretewindgustmodel.html>> 16.02.2023.
- [4] Dryden Wind Turbulence Model,<<https://www.mathworks.com/help/aeroblks/drydenwindturbulencemodeldiscrete.html>> 16.02.2023.
- [5] Function AXES, <<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/axis.html>> 01.02.2023.
- [6] Function DEMCMAP, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/demcmap.html>> 01.02.2023.
- [7] Function GEOGLOBE, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/geoglobe.html>> 20.02.2023.
- [8] Function GEOSHOW, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/geoshow.html>> 01.02.2023.
- [9] Function MAPPROFILE, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/mapprofile.html>> 02.02.2023.
- [10] Function PLOT3, <<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/plot3.html>> 01.02.2023.
- [11] Function READGEORASTER, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/readgeoraster.html>> 19.01.2023r.
- [12] Function USEMAP, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/usamap.html>> 19.01.2023.
- [13] Function VIEW, <<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/view.html>> 19.01.2023.
- [14] Geoid Height Model, <<https://www.mathworks.com/help/aeroblks/geoidheight.html>> 16.02.2023.
- [15] ISA model, <<https://www.mathworks.com/help/aeroblks/isaatmospheremodel.html>> 16.02.2023.
- [16] UML-elements, <<https://docs.kde.org/trunk5/en/umbrello/umbrello/uml-elements.html>> 08.02.2023.
- [17] WGS84 Gravity Model, <<https://www.mathworks.com/help/aeroblks/wgs84gravitymodel.html>> 16.02.2023.
- [18] [18] Wind Shear Model, <<https://www.mathworks.com/help/aeroblks/windshear.html>> 16.02.2023.
- [19] World Magnetic Model, <<https://www.mathworks.com/help/aeroblks/worldmagneticmodel.html>> 16.02.2023.

UNMANNED AIRCRAFT MISSION MODELING

Stefan Biliderov
BAFA 'Georgi Benkovski'
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: biliderow_ss@yahoo.com
ORCID:0000-0001-8739-234X

Radostina Calovska
BAFA 'Georgi Benkovski'
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: radostina.calovska@gmail.com

Angel Genchev
BDI "Profesor Cvetan Lazarov"
Sofia, Bulgaria
e-mail: a.genchev@di.mod.bg
ORCID:0000-0002-0672-737X

Abstract: Developing the mission of unmanned aerial vehicles (UAVs) is a key point in their use. A particular mission includes the take-off stages, flights to the fixed waypoints and operation in an urbanized environment. The presented study concerns the issues of the input informational assurance of the UAV flight mission.

Keywords: Unmanned aerial vehicle (UAV), flight mission, informational assurance.

I. INTRODUCTION TO THE PROBLEM

The need for a clear idea of the tasks that each UAV will perform is a prerequisite for the correct and accurate execution of its mission. The recognition and assessment of the flight environment in which the UAV mission is performed is based on the operational capabilities of machine learning in connection with the possibilities of analyzing a large amount of data and learning from it.

Machine learning, although used in wide fields, has its limitation, but it is useful in recognizing patterns in large data sets and developing predictions. The use of machine learning is beneficially where complex problems need to be solved and high adaptability is required.

The path that the development of the UAV control technologies has taken is artificial intelligence. The near future is for expert systems to develop the UAV flight mission with the specific goals and objectives based on the set input parameters and a required desired end state achieved in mission execution.

The introduction of intelligent robots and systems in the execution of both military and civilian tasks leads to increased flexibility in the development of complete solutions and integration of the total manufacturing from the stage of development to the fabrication of the final product. A study on the application of intelligent robots in manufacturing automation is shown in [3].

The algorithms of the machine learning is depend on intelligent of the robots and UAVs. The need for computer design of UAV operation leads to the integration of all systems into a single mechatronic complex. One such approach is described in [2].

The purpose of the development is to provide the necessary input data for a specific mission – flight over terrain and work in an urbanized area of the UAV. With the mission thus set, it is necessary to determine the line of the road at the time of flight, the relief above the area that is located on the line of the road, the profile of the flight, as well as the location of buildings in the urbanized area.

All of this leads to the creation of a specific mission. This carried out after appropriate planning, and its change at the stage of the implementation of the set tasks is not excluded.

II. UNMANNED AIRCRAFT MISSION DEVELOPMENT

In order to study the flight of an unmanned aerial vehicle, it is necessary to create a suitable environment in which to conduct the study along a predetermined route. Important in determining the environment is the execution of the mission related to depicting the route of the flight and determining on a map the waypoint points of the route where specific tasks will be performed. One such road line on a map in a geographic information system is shown in Fig.1.



Fig. 1. The road line and ground control station in a geographic information system

The USGS provides raster images from satellite pictures of the Earth in a variety of formats [1]. The MATLAB programming environment and the functions provided within it allow the extraction of terrain information over a given section using a DTED file. For the implementation of the task, a starting point of the route (start waypoint of the route) and an end point (end waypoint of the route) are selected, between which the flight will take place. They are selected so that it is possible to perform all the tasks of the specific mission.

The waypoints have real geographical coordinates and through the GEOGLOBE function of the MATLAB program environment (Fig.1) [5] it is possible to visualize exactly where the flight will be carried out over the globe, to outline the type of the road line that will be obtained after development and mission specific planning.

A ground station for flight control and real-time data collection is also added to Fig.1.

Using the built-in functions of MATLAB, an area for the operation of the UAV is selected, the start and end waypoints of the route are set. In the case here, the flight is chosen between two populated areas in order to enable the planning of mission tasks related to work in an urbanized area.

Using the graphing functions, the relief above the selected quadrant is shown (Fig. 2) [4] [6] [8], and by connecting the start and end waypoints of the route, the UAV's flight path is plotted.

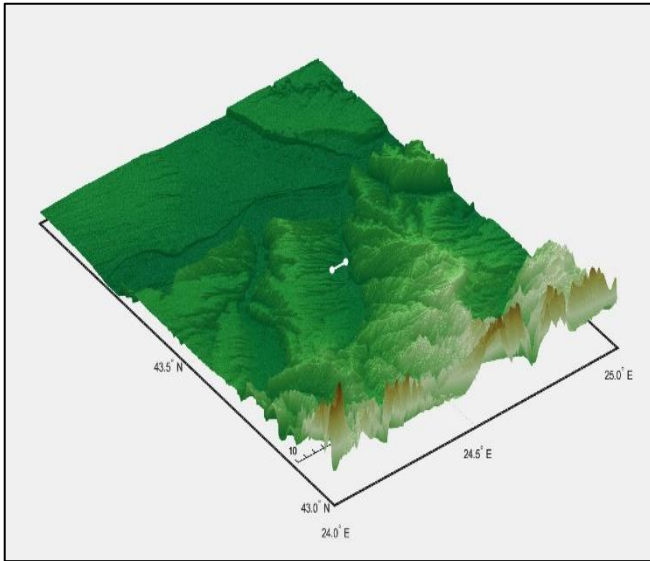


Fig. 2. Digital view of the flight terrain with the road line in the set quadrant

The map of Fig. 2 clearly shows the relief above the place of the planned flight and it is possible to estimate in advance the complexity of the control algorithms for autonomous flight, using the data obtained from the reading of the raster images with the pictures of the area of the flight (Fig. 1 and Fig.2). Thus, using an expert system to plan the flight based on initiating data, and the machine learning algorithms to adjust the operation of the system for the specific task.

III. ENGINEERING AND NAVIGATOR FLIGHT PLAN OF AN UNMANNED AIRCRAFT

An important part of the necessary data for flight planning is the topography above the flight location. Compliance with safety measures and flight above the relief with sufficient advance in altitude is a prerequisite for the correct execution of the tasks and successful completion of the mission. The extraction of the relief along the road line is carried out by processing a raster image and obtaining the numerical value above a certain point of the area with a specified error.

During the research of the flight along the topography of the route, the altitude of each of the points through which the aircraft will pass during the implementation of the mission, as well as the geological features of the area itself, are taken into account. From the obtained data, it is possible to achieve the autonomy of the UAV, by embedding information about the relief in the digital map using for control, with which the flight is carried out according to the set of coordinates forming the road line.

The flight profile [7] is shown in Fig. 3, it is determined by the flight plan and is related to the road line. Information about the flight profile is decisive in the development of the engineering flight plan and is related to the effectiveness of the performance of the assigned tasks, as well as to the achievement of the desired efficiency of the mission.

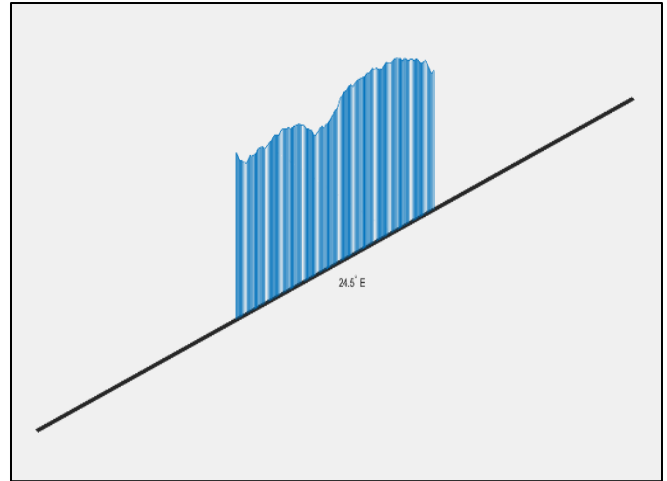


Fig. 3. UAV flight profile

The flight profile thus determined needs to be evaluated with quantitative characteristics and find its place in the planning and programming of the UAV automatic control system. Such quantitative characteristics of the flight profile are shown in Fig.4.

In Fig. 4, for each point of the route, which is described with geographical coordinates, the vertical projection of the earth's surface along the route of the flight is drawn. Passing along the road line, the information about the extracted terrain is entered into the UAV automatic control system, and its spatial position is estimated based on the measurement information complex on the board of the UAV.

The right side of the graph from Fig. 4 is defined as the starting waypoint along the flight route, and the leftmost point is the end waypoint of the route, from where the main work on the tasks for the UAV mission begins. After the end waypoint of the route, it enters in the urbanized area to carry out the planned mission.

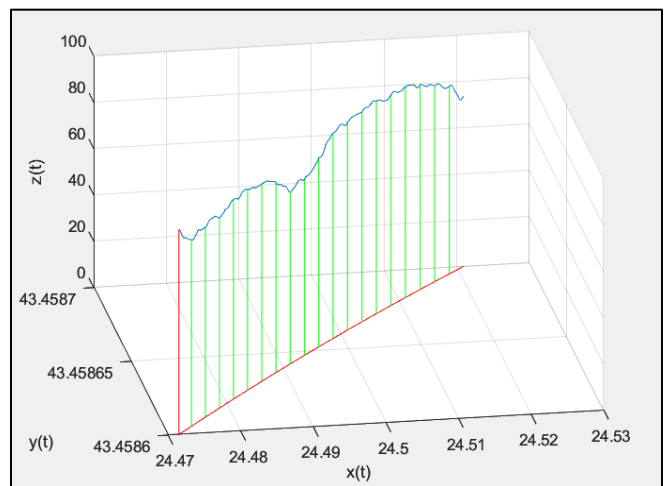


Fig. 4. Quantitative characteristics of the flight profile

The input of the terrain relief data digital map along the distance of the road line into the memory of UAV automatic control system is the basis of the application of the previously developed flight engineer-navigation plan of the UAV fly. In Fig. 5, there is shown the change in the altitude according to the relief within the selected route and a distance of 4 km between its starting and ending waypoints, before entering of the UAV in the city environment of the urbanized area.

Fig. 5 gives a visual idea of the required distance of the flight path from the earth's surface in the normal Earth coordinate system. The distance from each change in relief is measured in meters and serves as the basis for the automatic control system to adjust road speeds according to the change in the operational environment, the change in atmospheric conditions and the need to reach the set goals.

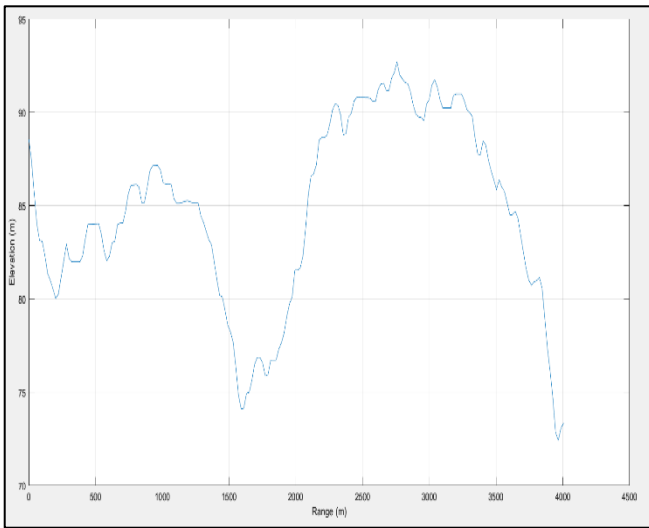


Fig. 5. Data to be entered into the UAV automatic control system according to the flight engineer-navigation plan

By the thus obtained data from Fig. 5, safe control of the UAV is carried out along the set flight route until entering the urban environment, where the actual management of the assigned mission tasks will unfold until the desired final state is reached.

IV. CREATING AN URBAN ENVIRONMENT FOR UNMANNED AIRCRAFT OPERATION

Today's intelligent autonomous robots have the ability to adapt the performance of the assigned mission according to the operating environment. One of the main reasons for UAVs along with sensors and controls to behave autonomously is proper mission planning.

Autonomous systems examine the environment in which they operate based on scanning and compare it with the plans set in their memory. The differences between the map scanned in the field and the one stored in the memory are worked out as control signals from the UAV's automatic flight control system. It is important to note that when planning a UAV flight in an urbanized area, it is necessary for the processing algorithms to do their job by avoiding obstacles in the path of the UAV. Each time an obstacle appears, it is necessary to synthesize control actions so that they are avoided and the mission can be continued by completing the assigned tasks.

UAV movement planning needs to be done from the starting waypoint of the route, through all intermediate waypoints, the final waypoint of the route and entering the urban environment. In the development of the material, methods of path planning are used, which generates the set path line for execution. The movement of the UAV in space may change depending on the operational situation. This, in turn, changes the path of the UAV movement. Therefore, during mission planning, it is necessary to explore all possible scenarios that would be possible when operating an autonomous UAV.

The most important functional part of UAV mission planning is to have a 3D digital map of the environment. On the basis of this map, scenarios are built that define the desired road line on the map itself. The safe flight height is then determined by deriving the height above the terrain and incorporating it into the flight engineer flight plan.

Ensuring certain fulfil and completeness of the flight route is related to the mission planning algorithm. The criteria used to determine the best performance of mission tasks depend on the mission itself. These criteria must be set in the mission planning expert system to determine the best path line and the most effective flight engineer-navigation plan.

When entering populated areas, it is necessary to define a region of interest, because working between buildings is a big challenge for the UAV automatic control system. In Fig. 6 it is shown the extraction of cadastral location of buildings in a certain settlement from a digital map.

To obtain a real urban environment, the capabilities of OpenStreetMap are used, which provides an opportunity to display the location and overall dimensions of buildings and obstacles in the path of the flight of the UAV during the performance of the tasks of the assigned mission. Thus, the opportunity to apply free software techniques in the development of the UAV mission is used.

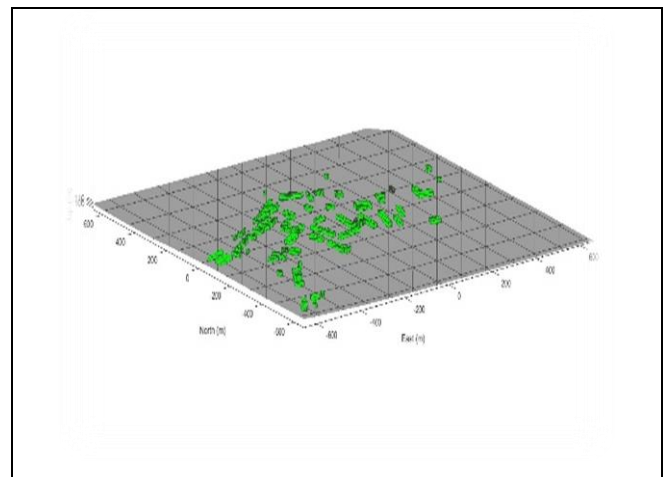


Fig. 6. Digital model of built-up areas in a selected settlement

Once the mission on the route is developed and the locations of the buildings along the UAV path are obtained, it is necessary to move on to the development and exploration of various scenarios that will lead to the completion of the mission and the achievement of a desired end state. Therefore, UAV coverage of a certain area or area of interest is planned.

To begin coverage planning in the mission, first it have to be defined the area of interest, such as a polygon or set of polygons. The limits of latitude and longitude are set by finding the center of the considered geographic area, which center is the center of the normal Earth coordinate system. Fig. 7 shows a selected geographic area in a normal Earth coordinate system with 3D obstacles described in it.

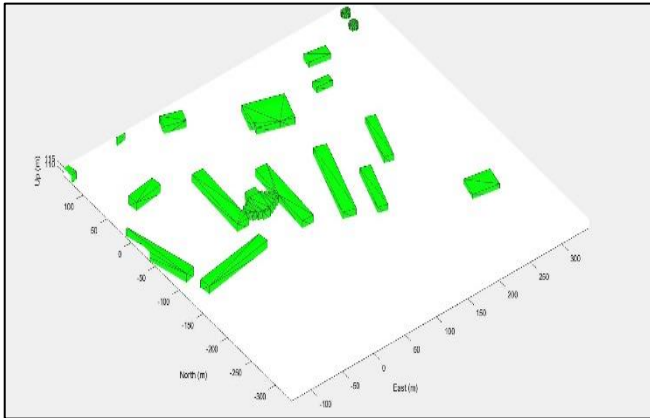


Fig. 7. Model of buildings in the area of interest when performing the UAV mission

The design of the UAV operation scenario needs to be tailored to the obstacles along the way in order to reach the desired end state of the UAV mission. Therefore, it is necessary that the design of the scenarios has the possibility of rapid customization. After the execution of the machine learning algorithms, the most suitable scenario according to the certain criteria is entered into the memory of the UAV automatic control system.

In the most suitable scenario, residential buildings, administrative buildings and other obstacles are modeled, on the basis of which the intelligent algorithms for avoiding UAV obstacles and performing all tasks related to the developed mission will be built.

And finally it is necessary to simulate the different scenarios to validate the execution of the mission itself. This mission is possible in a denser urban environment with closely spaced buildings, which makes setting up the mission itself quite difficult. After validating the obstacle avoidance algorithm, the entire developed mission is imported into the UAV's memory.

The execution of the mission has started.

INFERENCE AND CONCLUSIONS

- The UAV flight mission is developed and visualized;
- The line of the road between the supporting waypoints of the route is determined;
- The topography of the area along the route of the flight is shown;
- The urban environment for the execution of the mission is defined.

ACKNOWLEDGMENTS

The research in this article is carried out in fulfillment of Task 1.2.3. "Research on robotic and machine learning-based systems for environmental analysis and decision-making, and prototype development" by the National Scientific Program "Security and Defense", adopted by RMS No. 731 of 21.10.2021. and according to Agreement No. D01-74/19.05.2022.

REFERENCES

- [1] Jeffrey J. Danielson and Dean B. Gesch "Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010)", 19.01.2023г.
- [2] R. Dimitrova, D. Chakarski, T. Vakarelska, P. Tomov "Approach to computer-aided design of machines, processes and systems" "Mechanical engineering and machine science" magazine, 2013, ISSN 1312-8612
- [3] R. Dimitrova, V. Pavlov, G. Pavlova. "Intelligent robots and production automation" Scientific notices of the National Institute of Mechanical Engineering, 2016, ISSN 1310 3946
- [4] Function DEMCMAP, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/demcmap.html>> 01.02.2023г.
- [5] Function GEOGLOBE, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/geoglobe.html>> 20.02.2023г.
- [6] Function GEOSHOW, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/geoshow.html>> 01.02.2023г.
- [7] Function MAPPROFILE, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/mapprofile.html>> 02.02.2023г.
- [8] Function USEMAP, <<https://www.mathworks.com/help/map/ref/usamap.html>> 19.01.2023г.

A SYSTEM FOR QUICK-CHANGE TOOL MOUNTING

Georgi Karlovski
 Technical University of Gabrovo
 Gabrovo, Bulgaria
 e-mail: g_karlovski@abv.bg

Abstract: CNC automatic lathes are widely used in machine building due to their high performance. The availability of a number of steered axles and their complex kinematics require considerable auxiliary setup and readjustment time, which in turn calls for development of quick-change tool holders. The paper views an innovative system for quick-change mounting of tools with an epitrochoidal profile of the contact surface of the holder and modular head, which can be used for mounting tools with rotational and prismatic connectors. It differs substantially from common systems with a polygonal profile in the way the modular head is attached to the holder. The key advantages of the new system are related to: less torque load; lack of convex connecting cones, which provides greater freedom in the accuracy of performance and a possibility to ensure better contact area even in assemblies with clearing; refinement of the mutual arrangement of the conical surfaces only among three axisymmetric cones rather than six as in the case of polygonal profiles. The proposed system for quick-change tool mounting is characterized by a robust construction thus allowing quick readjustment of CNC lathes when manufacturing small batches of pieces. The use of the new system will result in reducing the cost of manufactured products and increasing the competitiveness of companies.

Key words: CNC automatic lathes, quick-change tool holders, quick readjustment of CNC lathes, modular head is attached to the holder.

I. INTRODUCTION.

CNC automatic lathes are widely used in machine building due to their high performance. The availability of a number of steered axles and their complex kinematics require considerable auxiliary setup and readjustment time [1].

The need to reduce auxiliary time leads to the development of quick-change tool holders. A lot of companies produce that type of holders - SANDVIK, WALTER, ISCAR, KENNAMETAL, Hertel, etc. [1]. They are distinguished for their sophisticated design, complicated manufacturing and hence high price. A system for quick-change tool mounting, which is a typical representative of the well-known polygonal profile systems, is presented in EP0294348 [1]. It consists of a holder, in whose base face a step-like opening with a cylindrical and profile section is formed, and a modular head, in whose base face a step-like attachment with a cylindrical and profile section is formed (fig. 1 a and fig. 1b).

The modular head is attached to the holder as the step-like attachment of the modular head is fixed with a clearance in the step-like opening of the holder in such a way that the cylindrical section of the step-like attachment is located in the cylindrical section of the step-like opening and the profile section of the step-like attachment is located in the profile section of the step-like opening.

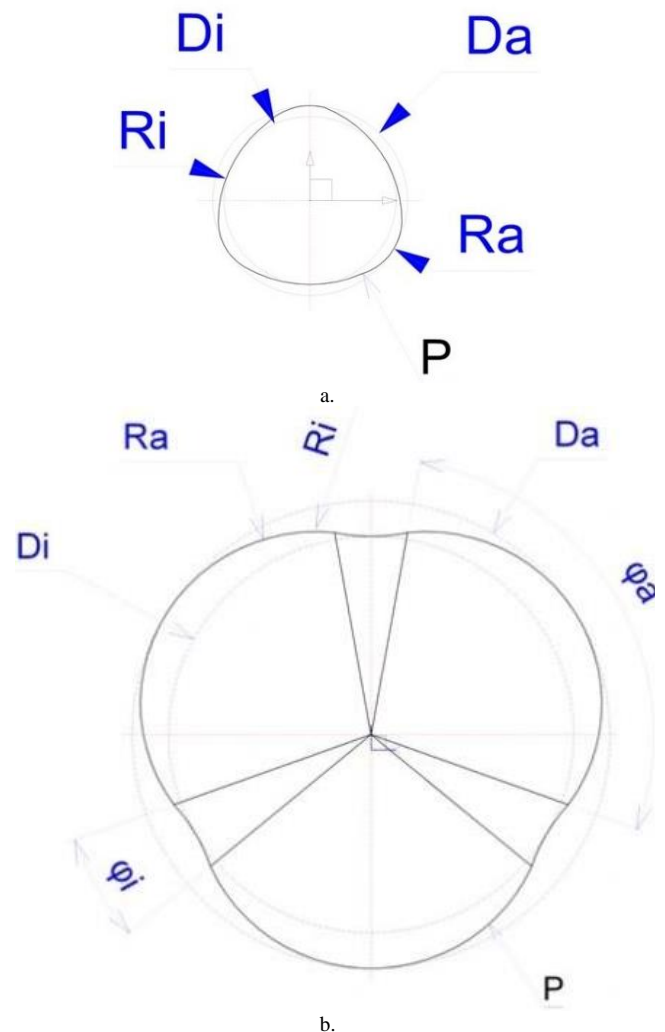


Fig. 1. Step-like attachment with a cylindrical - a, and profile section - b

The shape of the profile section of the holder corresponds to the shape of the profile section of the modular head as the profile section of the holder has the shape of a concave polygonal cone whereas the profile section of the modular head has the shape of a convex polygonal cone. Each profile section has conical surfaces with three external radii R_a and three internal radii R_i . The cross section of each profile section, respectively that of the holder and the modular head, has a polygonal profile of Capto type according to ISO 26623:2014 and the design basis of the polygonal profile is adopted from DIN 32711. The contact surface which withstands the torque load ensures crush resistance but the arm where the torque resultant force is applied is shorter, which leads to higher torsional stress.

The present paper considers the results from developing a quick-change holder and a system for quick-change tool mounting. When there is higher load capacity and torque impact as a result of cutting forces upon machining done on metal cutting machines, they are used to reduce setup and readjustment time of CNC automatic lathes.

II. AN INNOVATIVE SYSTEM FOR QUICK-CHANGE TOOL MOUNTING

The innovative system been developed is presented in fig. 2, 3a, 3b, 4a and 4b. It consists of a holder 1 and a modular head 3.

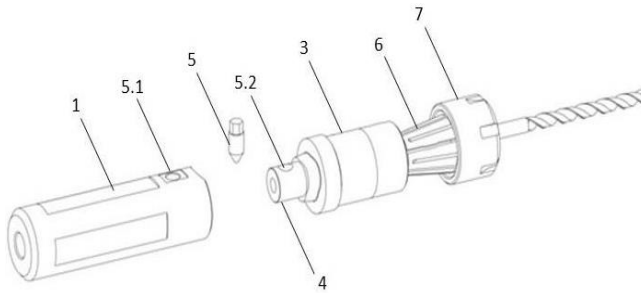


Fig. 2. Schematic of the innovative quick-change fastening system

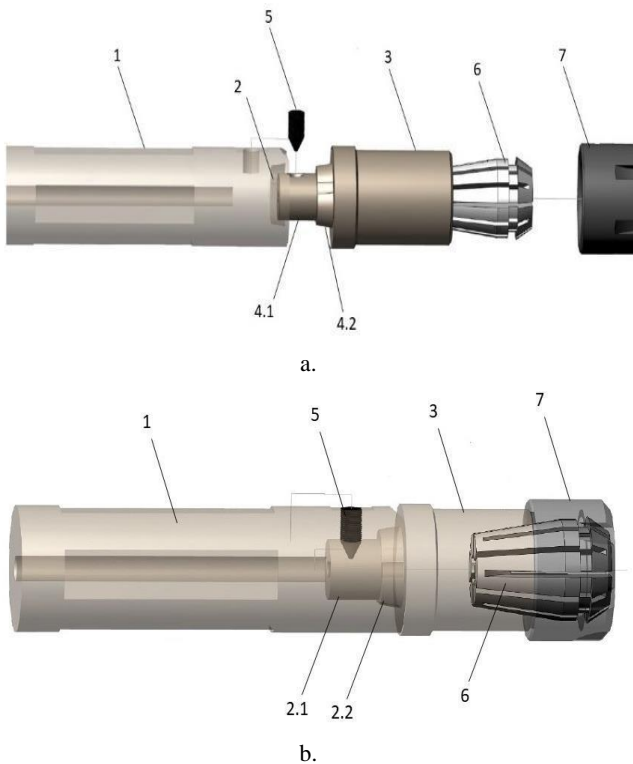


Fig. 3. Holder with cylindrical modular head

Two solutions of the systems for quick-change tool mounting have been developed. They differ in the shape of the holder and the modular head.

In the first solution (fig. 3a and 3b) the holder 1 and the modular head 3 are cylindrical. In the effective surface area 3.2 of the modular head 3 a conical hole, which is able to attach a collet 6, is formed.

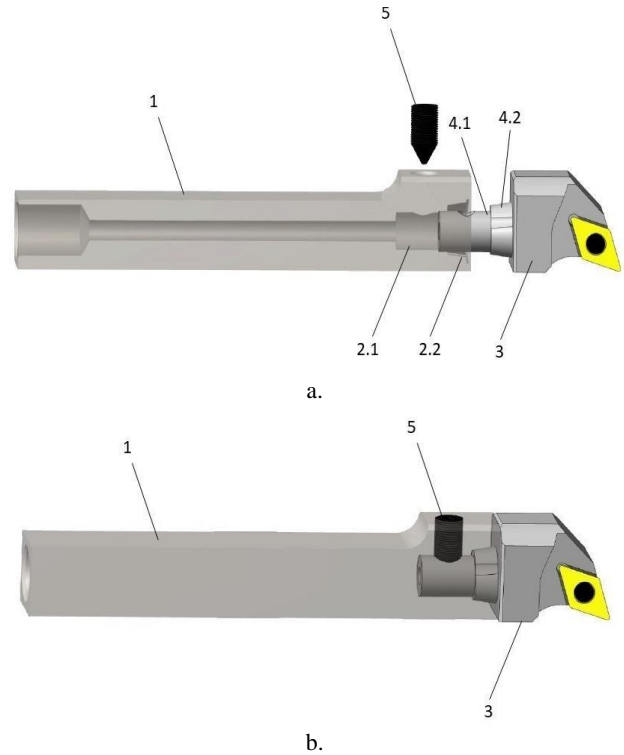


Fig. 4. Holder with prismatic modular head

Along the lateral surface 3.1 of the modular head 3, from the effective surface area 3.2, a cylindrical metric thread, which provides an opportunity for nut tightening 7, is formed.

- In the second solution (fig. 4a and 4b), the holder 1 and the modular head 3 have a prismatic shape. The effective surface area 3.2 of the modular head 3 is formed in such a way that there is a possibility to mount a turning tool. The holder 1 has a lateral surface 1.1 and a base face 1.2. Within the base face a step-like opening 2 with a cylindrical section 2.1 and a profile section 2.2 is formed.
- The modular head 3 has a lateral surface 3.1, an effective surface area 3.2 and a base face 3.3. On the base face a step-like attachment 4 with a cylindrical section 4.1 and a profile section 4.2. is formed

The modular head is attached to the holder 1 as the step-like attachment 4 of the modular head 3 is fixed with a clearance in the step-like opening 2 of the holder 1. In particular, the cylindrical section 4.1 of the step-like attachment 4 is located in the cylindrical section 2.1 of the step-like opening 2 and the profile section 4.2 of the step-like attachment 4 is located in the profile section 2.2 of the step-like opening 2.

The profile section 2.2 of the holder 1 has the shape of a concave epitrochoidal cone whereas the profile section 4.2 of the modular head 3 has the shape of a convex epitrochoidal cone. The shape of the profile section 2.2 of the holder 1 corresponds to the shape of the profile section 4.2 of the modular head 3. The shape of the cross section of each profile section 2.2, 4.2, respectively that of the holder 1 and the modular head 3, is of a cloverleaf type (fig. 1b).

The profile sections 2.2, 4.2, in turn, have conical surfaces (three concave and three convex ones) with three external radii R_a and three internal radii R_i . The external radii R_a are greater than the internal radii as the internal radii R_i have a smaller central angle φ_i in comparison to the central angle φ_a of the external radii R_a .

On the lateral surface 1.1 of the holder 1 a through threaded hole 5.1. is formed so as to place a taper set screw 5 which has the possibility of tightening in an additional conical hole 5.2. formed in the cylindrical section 4.1 of the step-like attachment 4.

The analysis and comparison of the presented innovative solution of a system for quick-change tool mounting and the common systems with a polygonal profile, such as the one given in EP0294348 [1], show that they are made of metal having the same strength properties and hardness after heat treatment; possess commensurate overall dimensions, which determines the equality of the metal ceramic inserts secured by them, and as a result the same geometry of tool cutting parts and the same values of feeding and cutting depth upon machining. The resistance against the impact of the torque is borne by three radii of the profile as the generant along these radii has the same slope, which makes the conical surfaces of the two mounting systems similar.

However, the innovative system been developed considerably differs from standard systems with a polygonal profile in the way in which the modular head is attached to the holder (fig. 2, 3 and 4), namely:

- With polygonal profiles the contact surface which withstands the torque load ensures crush resistance but the arm where the torque resultant force is applied is shorter, which leads to higher torsional stresses. With epitrochoidal profiles the contact surface is smaller, which leads to less crush resistance, but the torque load is smaller since the arm where the torque resultant force is applied is longer.
- The size of the contact area between the tool module and the holder 1 depends to a great extent on the clearance between the conical surfaces of the modular head 3 and the conical surfaces of the holder 1. This clearance is a must so that the coupling can be quick-change when self-centering is provided. To be precise, the assembly of the polygonal profile requires higher accuracy of implementation (g6/H6), which, in turn, leads to higher requirements towards the mutual arrangement of the conical surfaces of each element of the fixing system.
- The concave conical surfaces do not require a precise contact between the modular head 3 and the holder 1, i.e. this provides greater flexibility in accuracy at implementation level, as well as a possibility to ensure a better contact area even in assemblies with clearance (g6/H7).
- The greatest technological advantage of the epitrochoidal profile is that the mutual arrangement of the conical surfaces is specified only among three axisymmetric cones rather than six as in the case of polygonal profiles.

The proposed system for quick-change tool mounting can be used to mount tools with both rotational and prismatic connectors. (fig. 3 and 4).

When mounting tools with a cylindrical shank (fig. 3), the cylindrical section 4.1 of the modular head enters the cylindrical section 2.1 with a corresponding diameter in the holder 1. This has the effect of compatibility of the principal axes of the modular head 3 and the holder 1. The convex epitrochoidal cone of the modular head 3 gets oriented in the concave epitrochoidal cone of the holder 1 so that the through threaded hole 5.1 is coaxial to the additional conical hole 5.2, which makes possible tightening with a taper set screw 5. The tightening of the taper set screw 5 results in pressing the base face 3.3 of the modular head 3 to the base face 1.2 of the holder 1, which ensures the front basing of the modular head 3 to the holder 1. A cutting tool with a shank is fixed in the modular head 3 by means of a collet 6 and a nut 7. This is achieved by inserting the inner teeth of the nut 7 in the outer channel of the collet 6 by means of the spring properties of the collet 6. This can be done outside of the working area of the machine. The collet 6 along with the nut 7 are inserted in the conical hole of the effective surface area 3.2 of the modular head 3. The modular head 3 has external cylindrical metric thread upon which the nut 7 is screwed. When a drill bit, a counterbore, a milling cutter or another tool with a shank having a diameter corresponding to the collet 6 is inserted in the collet hole, it is firmly fixed to the modular head 3 by tightening the nut 7. The respective collet 6 is selected according to the diameter of the tool cylindrical shank. The conical dimensions of the collet 6 are identical for one dimension-type of the modular head 3.

The modular head 3, the collet 6, the nut 7 and the machining tool form the so called tool module, which is fixed in the machine's working area by quick-change fastening to the holder 1. The holder 1 is firmly fastened to a type holder for the given machine. The tool module goes with the step-like attachment 4 into the step-like opening 2 of the holder 1 so that the epitrochoidal conical profile section 4.2. of the modular head is based in the epitrochoidal conical profile section of the holder 1. Thus the load torque is borne by the external radii R_a of the epitrochoidal profile. When entering the additional conical hole 5.2 of the modular head 3, the taper of the setscrew makes possible the pressing of the base face 3.3 of the modular head 3 to the base face 1. This means that the assembly of the two conical epitrochoidal profiles has a clearing, which excludes wedging.

In the other solution (fig. 4), mounting of turning tools with replaceable metal ceramic inserts of different shape is presented. The lathe knife is fixed in a standard way by means of a bed to the effective surface area 3.2 of the modular head 3. To achieve correct orientation of the modular head 3 towards the holder 1, it is necessary for the cylindrical section 4.1 of the modular head 3 to go into the cylindrical section 2.1

To achieve correct orientation of the modular head 3 towards the holder 1, the cylindrical section 4.1 of the modular head 3 should go into the cylindrical section 2.1. with a corresponding diameter in the holder 1. The compatibility of the cylindrical section 4.1. of the modular head 3 and the cylindrical section 2.1. with the respective diameter in the holder 1 ensures coincidence of principal axes at assembly.



The epitrochoidal convex cone of the profile section 4.2 of the step-like attachment 4 of the modular head 3 gets oriented in the epitrochoidal concave cone of the profile section 2.2 of the step-like opening 2 of the holder 1 so that tightening can be done by means of a setscrew 5, which in turn results in pulling the base face 3.3 of the modular head 3 to the base face 1.2 of the holder 1. This ensures frontal basing of the modular head 3 to the holder 1.

III. CONCLUSION

An innovative system for quick-change mounting of tools with an epitrochoidal profile of the contact surface of the holder and modular head has been developed. It can be used for mounting tools with a rotational and prismatic connector. The system is characterized by a robust construction thus allowing quick readjustment of CNC lathes when manufacturing small batches of pieces, which is very time-consuming when using standard holders. The use of the new system will result in reducing the cost of manufactured products and increasing the competitiveness of companies.

REFERENS

- [1] Catalog SANDVIK, METAL CUTTING TOOL
<https://www.sandvik.coromant.com/en-us>
- [2] Catalog KENNAMETAL, 2013. Metal cutting tool. – URL:
<http://mip.zavodvtuz.ru/kennametal>
- [3] Widia crupp tool catalog. – URL:
<http://stankopromimport.com.ua/wpcontent>
- [4] Hertel Tool Catalog. – URL:
<http://www.kennametal.com/en/home.html>
- [5] <https://worldwide>

ПРИЛОЖЕНИЕ ЗА БЪРЗОСМЕННИ ДЪРЖАЧИ, КАТО НАЧИН ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЗАГОТОВКИ С CNC МАШИНА

Георги Карловски
Технически университет - Габрово
Габрово, България
e-mail: g_karlovski@abv.bg

Резюме: приложение на бързосменяеми държачи в производството на детайли, с CNC машини. Производители, видове, типови конструкции и техните характеристики. При търсене на инструментални решения е необходимо да се върви по пътя на минимизиране на технологичните преходи за сметка на оборудването. В някои случаи при правилна подготовка на инструмента е възможно да се намали нулевата точка на детайла. Необходимо е надеждно и здраво закрепване, за да се осигури необходимото качество на повърхността. При избора на спомагателен инструмент трябва да се търси намаляване на времето за престой на машината. Бързосменяемите държачи за инструменти намаляват времето за настройка и смяна на инструмента, което води до значително увеличаване на използването на машината.

Ключови думи: бързосменяеми държачи, производители, видове, типови конструкции и техните характеристики.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

При търсенето на инструментални решения е необходимо да се върви по пътя на минимизиране на технологичните преходи за сметка на оборудването. В някои случаи, с подходяща инструментална подготовка възможно е да се намали нулирането на детайла. Необходимо е надеждно и твърдо закрепване, за да се осигури необходимото качество на повърхността. Когато се избира спомагателен инструмент, трябва да се търси намаляване на времето за престоя на машината. Държачите за бързо сменяеми инструменти намаляват времето за настройка и смяна на инструментите, което води до значително увеличаване на използването на машината.

Когато се говори за производителност, те често имат предвид ефективността на рязане на метал. Въпреки това степента на използване на машината или частта от времето, изразходвано за рязане на метал, е също толкова важно, ако не и повече. Със система за бърза смяна на инструменти можете значително да увеличите използването на машината, като намалите времето, изразходвано за измерване, настройка и смяна на инструменти.

II. ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ ВЪРХУ ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА

Производителността е броят на произведените части за определен период от време: смяна, седмица и т.н.

При избора на инструментални системи е необходимо да се обмисли как те могат да подобрят тези показатели. Трябва да се имат предвид два важни фактора:

- Ефективност на рязане на метал: може да се измери чрез скоростта на отстраняване на метал (cm^3/min) за всяка операция
- Степен на използване на машината: съотношението на времето, през което машината реже метал (способност да произвежда непрекъснато за дълго време)

Използването на машината е тясно свързано с конфигурацията и оборудването на машината. Когато инвестирате в нова машина, трябва да сте сигурни, че тя използва най-добрата технология.

Типични причини за загуба на време във фабрики, които намаляват използването на машини:

- Настройка на машината за обработка на нова партида
- Измерване на детайл на машина
- Настройка на инструмента на машината
- Регулиране на тръби/маркучи за подаване на охлаждаща течност
- Подмяна на износени инструменти
- Инструменти за почистване от навити стружки или конвейери от подредени стружки
- Смяна на части

Блоковите инструменти са съставени от отделни елементи (модули): възел връзки на модулния блок към магазина на машината, междинен възел, държач за инструмент (държачи за инструменти), от които, по указание на технолога, изп конструктивните характеристики на наличните модули съставят необходимия блок.

На практика възможно е различен възел да се използва за същия инструмент връзка, чиито размери за обработка ще съответстват на друг модел на машината. В някои случаи различни инструменти могат да бъдат инсталирани в съществуващи модули.

Металообработващи компании, които използват модулни системи от много години модулните модули имат свои собствени библиотеки с опции за „модули“.

III. ВОДЕЩИ ФИРМИ В ДОСТАВКА И ПРОЕКТИРАНЕ НА МОДУЛНИ ИНСТРУМЕНТИ

Водещи фирми в доставка и проектиране на модулни инструменти: Kennametal, Widia krupp, Sandvik Коромант, Валтер, Хайнц Кайзер.

A. Coromant Capto

Coromant Capto [1.6.7] е модулно решение за инструменти за бърза смяна, което осигурява три системи в едно: Съединителят Coromant Capto, директно интегриран в шпиндела, увеличава стабилността и гъвкавостта, например при многозадачни машини, обработващи центри с възможност за пробиване и вертикални стругове. Coromant Capto е модулна система за обработващи центри и предлага голямо разнообразие от удължители и адаптери за намаляване на размера на връзката, позволявайки инсталирането на инструменти с различна дължина и дизайн, независимо от използвания машинен интерфейс (SK, HSK, Big Plus). Модулната система намалява нуждата от скъпи специални инструменти с дълги срокове за изпълнение.

По този начин едни и същи инструменти могат да се използват във всички работилници, осигурявайки уникална гъвкавост, оптимална твърдост и минимален брой необходими инструменти. Област на приложение:

Coromant Capto може да се използва на всички видове машини:

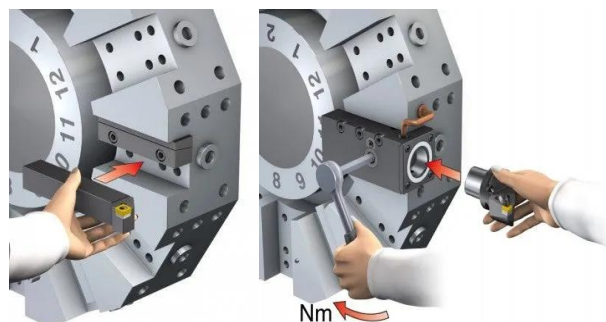
- Стругов център - бърза смяна и подаване на охлаждаща течност под високо налягане;
- многозадачни машини и обработващи центри - адаптери за въртящи се инструменти, модулни инструменти и инструменти за бърза смяна.
- Coromant Capto се предлага в шест размера, за да отговарят на всяко приложение: C3-C10, с диаметри на фланеца от 32, 40, 50, 63, 80 и 100 mm.



Фиг. 1.

Вътрешната охлаждаща течност гарантира, че пълният потенциал на машината се използва с оптимизирани инструменти и максимален контрол на стружките.

Увеличеният брой позиции на инструмента с двупозиционни инструментални блокове позволява блокът да се използва както за вътрешни, така и за външни операции.

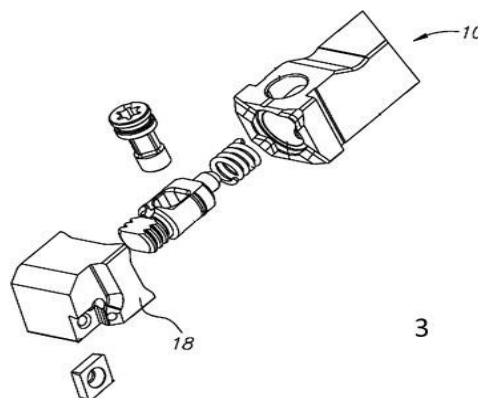


Фиг. 2.

Стругови центрове със задвижвани инструментални блокове често имат малък брой позиции за задържане на инструменти. Инструменталните блокове с две станции позволяват използването на алтернативни инструменти или разширена гама от инструменти, намалявайки необходимостта от смяна на инструменти при обработка на широка гама от части. Инструментални блокове с две позиции могат да се използват, когато машината има Y-ос, револверна глава с половин позиция или подшпиндел.

Б. Бързосменен държач – Патент на ISCAR WO 2013/018087 A3

Модулна част на държача на режещ инструмент (16 или 18) за металообработваща машина включва първа захващаща повърхност, конфигурирана за затягащо зацепване със съответната втора зацепваща повърхност на допълнителна модулна част на държач на режещ инструмент. Първата захващаща повърхност включва основна повърхност и блокиращи елементи под формата на точно четири изданини или точно четири вдлъбнатини. Всеки блокиращ елемент включва безконтактна повърхност, разположена на разстояние от основната повърхност. Безконтактната повърхност включва два противоположни ръба, между които се простира, и две опорни повърхности, всяка от които се простира от съответния един от двата противоположни ръба към основната повърхност и е конфигурирана за затягащо захващане.



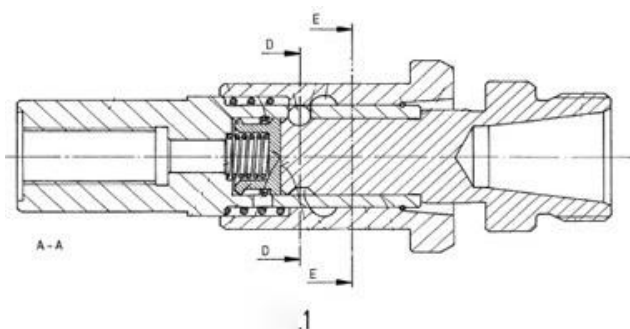
Фиг. 3.

Предметът на [6, 7] настоящето изобретение се отнася до модулни държачи за режещи инструменти за металорежещи машини, имащи части на главата и тялото и затягащи механизми за закрепване на частта на главата към частта на тялото. Затягащите механизми могат да бъдат доведени до затегнато положение, при което частта на главата е закрепена към частта на тялото, и незахванато положение, при което частта на главата може да бъде отстранена от частта на тялото. Главната част е конфигурирана с поне един режещ елемент. Когато най-малко единият режещ елемент трябва да бъде сменен, главата може да бъде отделена от тялото и към нея може да бъде закрепена нова глава с различен режещ елемент или елементи. US 5.873.682 разкрива модулен държач за режещ инструмент, имащ затягащ механизъм.

Целта на настоящето изобретение е да предостави нов и подобрен модулен режещ инструмент държач и/или части от него и/или затягащ механизъм за него.

Извод: Системата е сложна и от много компоненти. С течение на времето пружината губи своите качества и нарушава работните свойства на държача. Системата работи само за процес стругане.

B. SCHNEIDER



Фиг. 4.

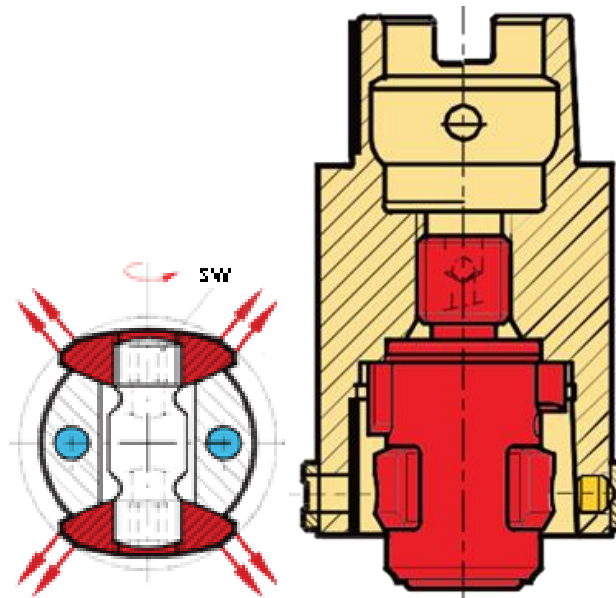
На фиг. 4 [2,3,6,7] е показано широко разпространеното затягане чрез стопорен винт под ъгъл спрямо главната ос на инструмента и държача, при най-малкия типоразмер на държача, при винт М5, при момент на затягане 3 Nm осигурява устойчива работа на режещия рѣб. Това затягане има два недостатъка. Първо, затягащото усилие не е симетрично спрямо главната ос, поради което винтът се разполага върху най-благоприятната страна. Второ, при необходимото усилие на затягане, винтът М5 е натоварен значително. Това изисква използване на високоякостни материали.

В този вариант на бързосменен държач е само за „опашати“ инструменти или за процес пробиване, сенкерване и фрезване. Конструкцията е много сложна и скъпа за производство.

Широко разпространеното затягане чрез стопорен винт под ъгъл спрямо главната ос на инструмента и държача, при най-малкия типоразмер на държача, при винт М5, при момент на затягане 3 Nm осигурява устойчива работа на режещия рѣб. Това затягане има два недостатъка. Първо, затягащото усилие не е симетрично спрямо главната ос, поради което винтът се разполага върху най-благоприятната страна.

Второ, при необходимото усилие на затягане, винтът М5 е натоварен значително. Това изисква използване на високоякостни материали.

Недостатък на този тип затягане е несиметричното (едностранно) прилагане на затягащото усилие.

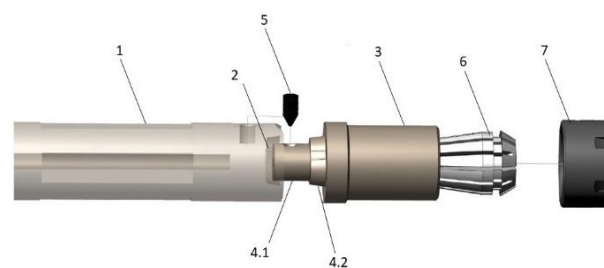


Фиг. 5.

Известна е касета [2,3,6,7] с 4-точково затягане на бързосменяеми инструменти, в която усилието на затягане се предава в перпендикулярно направление чрез конусна повърхност. Усилието на затягане се осигурява от две челюсти с фаски от към контактната страна. Челюстите се преместват радиално на касетата от ядро, на което от едната страна има лява резба, а от другата - дясна. При отвиване и завиване на ядрото челюстите се раздалечават (затягане) и се приближават (освобождане). Това затягане е симетрично спрямо главната ос. Необходимият момент на затягане за винт М5, за най-малкия типоразмер на обработвания инструмент е два пъти по-малък – 1,5 Nm.

Недостатък на 4-точковото затягане е, че за да се осигури равномерно усилие в 4-те точки, е наложително между направляващите и челюстите да имат известна хлабина, както и между резбите на ядрото и челюстите. Ако конструкцията не предвижда хлабини, то е необходима висока точност на изработване на елементите на сглобената единица, за да се осигури сравнително равномерно разпределение на усилието на затягане.

Г. NEXXQUICK

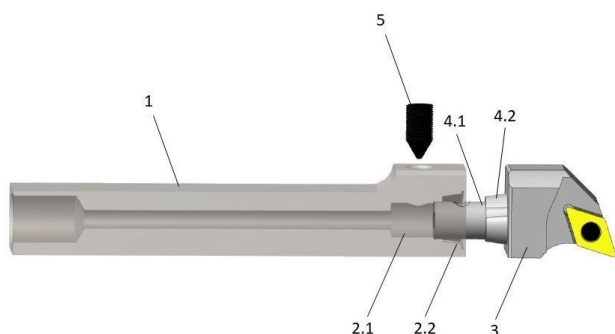


Фиг. 6.

При закрепване на инструменти [5,7] с цилиндрична опашка (фиг. 5) цилиндричният участък 4.1 на модулната глава 3 влиза в цилиндричния участък 2.1 със съответен диаметър в държача 1. С това се постига съвместяване на главните оси на модулната глава 3 и държача 1.

Изпъкналият епитрохоидален конус на модулната глава 3 се ориентира във вдлъбнатия епитрохоидален конус на държача 1, така че проходният резбови отвор 5.1 да е съосен на допълнителния конусен отвор 5.2, което дава възможност за затягане със стопорен винт 5 с конусен връх. Затягането на конусния стопорен винт 5 води до притискане на базовото чело 3.3 на модулната глава 3 към базовото чело 1.2 на държача 1. С това се осигурява челното базиране на модулната глава 3 към държача 1.

В модулната глава 3 предварително е закрепен режещ инструмент с цилиндрична опашка, захванат към нея посредством цангата 6 и гайката 7. Това се осъществява като вътрешни зъбчета на гайката 7, чрез пружинните свойства на цангата 6, се вкарват във външен канал на цангата 6. Това може да се извърши извън работната зона на машината. Цангата 6 заедно с гайката 7 се вмести в конусния отвор на работната повърхнина 3.2 на модулната глава 3. Модулната глава 3 има външна цилиндрична метрична резба, върху която се навива гайката 7. Когато в отвора на цангата 6 се постави свредло, зенкер, фреза или друг инструмент с цилиндрична опашка със съответстващ на цангата 6 диаметър, чрез затягане на гайката 7 се фиксира устойчиво към модулната глава 3. Според диаметъра на цилиндричните опашки на инструментите се подбира съответната цанга 6. Конусните размери на цангата 6 са еднакви за един типоразмер модулна глава 3.



Фиг. 7.

В другия примерен [5] вариант (фиг. 6) е представено закрепване на инструменти за струговане със сменяеми металокерамични пластини с различна форма. Стругарският нож е закрепен по стандартен начин чрез легло към работната повърхнина 3.2 на модулната глава 3. За да се осъществи правилното ориентиране на модулната глава 3 към държача 1, е необходимо цилиндричният участък 4.1 на модулната глава 3 да влезе в цилиндричния участък 2.1 със съответен диаметър в държача 1. Съвместяването на цилиндричния участък 4.1, на модулната глава 3 и цилиндричния участък 2.1 със съответния диаметър в държача 1, осигурява съвпадане на главните оси при сглобката.

Епитрохоидалният изпъкнал конус на профилния участък 4.2 от стъпаловидния присъединителен елемент 4 на модулната глава 3 се ориентира в епитрохоидалния вдлъбнат конус на профилния участък 2.2 от стъпаловидния отвор 2 на държача 1, така че да е възможно затягане със стопорен винт 5.

Затягането чрез стопорния винт 5 води до притегляне на базовото чело 3.3 на модулната глава 3 към базовото чело 1.2 на държача 1. С това се осигурява челното базиране на модулната глава 3 към държача 1.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предимства на системите за бърза смяна на инструменти.

Струговете с ЦПУ и струговете от швейцарски тип имат бърза смяна на инструмента, но обикновено имат по-ниски нива на използване от обработващите центри поради времето за настройка на инструмента. Ръчната бърза смяна на инструмента се използва там, където няма автоматична смяна на инструмента (АСИ), за да се увеличи частта от ефективното време за рязане на машината. Ползите от използването на системи за бърза смяна на инструмента са много.

- Намелено време за смяна на комплекти инструменти
- Значително намаляване на времето, прекарано за преминаване от един тип инструмент към друг.
- Държачи за инструменти за струговане - 5-10 минути до 30 секунди
- Пробивните пръти отнемат малко повече време от инструментите с опашка поради корекцията на централната височина и подаването на охлаждаща течност
- Предимствата на системите за инструменти за бърза смяна са още по-изявени, когато се комбинират с дълги бормашини. Пробивни пръти до $10 \times D$ могат да бъдат променени до $2 \mu\text{m}$ точност за по-малко от 1 минута
- Задвижвани инструменти - от 5–20 минути до 30 секунди. Обикновено задвижваните инструментални блокове са ER или държачи за челно фрезозане. ER са ограничени до челни фрези с максимален диаметър от 25 mm, което означава два отделни задвижвани държача. Согомант Capto® покрива всички приложения с един и същи инструментален блок

От гореизброените бързосменни държачи може да се отбележи, че произведените от Sandvik Capto* са намерили най-голямо приложение в машиностроенето поради своята констрикция.

Предимства:

- Гъвкавост чрез широка модулност
- Висока стабилност и прецизност
- Минимална номенклатура на инструмента



- Намалено време за настройка

Особености:

- Трансмисия с висок въртящ момент
- Висока якост на огъване
- Бърза и автоматизирана смяна на инструменти
- Нова охлаждаща технология чрез фиксирани дюзи за надеждност на процеса дори при ниско налягане на охлаждащата течност
- Вътрешна охлаждаща течност под високо налягане, от машината до режещия ръб
- Баланс и подравняване

- Самоцентриране

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Catalog SANDVIK, METAL CUTTING TOOL
<https://www.sandvik.coromant.com/en-us>
- [2] Catalog KENNAMETAL, 2013. Metal cutting tool. – URL:
<http://mip.zavodvtuz.ru/kennametal>
- [3] Widia crupp tool catalog. – URL:
<http://stankopromimport.com.ua/wpcontent>
- [4] Hertel Tool Catalog. – URL:
<http://www.kennametal.com/en/home.html>
- [5] <http://euroexport-bg.com/>
- [6] <https://worldwide>
- [7] <https://worldwide.espacenet.com/>

AN APPLICATION FOR QUICK-CHANGE HOLDERS, AS A WAY TO INCREASE EFFICIENCY IN THE PRODUCTION OF WORKPIECES WITH A CNC MACHINE

Georgi Karlovski
Technical University of Gabrovo
Gabrovo, Bulgaria
e-mail: g_karlovski@abv.bg

Abstract: application of quick-change holders in the production of details, with CNC machines. Manufacturers, types, type structures and their features. When looking for instrumental solutions, it is necessary to follow the path of minimizing technological transitions at the expense of equipment. In some cases, with proper tool preparation it is possible to reduce zero point of the part. A reliable and firm attachment is necessary to ensure the required surface quality. When selecting an auxiliary tool, a reduction in machine downtime should be sought. Quick-change tool holders reduce setup and tool change time, resulting in a significant increase in machine utilization.

МОДЕЛ НА АТМОСФЕРАТА В УРБАНИЗИРАН РАЙОН

Десислава Илиева
ВВВУ „Георги Бенковски“
гр. Долна Митрополия, България
e-mail: Dilieva@af-acad.bg

Кирил Камбушев
ВВВУ „Георги Бенковски“
гр. Долна Митрополия, България
e-mail: k_kambushev@mail.bg

Мартин Камбушев
ВВВУ „Георги Бенковски“
гр. Долна Митрополия, България
0000-0002-7681-4524

Резюме: Описание на атмосферата и причините за поява на турбулентност в урбанизирани райони. Разглеждане на математически модел на атмосферна турбулентност и приложимостта им при моделиране на полет в турбулентна среда.

Ключови думи: *безпилотен летателен апарат, модел, атмосфера, турбулентност*

I. Увод

Повишаването на възможностите на Безпилотните Летателни Апарати (БЛА) доведе до увеличаване на задачите изпълнявани от тях. Не малка част от тези задачи се изпълняват в урбанизирани територии. Движението на въздушните маси в населените територии се различава съществено от движението на въздуха извън населените места. Причина за това е разнородния терен в селата и градовете, дължащ се на сгради с различна височина и площи с различно покритие. С цел повишаване на безопасността на полетите на БЛА в градски условия е необходимо да се изследва движението на въздуха в и над урбанизирана територия и влиянието му върху параметрите на полета на БЛА.

II. УЛЕСНЕНИЯ ПРИ ОФОРМЛЕНИЕТО

A. Състав на атмосферата

Сухия атмосферен въздух е газова смес с обемен състав около 78% азот, 21% кислород, 0,9% аргон и малки количества въглероден двуокис, водород, неон, хелий и други газове. В приземните пластове се съдържат освен това променливо количество водни пари, прах и други примеси. За тази непрекъсната среда се постулират няколко основни закона, на основата на които чрез строги логични построения се установяват количествени отношения за цялата съвкупност термодинамични явления. По-достъпна физична интерпретация на законите, на които се подчиняват газовете, може да се получи при прилагане на т. нар. статистически подход, основан на молекулно – кинетичната теория.

Газовете са много по-лесно свиваеми от течностите – при нормално налягане тяхната свиваемост е двадесет хиляди пъти по-голяма от свиваемостта на водата. При не големи скорости обаче – за въздуха до $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, налягането в различни точки на потока се отличават едно от друго с по-малко от 1%. При такива скорости законите за движението на течностите и газовете са еднакви и е целесъобразно да се разглеждат съвместно. Поради тази еднаквост на много от свойствата им течностите и газовете се наричат с общото име флуиди [1].

Точна представа за разпределението на скоростите дават токовите линии. Това са линии, във всяка точка на които направлението на скоростта съвпада с допирателната. Ако скоростта в коя да е точка от потока не се мени с течение на времето, движението се нарича стационарно или установено, а ако се мени нестационарно. При стационарното движение токовите линии са неподвижни и съвпадат с траекториите на частиците на флуида. Част от потока, заграден от токови линии, се нарича токова нишка, а повърхнината, която огражда нишката – токова тръба [2]. За стационарно течение на несвиваем флуид скоростта се изменя обратно пропорционално на сечението на токовата тръба. Там, където токовите линии се сгъстяват (малко сечение), скоростта е голяма, а там където се отдалечават – скоростта намалява. Картината на токовите линии дава както направлението, така и скоростта [2].

B. Атмосфера в урбанизиран район

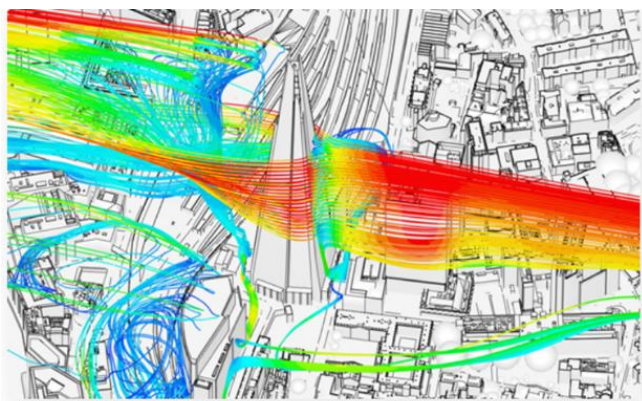
В градски условия промените в микроклимата могат да бъдат големи в резултат на повишени температури, които създават силна промяна на вятъра около сградите. Високите сгради нарушават въздушния поток. Те могат да отклоняват или забавят силните ветрове, поради което градските райони са по-слабо ветровити от селските райони. Градският силует създава грапавост на повърхността, което води до появата на силни въздушни потоци движещите се между сградите.

Ветровете се движат бавно върху високи сгради и от своя страна създават турбулентност, която променя както скоростта, така и посоката на вятъра (Фиг.1). Нестабилното налягане се създава между страната на сградата, която е изправена пред преобладаващия вятър и страната, която е защитена от вятъра. Резултатът е силни въздушни вихри.

Когато сградите са разположени близо една до друга, ветровете се преминават над тях, но когато сградите са разположени на по-големи разстояния, може се получи внезапен и с високи скорост градския вятър. Микроклиматът на вятъра около сградите е резултат от размера и разположението на сградите. Силни ветрове се образуват, когато сградите са изградени върху мрежа, която създава вятърни тунели, където вятърът може да набере скорост.

Потоците от атмосферен въздух над препятствие, понякога поражда въртящите се потоци на Карман. Когато има облачен слой на подходяща височина, потоците стават видими.

Вихровият поток може да достигне повече от 400km от препятствието, а диаметърът на вихрите обикновено е 20-40 km. В градските райони, където наблизко има много високи сгради, турбуленцията, която създават, предотвратява образуването на кохерентни вихри. Периодичните сили на страничния вятър, генерирани от вихри по стените на даден обект, могат да бъдат също крайно нежелателни [7].



Фиг. 1. Обтичане на висока сграда [7].

С. Атмосферна турбулентност

Турбулентното движение на въздушните маси характеризиращо се с промяна на скоростното поле във времето и пространството, наличието на нееднородности и турбулентни вихри, създава спектър от вихри с различни размери (мащаби), а реципрочната стойност на скалата се нарича пространствена честота. Разпределението на турбулентната енергия върху пространствените честоти е спектърът на турбулентности. Природата на турбулентното движение в атмосферата е такава, че енергията на едромасабни вихри се прехвърля към по-малки вихри и продължава, докато те станат толкова малки, че тяхната кинетична енергия отива изцяло за преодоляване на вискозитета на въздуха и се превръща в топлина. Този процес се нарича разсейване на кинетичната енергия на турбулентността – DKET. Достъпът до енергията в турбулентните потоци има тенденция да ускорява хомогенизирането. Характеристиката, която е отговорна за подобреното смесване и увеличените скорости на трансфер на маса, импулс и енергия в потока се нарича „дифузия“, и се описва с коефициент на турбулентна дифузия. Този коефициент е основен подход за количествено определяне на турбулентните потоци[4].

Скоростта на движение на въздуха и суспендираните в него частици се променя в пространството и времето. Подредените и турбулентни движения на въздушните маси се различават предимно по мащаб. Движението в голям мащаб се счита за подредено (ламинарно), докато движението в малки мащаби за турбулентно[8]. Не може да се направи ясна граница между тях: тя е условна и зависи от задачата и методите на измерване.

Може да се обобщи, че турбулентността е вихрово движение на флуиди, чиито термо-хидродинамични характеристики (скорост, температура, налягане и др.) изпитват хаотични (случайни) флуктуации с времето в

дадена точка, а поради наличието в тях на вихри с различни размери (мащаби), случайни са измененията им и в пространството. Ролята на завихреността на флуидните течения е голяма. Създавайки възможност за каскаден процес на пораждаване на по-малки вихри поради хидродинамичната неустойчивост на големите, като при това те им предават кинетичната си енергия. Следователно в един развит турбулентен поток трябва да има вихри с високи възможни мащаби в интервала $\lambda_0 < \lambda < L_0$, където L_0 се определя от геометрията на потока като цяло. Турбулентността в реални вискозни флуиди е и дисипативно явление.

Процесът на енергийна „каскада“ създава структури които са достатъчно малки, че молекулярната дифузия става важна и накрая се получава вискозно разсейване на енергията. Скалата, по която това се случва, е скалата на Колмогоров. Колмогоров постулира съществуването на интервал от мащаби на вихрите $\lambda_0 \ll \lambda \ll L_0$, наречен инерционен, в който каскадният пренос на енергия се осъществява практически без загуба, а дисипацията се осъществява в мащаби $\lambda \approx \lambda_0$ със средна скорост ε , еднаква за цялата област от физическото пространство, заето от потока. В този интервал промяната на скоростта на потока на разстояние от порядъка на λ може да зависи само от ε и λ и тази зависимост е степенна (скейлинг):

$$v_\lambda^2 \propto (\varepsilon\lambda)^{2/3} \quad (1)$$

известно като „закон за 2/3“ на Колмогоров. Този закон се използва за структурната функция на скоростта – средният квадрат на разликата в „надлъжните“ скорости на потока в две точки M_1 и M_2 на разстояние r една от друга.

$$D_{LL}(r) = \langle [u_L(M_1) - u_L(M_2)]^2 \rangle = C_\varepsilon^{2/3} r^{2/3} \lambda_0 \ll r \ll L_0, \quad (2)$$

където u_L е проекция на вектора на скоростта върху правата $M_1 M_2$, а C е универсална константа[3].

III. МАТЕМАТИЧЕСКО ОПИСАНИЕ НА АТМОСФЕРНА ТУРБУЛЕНТНОСТ

В аеродинамиката движението е относително и за удобство независимо от реалната ситуация винаги се разглежда движението на въздушния поток, обтичане неподвижно тяло. Затова в авиацията се срещат термини като „въздушна скорост“, въпреки че всъщност въздухът е неподвижен, а в него се движи летателният апарат.

Движещият се въздушен поток е сложен за математическа интерпретация. Деформационното движение на частиците на реалния газ е свързано с действие на сили на триене. Напряженията от триене участват в уравненията за движението на газа и силите от налягането трябва да се определят съвместно със силите на триене. Движението се описва от система частни диференциални уравнения, известни като уравнения на Навие-Стокс, които отчитат нормалните напряжения в потока от налягането на въздуха и тангенциалните напряжения от вискозното триене.

Реалната ситуация обаче е доста по-комплицирана, тъй като вискозитетът от своя страна зависи от температурата, а при отчитане на свиваемостта е необходимо да се знае и как се изменя плътността.

Непрекъснатост

$$\frac{d\rho}{dt} + \frac{d(\rho u)}{dx} + \frac{d(\rho v)}{dy} + \frac{d(\rho w)}{dz} = 0 \quad (3)$$

Движение по x

$$\frac{d(\rho u)}{dt} + \frac{d(\rho u^2)}{dx} + \frac{d(\rho uv)}{dy} + \frac{d(\rho uw)}{dz} = -\frac{dp}{dx} + \frac{1}{Re_\tau} \left[\frac{d\tau_{xx}}{dx} + \frac{d\tau_{xy}}{dy} + \frac{d\tau_{xz}}{dz} \right] \quad (4)$$

Движение по y

$$\frac{d(\rho v)}{dt} + \frac{d(\rho uv)}{dx} + \frac{d(\rho v^2)}{dy} + \frac{d(\rho vw)}{dz} = -\frac{dp}{dy} + \frac{1}{Re_\tau} \left[\frac{d\tau_{xy}}{dx} + \frac{d\tau_{yy}}{dy} + \frac{d\tau_{yz}}{dz} \right] \quad (5)$$

Движение по z

$$\frac{d(\rho w)}{dt} + \frac{d(\rho uw)}{dx} + \frac{d(\rho vw)}{dy} + \frac{d(\rho w^2)}{dz} = -\frac{dp}{dz} + \frac{1}{Re_\tau} \left[\frac{d\tau_{xz}}{dx} + \frac{d\tau_{yz}}{dy} + \frac{d\tau_{zz}}{dz} \right] \quad (6)$$

Енергия

$$\frac{dE_\tau}{dt} + \frac{d(uE_\tau)}{dx} + \frac{d(vE_\tau)}{dy} + \frac{d(wE_\tau)}{dz} = -\frac{d(up)}{dx} - \frac{d(vp)}{dy} - \frac{d(wp)}{dz} - \frac{1}{Re_\tau Pr_\tau} \left[\frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} + \frac{dq_z}{dz} \right] + \frac{1}{Re_\tau} \left[\frac{d}{dx} (u\tau_{xx} + v\tau_{xy} + w\tau_{xz}) + \frac{d}{dy} (u\tau_{xy} + v\tau_{yy} + w\tau_{yz}) + \frac{d}{dz} (u\tau_{xz} + v\tau_{yz} + w\tau_{zz}) \right] \quad (7)$$

където:

- Координати - x, y, z
- Скоростни компоненти - u, v, w
- Време - t
- Плътност - ρ
- Енергия - e_τ
- Налягане - p
- Вискозно триене - τ
- Топлинен поток - q

- Число на Рейнолдс - R

- Число на Прандъл - Pr

Анализа на уравненията на Навие-Стокс Прандъл установява, че силите на триене ще се проявяват съществено в тънък слой близо до повърхността на обтичаното тяло. Този тънък слой, в който се проявява вискозитета на газа, се нарича граничен слой. Вследствие триенето частиците на газа като че ли залепват за обтичаната повърхност и на самата повърхност скоростта им намалява до нула. В тясна област от потока близо до тялото, по направление на нормалата от повърхността, скоростта бързо нараства и на разстояние, наречено дебелина на граничния слой, става приблизително равна на скоростта на потока такава, каквато би била ако не съществуваше вътрешно триене. При по-нататъшно отдалечаване от тялото по направление на нормалата към повърхността практически не се изменя.

Дебелината на граничния слой може да бъде оценена, като се вземе предвид, че в него инерционните сили, т.е. силите от налягане и силите на вътрешно триене, са от един и същ порядък. Налягането на газа е постоянно по дебелината на граничния слой. Силите на триене превръщат кинетичната енергия на потока в топлина и с приближаване към повърхността на обтичаното тяло температурата в граничния слой нараства. Разпределението на плътността по дебелината на граничния слой се определя от уравнението за състоянието на газа:

$$\rho = \frac{p}{RT} \quad (8)$$

Плътността с приближаване към твърдата повърхност намалява. Вътрешното триене намалява скоростта на струйките в граничния слой. Съгласно уравнението за непрекъснатостта площта на напречното сечение трябва да нараства и тъй като отдолу струйките са ограничени от твърдата повърхност, нарастването става навън. Това води до изкривяване на токовите линии нагоре. Граничният слой измества част от свободния поток така, като че ли тялото, обтичано от вискозен газ, е увеличило напречния си размер спрямо същото тяло, обтичано от газ без вътрешно триене. Това условно изменение на напречния размер се нарича дебелина на изместване на граничния слой. При обтичане от поток невискозен газ тялото, увеличено с дебелината от изместването, ще създава същото поле на скоростите и картина на токовите линии, както и изходното тяло във вискозен поток със същата скорост.

Триенето в граничния слой е следствие от преноса на количество движение между слоевете газ, движещи се с различна скорост. Преносът на импулс може да става поради топлинното движение на молекулите, т.е. на микроравнище, и тогава движението в граничния слой се нарича слоесто или ламинарно. При ламинарно течение няма преход на големи газови частици от слой в слой.

Поради естествената турбулентност на атмосферата и грапаостта на обтичаните повърхности в граничния

слой винаги съществуват вихри, които потенциално водят до обмен на големи частици между слоевете с различна скорост. Ако силите на триене са големи в сравнение с инерционните сили, вихрите затихват в рамките на слоя частици, които се движат с приблизително еднаква скорост, и течението остава ламинарно. Ако обаче инерционните сили са достатъчно големи, започва пренос на макрочастици между слоевете, движещи се с различна скорост. Траекториите на газовите частици започват да се пресичат и се образува турбулентно течение.

Физично обяснение на механизма на преход от ламинарно към турбулентно течение може да се построи с използване на подхода на Прандъл, като се въведе път на смесване [1]. Под път на смесване се разбира средната дълбочина на проникване на големи частици от слой с една тангенциална скорост в слой с друга скорост. Попадайки в слой с по-голяма скорост частиците забавят по-бързия слой. Съгласно уравнението за непрекъснатостта, струйките от този слой се разширяват и тъй като отдолу са ограничени от твърда стена, токовите линии се изкривяват нагоре. Началното смущение \dot{v}_{y0} вследствие действието на силите на триене затихва, но изкривяването на токовите линии нагоре е еквивалентно на индуциране на вторично смущение \dot{v}_y . Ако вторичното смущение \dot{v}_y е по-малко от началното \dot{v}_{y0} , смущението ще затихне и течението ще остане ламинарно. Ако интензивността на смущението нараства, течението се турбулизира. Според Прандъл, вторичното смущение на нормалната съставна на скоростта е пропорционална на градиента на тангенциалната скорост и на дължината на пътя на смесване $\dot{v}_y \approx \frac{dv_x}{dy} \cdot l$. Увеличаването на числото на Рейнолдс при увеличаване скоростта на течението намалява дебелината на граничния слой, което води до турбулизиране на течението в него. В непосредствена близост до обтичаната повърхност пътят на смесване е толкова малък, че се запазва ламинарният характер на течението, т.е. под турбулентния граничен слой съществува ламинарен подслой.

IV. МОДЕЛИ НА АТМОСФЕРНА ТУРБУЛЕНТНОСТ

Моделът Spalart-Allmaras (Спаларт-Алмарас S-A) е модел с едно уравнение, който решава симулирано транспортно уравнение за кинематичен вихров турбулентен вискозитет. Моделът Spalart-Allmaras е разработен специално за аерокосмически приложения, включващи потоци, ограничени от стените, и е доказано, че дава добри резултати за гранични слоеве, подложени на неблагоприятни градиенти на налягането.

Моделът K-epsilon (k-ε) на турбулентност е най-разпространеният модел, използван в изчислителната динамика на флуидите (CFD) за моделиране на характеристиките на средния поток за условия на турбулентен поток. Това е модел с две уравнения, който дава общо описание на турбулентността по отношение на две транспортни уравнения (PDE). Първоначално моделът K-epsilon е създаден с цел да се подобри моделът на дължината на смесване, както и да се намери алтернатива на алгебричното предписване на мащабите

на турбулентна дължина в потоци със средна и висока сложност.

В изчислителната динамика на флуидите моделът на турбулентност k – omega (k – ω) е конвенционален модел на турбулентност с две уравнения, който се използва като затваряне на осреднените по Рейнолдс уравнения на Навие–Стокс (уравнения RANS). Моделът се опитва да предвиди турбулентност, използвайки две частни диференциални уравнения за две променливи, k и ω, където първата променлива е кинетичната енергия на турбулентността (k), а втората (ω) е специфичната скорост на разсейване (кинетичната енергия на турбулентността k във вътрешна топлинна енергия).

Моделът на турбулентност SST (пренос на напрежението на срязване на Менгер) е широко използван и стабилен модел на турбулентност с две уравнения на вихровия вискозитет, използвани в изчислителната динамика на флуидите. Моделът съчетава модела на турбулентност k-omega и модела на турбулентност K-epsilon, така че k-omega се използва във вътрешността на граничния слой и превключва на k-epsilon при свободен поток на срязване [5].

Моделът на уравнението на напрежението на Рейнолдс (RSM), наричан още модел на затваряне на втория момент, е най-всеобхватният класически подход към моделирането на турбулентността. Популярните модели, базирани на вихрови вискозитети (k – ω и k – ε), имат значителни недостатъци в сложните инженерни потоци. Това се дължи на използването на хипотезата за вихровия вискозитет в тяхната формулировка. Например, при потоци с висока степен на анизотропия, значителна кривина на потока, разделяне на потока, в зони на рецикулация или в потоци, засегнати от ротационни ефекти, работата на такива модели е незадоволителна. При такива потоци моделите на уравнението на напрежението на Рейнолдс осигуряват много по-добра точност.

Най-удобни за използване при моделиране на движение на БЛА [10] са моделите на турбулентност на Карман [9] (Von Kármán Wind Turbulence Model) и Хю Латимер Драйдън (Dryden Wind Turbulence Model). Моделите на Карман и Драйдън използват Военната спецификация MIL-F-8785C и Военния наръчник MIL-HDBK-1797, и представляват бял шум пропуснат през формиращ филтър [6]. Моделирането на полета с използване на модел на турбулентност на Карман или Драйдън, представя атмосферата като замръзнало турбулентно поле с пространствена честота Ω (rad/m).

БЛАГОДАРНОСТИ

„Изследването в настоящата статия е осъществено в изпълнение на Задача 3.1.9. „Изграждане на мрежа от автономни маломощни летателни устройства (квадрокоптери) за контрол на урбанизиран район“ от Националната научна програма „Сигурност и отбрана“, приета с РМС № 731 от 21.10.2021 г. и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г.“

**ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Geshv D., Uzunov S., Savov V., Dimitrov K., „Aerodynamics and flight dynamics of the aircraft“, Publishing House of the Ministry of Defense „St. George the Victorious“, Sofia 1996.
- [2] Ivanchev N., Petrov S., Hristov L., „Physics“, State publishing house „Technique“, Sofia 1975.
- [3] Panchev S., „Chaos Theory“, Academic Publishing „Prof. Marin Drinov“, Sofia 2000, ISBN 954-430-725-7
- [4] https://wikipredianet.translate.google.ru/Turbulence?_x_tr_sl=ru&_x_tr_tl=bg&_x_tr_hl=bg&_x_tr_pto=sc
- [5] https://wikibgbg.top/wiki/Turbulence_modeling#Spalart%E2%80%93Allmaras,_k%E2%80%93and_k%E2%80%93CF%89_models
- [6] https://en-m-wikipedia-org.translate.google/wiki/K%C3%A1rm%C3%A1n_vortex_street?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=bg&_x_tr_hl=bg&_x_tr_pto=sc
- [7] <https://www.simscale.com/dashboard/v2/>
- [8] <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>
- [9] https://nauka.offnews.bg/news/Fizika_14/Vihrova-patechka-na-Karman-krasivi-snimki-i-tehnicheski-problem-vid_47035.html
- [10] Marinov A., „Effect of turbulence model on aerodynamic performance of NACA64A410 airfoil in numerical simulation“, Proceedings of the Annual University Scientific Conference of NMU „Vasil Levski“, 2010, Vol 5. ISSN 1314-1937, pp. 46-54

MODEL OF THE ATMOSPHERE IN AN URBANIZED AREA

Desislava Ilieva

"Georgi Benkovski" BULGARIAN
AIR FORCE ACADEMY
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: Dilieva@af-acad.bg

Kiril Kambushev

"Georgi Benkovski" BULGARIAN
AIR FORCE ACADEMY
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: k_kambushev@mail.bg

Martin Kambushev

"Georgi Benkovski" BULGARIAN
AIR FORCE ACADEMY
Dolna Mitropolia, Bulgaria
0000-0002-7681-4524

Abstract: Description of the atmosphere and the causes of turbulence in urbanized areas. An examination of mathematical models of atmospheric turbulence and their applicability in modeling flight in turbulent environments.

МОДЕЛИРАНЕ НА ТУРБУЛЕНТНОСТ ПРИ ПОЛЕТ НА БЕЗПИЛОТЕН ЛЕТАТЕЛЕН АПАРАТ

Кирил Камбушев
 ВВВУ „Георги Бенковски“
 гр. Долна Митрополия, България
 e-mail: k_kambushev@mail.bg

Десислава Илиева
 ВВВУ „Георги Бенковски“
 гр. Долна Митрополия, България
 e-mail: Dilieva@af-acad.bg

Резюме: В доклада се разглеждат турбулентните модели на Карман и Драйдън, както и метод за симулация на полет в турбулентна среда.

Ключови думи: турбулентност, безпилотен летателен апарат (БЛА), Драйдън, Карман.

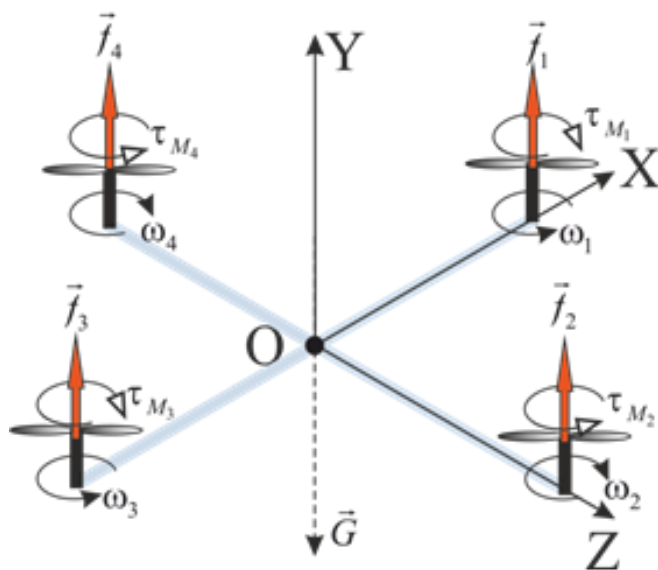
I. УВОД

Развитието на технологиите увеличи възможностите и приложенията на безпилотните летателни апарати. В зависимост от задачите, които трябва да изпълняват, техните размери и тегло варират от няколко десетки грама до няколко тона и съответно от няколко сантиметра до метри. Това голямо разнообразие от БЛА и все по-силно проявяващите се промени в климата налагат повишаване на изискванията към алгоритмите за управление и тяхната устойчивост при резки промени в атмосферата [1].

В настоящата статия ще се разгледа съвместната работа на модел на атмосферна турбулентност и модел на БЛА тип Квадрокоптер.

II. МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА ДВИЖЕНИЕ НА БЛА

Четирикоптера е симетричен летателен апарат. Подемната сила се създава от две двойки двигатели, въртящи се в противоположни посоки. При четирикоптера не съществува проблема с реактивния момент създаван от въртящите се витла.



Фиг. 1. Разпределение на външните сили и моменти действащи на четирикоптера

Четирикоптера се приема за абсолютно твърдо тяло с шест степени на свобода. За разработването на математичния модел на четирикоптера се използват диференциалните уравнения на Ойлер за изменение на количеството на движение и изменение на кинетичния момент. Чрез тях се описва постъпателното и въртливо движение на четирикоптера. На Фиг.1 са показани разпределението на външните сили и моменти действащи на четирикоптера.

Началото на свързана координатна система се намира в центъра на маса на четирикоптера (т. О).

Постъпателното движение на четирикоптера се описва със следните изрази:

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_y \\ \dot{V}_z \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} -G \cdot \sin(\vartheta) \\ f_1 + f_2 + f_3 + f_4 - G \cdot \cos(\gamma) \cos(\vartheta) \\ G \cdot \sin(\gamma) \cos(\vartheta) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Въртенето около осите на свързаната координатна система се описва със:

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\omega}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{I_{xx}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{I_{yy}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{I_{zz}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h(f_4 - f_2) \\ \tau_{M1} - \tau_{M2} + \tau_{M3} - \tau_{M4} \\ h(f_1 - f_3) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_{yy} & -I_{zx} \\ -I_{zx} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

където

- f_1, f_2, f_3, f_4 – подемни сили, създавани от четирите двигателя;
- $\tau_{M1}, \tau_{M2}, \tau_{M3}, \tau_{M4}$ – реактивни моменти на четирите двигателя;
- m – маса;

- h - разстояние от центъра на маса (O) до всеки от двигателите;
- G – сила на тежестта;
- V_x, V_y, V_z – скорости по осите на свързаната координатна система;
- $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – ъглови скорости около осите на свързаната координатна система;
- I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} – главни инерционни моменти;
- $I_{xy}, I_{yz}, I_{zx}, \dots$ – кръстосани инерционни моменти;

$$\begin{aligned}\dot{V}_{x1} &= \frac{F_x}{m} + \omega_y V_{zcb} - \omega_z V_{ycb} - \dot{V}_{xa} \\ \dot{V}_{y1} &= \frac{F_y}{m} + \omega_z V_{xcb} - \omega_x V_{zcb} - \dot{V}_{ya} \\ \dot{V}_{z1} &= \frac{F_z}{m} + \omega_x V_{ycb} - \omega_y V_{xcb} - \dot{V}_{za}\end{aligned}\quad (5)$$

От (5) полагаме $V_{xcb}, V_{ycb}, V_{zcb}$ с техните равни стойности от (3) и се получава:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{x1} &= \left(\frac{F_x}{m} + \omega_y V_{z1} - \omega_z V_{y1}\right) + (\omega_z V_{ya} - \omega_y V_{za} - \dot{V}_{xa}) \\ \dot{V}_{y1} &= \left(\frac{F_y}{m} + \omega_z V_{x1} - \omega_x V_{z1}\right) + (\omega_x V_{za} - \omega_z V_{xa} - \dot{V}_{ya}) \\ \dot{V}_{z1} &= \left(\frac{F_z}{m} + \omega_x V_{y1} - \omega_y V_{x1}\right) + (\omega_y V_{xa} - \omega_x V_{ya} - \dot{V}_{za})\end{aligned}\quad (6)$$

III. ДОБАВЯНЕ НА АТМОСФЕРНИТЕ СМУЩЕНИЯ КЪМ МОДЕЛА НА ДВИЖЕНИЕ НА БЛА

Влиянието на атмосферните смущения върху модела на полета на Квадрокоптер се представя, чрез добавяне на съставлящите на скоростта на вятъра към компонентите на пътната скорост в изразите за силите и моментите.

Ако векторът на скоростта в свързаната координатна система се представи като сума от вектора на атмосферните смущения и вектора на скоростта в несмутена атмосфера се получава:

$$\vec{V}_{cb} = \vec{V}_1 + \vec{V}_a \quad \begin{aligned} V_{xcb} &= V_{x1} + V_{ax} \\ V_{ycb} &= V_{y1} + V_{ay} \\ V_{zcb} &= V_{z1} + V_{az} \end{aligned}\quad (3)$$

където: \vec{V}_1 - вектор на скоростта при несмутена атмосфера в свързаната координатна система;

$\vec{V}_a = \vec{V}_{дет.} + \vec{V}_{ст.}$ - вектор на атмосферните смущения;

$\vec{V}_{дет.}$ - детерминирана съставляща на атмосферните смущения.

$\vec{V}_{ст.}$ - стохастична съставляща на атмосферните смущения.

Използвайки представянето на скоростите в свързаната координатна система (3), получаваме следния вид на диференциалните уравнения за постъпателното движение:

$$\begin{aligned}m \left(\frac{dV_{xcb}}{dt} + \omega_y V_{zcb} - \omega_z V_{ycb}\right) &= \sum F_x \\ m \left(\frac{dV_{ycb}}{dt} + \omega_z V_{xcb} - \omega_x V_{zcb}\right) &= \sum F_y \\ m \left(\frac{dV_{zcb}}{dt} + \omega_x V_{ycb} - \omega_y V_{xcb}\right) &= \sum F_z\end{aligned}\quad (4)$$

Диференциални уравнения (4) се преобразуват във вида:

Атмосферните въздействия могат да бъдат представени като сили. В (6) ускоренията $\dot{V}_{xa}, \dot{V}_{ya}, \dot{V}_{za}$ се вземат като нормирани по масата на обекта сили. Вторите събираеми в дясната страна на (6) могат да се заменят с:

$$\begin{aligned}F_{xa} &= m(\omega_z V_{ya} - \omega_y V_{za} - \dot{V}_{xa}) \\ F_{ya} &= m(\omega_x V_{za} - \omega_z V_{xa} - \dot{V}_{ya}) \\ F_{za} &= m(\omega_y V_{xa} - \omega_x V_{ya} - \dot{V}_{za})\end{aligned}\quad (7)$$

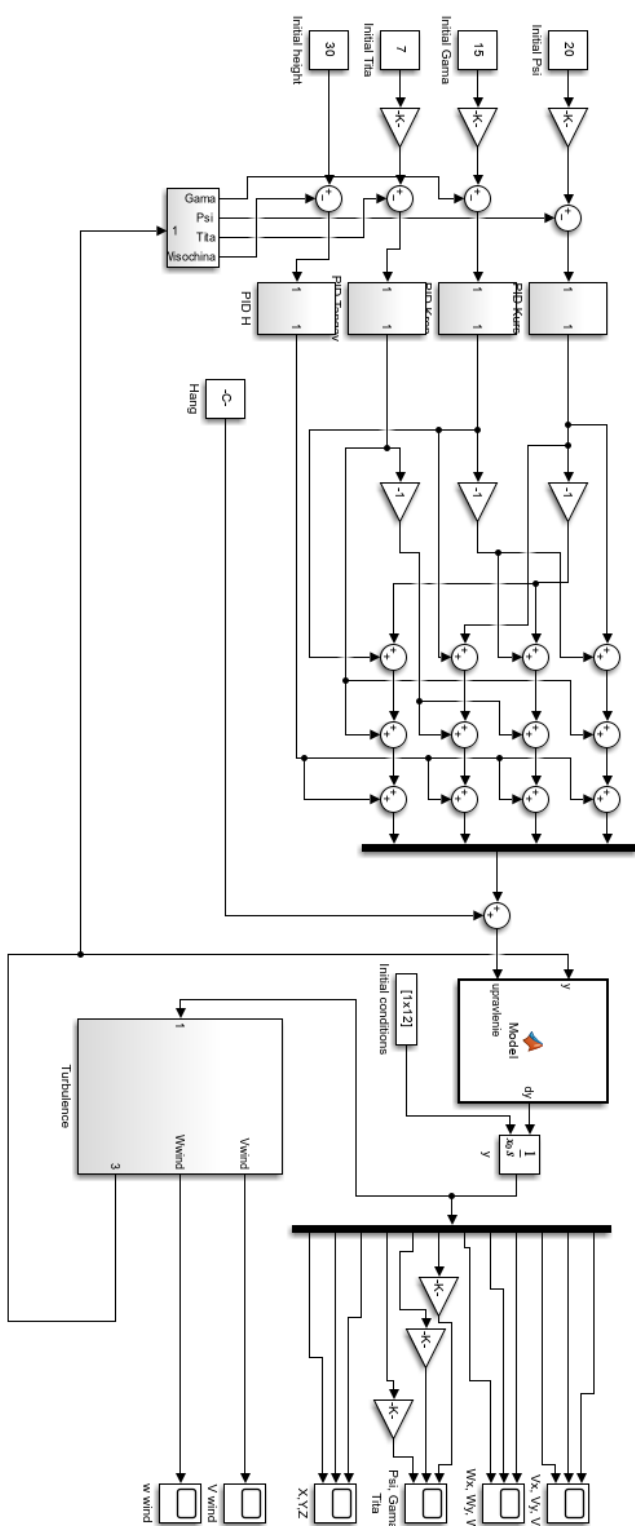
Следователно, след полагане на (7) в (6) се получава:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{x1} &= \frac{1}{m}(F_x + F_{xa}) - \omega_y V_{z1} + \omega_z V_{y1} \\ \dot{V}_{y1} &= \frac{1}{m}(F_y + F_{ya}) - \omega_z V_{x1} + \omega_x V_{z1}, \\ \dot{V}_{z1} &= \frac{1}{m}(F_z + F_{za}) - \omega_x V_{y1} + \omega_y V_{x1}\end{aligned}\quad (8)$$

където F_{xa}, F_{ya} и F_{za} са силите с които атмосферната турбулентност влияе на полета на БЛА[2].

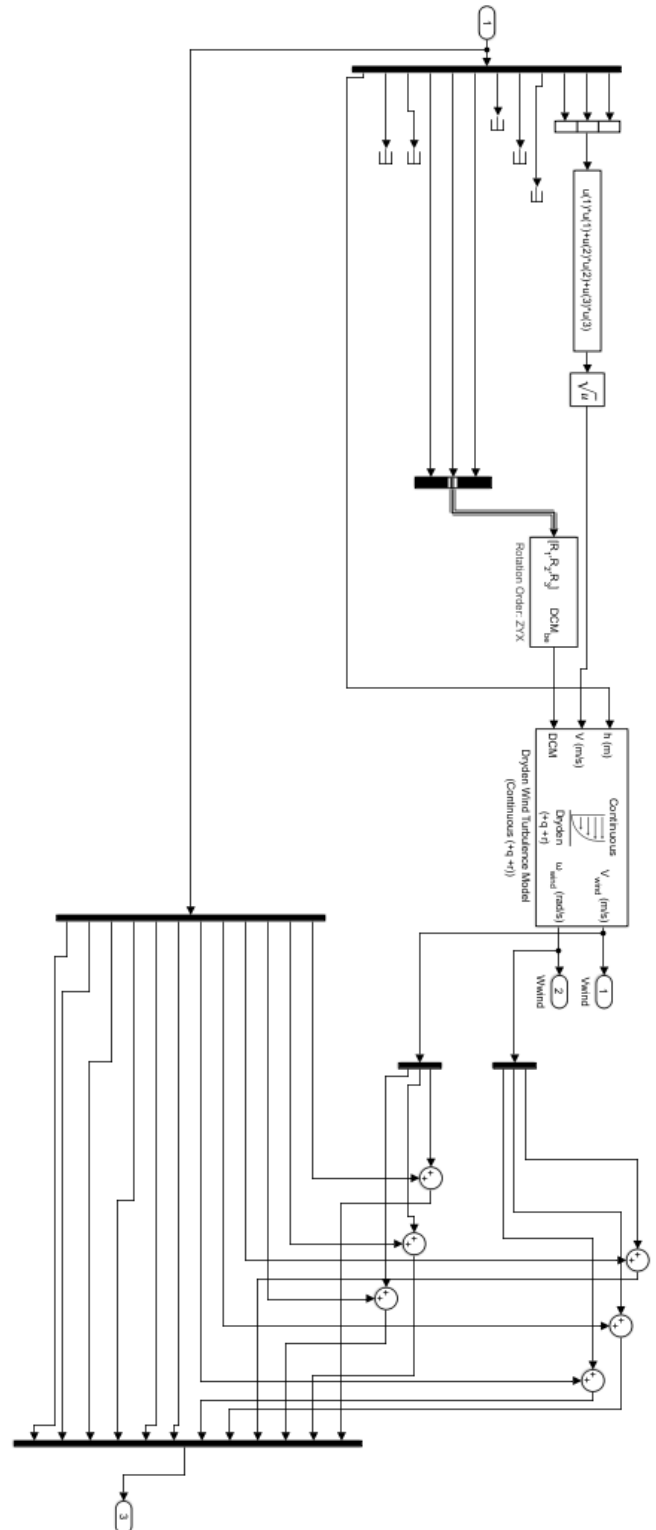
IV. МОДЕЛИРАНЕ НА АТМОСФЕРНИТЕ СМУЩЕНИЯ ПО ОСИТЕ НА БЛА

Моделирането на атмосферната турбулентност по осите на БЛА е удобно да се извърши в MATLAB/SIMULINK. За целта към нелинейния модел на квадрокоптер се добавя турбулентен модел, чийто параметри се настройват в зависимост от конкретната симулация[3, 4] фиг.2 .



Фиг. 2. Нелинеен модел на квадрокоптер

На фигура 3 е показан блока турбулентция от фигура 2. Атмосферните смущения се добавят към модела на полета, като се ориентират по осите на свързаната с БЛА координатна система. За целта се използва матрицата на направляващи косинуси на Ойлеровите ъгли – курс, крен и тангаж.



Фиг. 3. Посистема за симулиране на турбулентност

Смущенията се генерират от блока „Wind Turbulence Model“. Средата SIMULINK дава възможност да се избира между алгоритмите на Dryden и Von Karman за симулиране на атмосферни смущения. Те се получават, чрез пропускане на бял шум през формиращ филтър [5, 6].

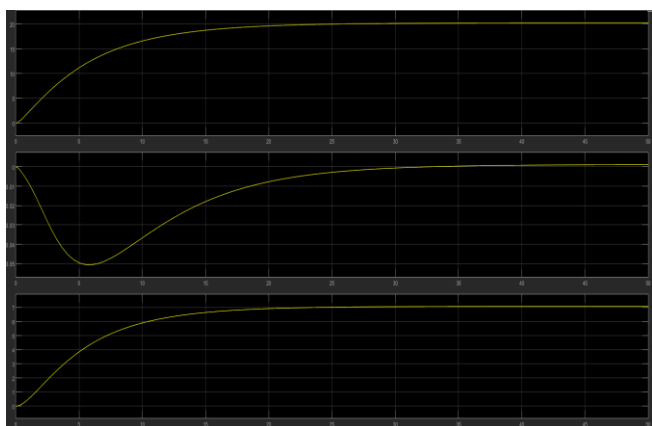
При работа с тези алгоритми трябва да се вземат в предвид следните ограничения:

- Предполагането за замръзнало турбулентно поле е валидно при средна скорост на вятъра.
- Средноквадратичната скорост или интензитет на турбулентността е малка спрямо пътната скорост на полета.
- Моделът на турбулентността описва средна стойност от всички условия за турбулентност на чист въздух.

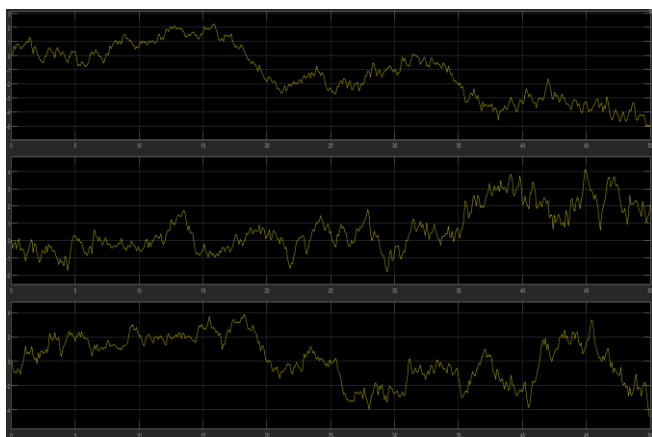
Алгоритмите при моделите на Карман и Драйдън използват Военната спецификация MIL-F-8785C и Военния наръчник MIL-HDBK-1797[7]. Според тях, турбулентността е стохастичен процес, определен от спектрите на скоростта. За летателен апарат, летящ със скорост V през замръзнало турбулентно поле с пространствена честота Ω rad/m, кръговата честота ω се изчислява чрез умножаване на V по Ω .

V. РЕЗУЛТАТИ

На Фиг.4 и Фиг.5 са показани съответно скоростите V_x, V_y, V_z [m/s] по осите на свързаната координатна система и генерираните, по същите оси, смущения.

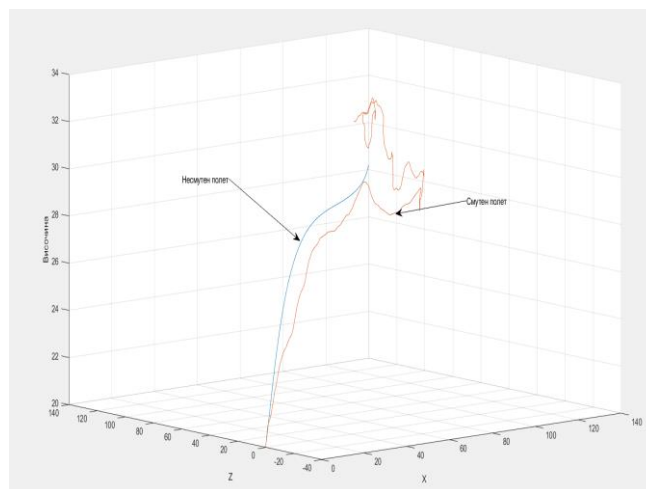


Фиг. 4. Скорости[m/s] по осите на свързаната координатна система на квадрокоптер

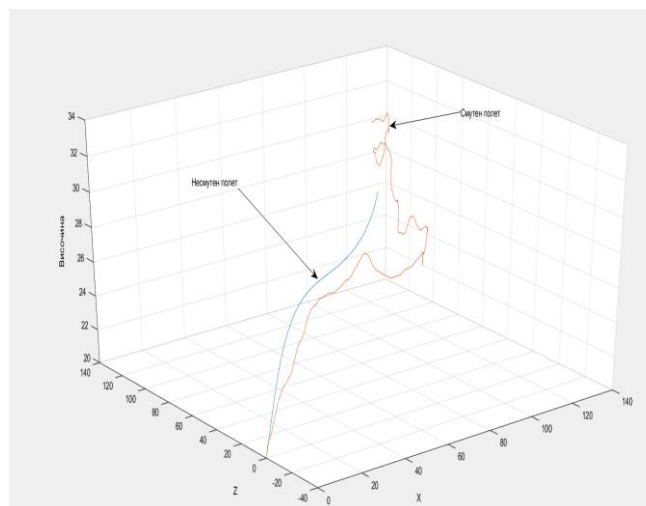


Фиг. 5. Смущения[m/s] по осите на свързаната координатна система на квадрокоптер

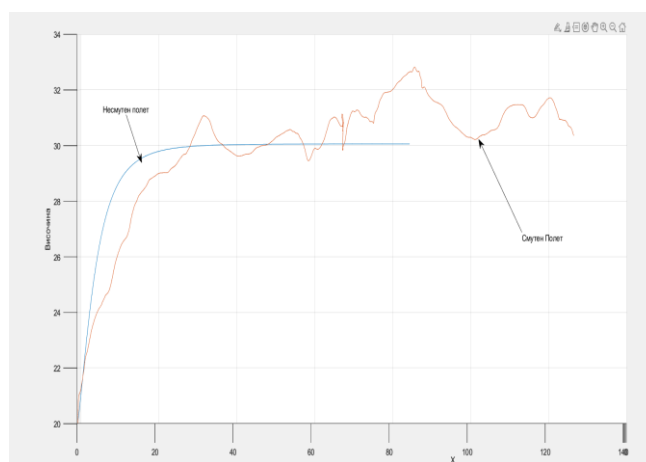
Резултата от въздействието на смущенията върху полета на БЛА се вижда на Фиг.6, Фиг.7 и Фиг.8. На посочените фигури със син цвят е показана траекторията на несмутеното, а с червено на смутеното движение.



Фиг. 6. Траектория на полет на квадрокоптер



Фиг. 7. Траектория на полет на квадрокоптер



Фиг. 8. Траектория на полет на квадрокоптер във вертикалната равнина

Получените резултати показват, че избрания начин на симулация на полет на БЛА в турбулентна среда е подходящ. Това ще позволи използването му при оптимизиране на алгоритмите за траекторно управление в реални условия.

БЛАГОДАРНОСТИ

„Изследването в настоящата статия е осъществено в изпълнение на Задача 3.1.9. „Изграждане на мрежа от автономни маломощни летателни устройства (квадракоптери) за контрол на урбанизиран район“ от Националната научна програма „Сигурност и отбрана“, приета с РМС № 731 от 21.10.2021 г. . и съгласно Споразумение № Д01-74/19.05.2022 г.“

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Marinov A., „Effect of turbulence model on aerodynamic performance of NACA64A410 airfoil in numerical simulation “. Proceedings of the Annual University Scientific Conference of NMU „Vasil Levski“, 2010, Vol 5. ISSN 1314-1937, pp. 46-54
- [2] Kambushev M., „Modeling the motion of bla in a turbulent atmosphere“, Proceedings of the Annual International Scientific Conference of the "AVIATION" Faculty 2019, 99-106 pp., ISSN 978-954-713-123-1
- [3] M. Kambushev, S. Biliderov, K. Yovchev, D. Chikurtev, K. Kambushev and N. Chivarov, "Influence of atmospheric turbulence on the control of flying robotics systems," 2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2019.8878670.
- [4] M. Kambushev, "A research into the effect of atmospheric turbulence on the motion of a quadcopter with pid control", International scientific journal TRANS MOTAUTO WORLD. Year IV, Issue 3/2019, p. 99-102, ISSN 2367-8399.
- [5] <https://www.mathworks.com/help/aeroblks/drydenwindturbulencemodelcontinuous.html>, 20.04.2023
- [6] Hakim I., Arifianto O., „Implementation of Dryden Continuous Turbulence Model into Simulink for LSA-02 Flight Test Simulation“, Journal of Physics: Conference Series (JPCS) Vol 1005, conference 1, 2018.
- [7] "Military standard, flying qualities of piloted aircraft," MIL-STD-1797A, 1990

MODELING OF TURBULENCE DURING UNMANNED AIRCRAFT FLIGHT

Kiril Kambushev
"Georgi Benkovski" BULGARIAN
AIR FORCE ACADEMY
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: k_kambushev@mail.bg

Desislava Ilieva
"Georgi Benkovski" BULGARIAN
AIR FORCE ACADEMY
Dolna Mitropolia, Bulgaria
e-mail: Dilieva@af-acad.bg

Abstract: The paper examines the Carman and Dryden turbulence models as well as a method for simulating flight in a turbulent environment.

ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ПРИ КОНСТРУИРАНЕ НА МЕХАТРОННИ МОДУЛИ И СИСТЕМИ

Генади Цветанов
ТУ-Габрово
Габрово, България
e-mail: gencvet@tugab.bg

Николай Петров
ТУ-Габрово
Габрово, България
e-mail: n.petrov@hamberger.de

Резюме: В доклада са представени основните принципи при проектиране и конструиране на мехатронни модули и системи позволяващи реализацията на такива с голяма надеждност и работоспособност. Разгледани са конкретни примери за обединяване и разделяне на функции, което намалява броя елементи в конструкцията, но поставя допълнителни изисквания за материал и технологичност на производството им.

Ключови думи: конструиране на мехатронни модули, основни принципи.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

В мехатронните системи могат да бъдат разгледани три основни подхода на процеса на проектиране: структурно, блок-йерархични и обектно-ориентирани.

При структурният подход, трябва да се синтезират варианти на компонентите на системата (блокове, модули), както и да се оценят тези варианти. Той се основава на идеята за алгоритъм за разлагане, където всеки модул от системата изпълнява един етап от цялостния процес [1].

Блок-йерархичният подход в проектирането използва идеята за разлагане на описаните сложни обекти в йерархични нива, въвежда понятието за стил на проектирането (възходящ, низходящ), установява връзката между параметрите на съседните йерархични нива [2]. В уредостроенето този принцип се избира за намаляване на габаритите на конструкцията и за нейното опростяване.

В различните приложения, разпределените нива и тяхното наименование могат да бъдат различни. В машиностроенето има нива на детайли, възли, машини и системи.

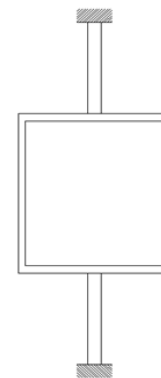
Обектно-ориентираният подход разглежда сложната система като съвкупност от взаимодействащи си обекти, всеки от които се явява копие на определен клас. Този подход е най-обещаващият в проектирането на сложни мехатронни системи.

Всеки един от трите подхода за проектиране на самия процес е разделен на отделни стадии на проектиране.

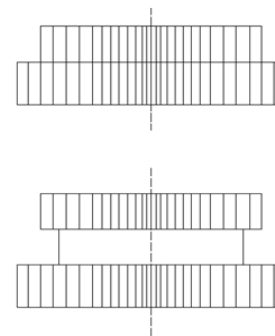
II. ИЗЛОЖЕНИЕ

При анализа и синтеза на мехатронни модули и системи трябва да се отчита факта, че при опростяване на функционални структури води до различни резултати в процеса на конструиране.

В повечето случаи се прилага метода на интегрирането на функции, когато един конструктивен елемент има повече от една функция.



Фиг. 1. Пример за обединяване на функции



Фиг. 2. Пример за разделяне на функции

Правилното разделяне и възможното обединяване на функции за даден елемент е от голямо значение за постигане на оптимална структура и е един от принципите при конструиране.

На фиг. 1 е представен пример за обединение на функции за еластичен лагер, който уравнива въртящ момент и токопровежда, като подвижна намотка на електроизмервателен уред.

На фиг. 2 е представен пример за разделяне на функции за блок зъбни колела с оглед на по-лесната му технологична изработка.

Принцип за оптимален силов поток (оптимално натоварване). Той се реализира чрез следните правила:

- правило на затворената кинематична верига - при геометричния синтез на лостови механизми стремежът трябва да е към синтеза на затворени или хибридни кинематични вериги, чрез които се реализират по-малко загуби в силовия поток;
 - правило за еднаквата якост - конструктора винаги трябва да се ръководи от хипотезите в Съпротивление на материалите, според които съществуват два вида нелинейности – геометрична и материална. Изборът на различни материали в един елемент предполага нелинейност, която удовлетворява предварително зададена сила - термометали. При геометричната нелинейност се предполага, че елемента няма правилна устойчива форма и е възможно реализирането на равна деформация при промяна на местоположението на натоварването – идеалната форма на запъната гредка, с еднаква деформация при промяна на мястото на натоварване - квадратна парабола;
 - правило за максимално устойчивост – устойчивостта е понятие, което се разглежда в теорията на еластичността и прието да се използва за конструкции от елементи. С оглед избягване на загубата на устойчивост при силово натоварване конструкции се използва метода на предварителното геометрично натоварване – изпъкнали плоски мембрани;
 - правило за директната и късата силова линия – така трябва да се подбира конструкцията на елемента, че силовата линия да съпада с неговата ос на симетрия, т.е. да се избягват тангенциалните напрежения;
 - правило за еднаква коравина – при сглобяването на елементи от различен материал чрез влагане или пресово съединение се препоръчва да се избират материали, които имат близки деформации под влияние на околната среда – влагането на метал в стъкло;
 - правило за уравновесяване на силите в конструкцията – така трябва да се създава новата конструкция, че да се избягват неуравновесени сили и моменти, които създават допълнително радиално и аксиално натоварване – еволвентни цилиндрични зъбни колела с наклонени зъби и шевронни зъбни колела;
 - правило за избягване на клиновия ефект – клиновият ефект се появява, когато приведенят ъгъл на триене е по-голям от наклона на елемента. Когато в такива елементи теоретичният механичен коефициент на полезно действие става отрицателен се появява ефект на самозадържане и двигателните сили не могат да преодолеят силите или моментите от триене – самозадържащи пространствени зъбни предавки. Такива механизми задължително се оразмеряват на загряване в мястото на контакт.
 - Принцип на последователност и итерационност – изразява се в строгото изпълнение на етапите на проектиране на мехатронни модули и системи, а итерационността – в коригиране на проектното решение, получено на предишни етапи в проектирането.
 - Модулен принцип. Състои се в максимално възможно използване на еднотипни възли или елементи при роботизирани модули с различно целево предназначение. Този принцип се основава на активното използване на компютърните технологии в процеса на дизайн и проектиране на различни модули:
 - производствени модули – използват се без изменение в процеса на проектиране. Всяка CAD-система притежавабиблиотека от готови модули в различни подотрасли в „Машиностроенето“, което идва и с разширените динамични библиотеки.
 - технологични модули – използват се за технологична подготовка на производствения процес и незначително конструкторско влияние най-вече към местата за закрепване на възлите и елементите [3].
- Съвременните CAD-системи позволяват лесно да се получават огледални изображения на възли и елементи в мехатрониката без загуба на време. При конструкционните модели е необходимо да се използва асоциативно оразмеряване, като е задължително компенсиращото звено да е със свободна повърхнина, така че да се получи максимална унификация и възможност за мащабиране в работното пространство.
- Принцип на унификацията. Съвързан е с използването на стандартни елементи, възли и единици при проектиране на мехатронни модули и системи.
- Съвременните CAD/CAM-системи за автоматизирано проектиране и производство позволяват разработването на собствени модули и база данни от повтаряща се графична информация [4]. Най-малката графична единица при тях е „блокова“ структура, която се запамятава като файл и позволява мащабиране и многократно използване в един или няколко модела.
- Принцип на съответствието. Изразява се в избор на стандартни (номенклатурни) показатели с целево назначение за голяма част от мехатронните модули и системи. Съществува съответствие между вероятността за безотказна работа и приложението на мехатронното изделие.
 - Принцип на компромисите. Процесът на проектиране е непрекъсната верига от компромиси, която се приема на всички етапи от създаването на мехатронното изделие.
- Увеличаването на произволна характеристика на мехатронното изделие неизбежно води до увеличаване на себестойността му, времето за производство и често

трябва да се предвиди друго равнище на поддръжка и експлоатация.

Тенденциите в съвременното мехатронно производство е към концентрацията на конструктора за рационално съчетаване на технологичните възможности с усложняването на конструкцията. При това усложняването не винаги е икономически оправдано, защото ефектите върху ценовата му стойност са малки.

Увеличаване надеждността на машината винаги с усложнение и дублиране на някой функции. Изборът на опори и направляващи, осигурява малко износване, използването на нови материали, специални покрития, смазване, термообработка. Компромисът в този случай е в осигуряване на надеждност на най-отговорните детайли и възли.

- Принцип на приемствеността. Практически всеки механизъм и/или машина се явяват плод на еволюцията и в тях винаги има елементи, детайли и възли, разработени в предходни етапи.
 - същност на проектирането – осигуряване на необходимите характеристики на изделието, а не на неговата оригиналност. Модернизацията, систематическото усъвършенстване позволяват да се поддържат постоянно нарастващи показатели, в течение на определено време, без да се променя конструкцията;
 - рационално съчетаване на старата концепция с нови елементи – зависи от изработката на проектното решение, така и от нивото на технологична подготовка на производството. На този кръстопът има две решения – консерватизъм, който води след себе си доброволен отказ от творческото търсене на нови идеи и психологическа инерция, когато конструктора е запленил от своята идея и не се отказва от нея.

Приемствеността при проектирането има няколко аспекта:

- привързване на фирмите към определено отработено решение (компановка, конструкция на възлите, дизайн и др). Това определя техният почерк и те трудно се отказват от него и понякога „ноу-хаут“ им е причина за наименованието, което имат;
- индивидуализацията на конструкцията не винаги се разпространява върху всички елементи и възли, а само върху външният дизайн;
- конструктивната приемственост дава възможност за увеличаване ефективните разработки за сметка използването на унифицирани модули и възли;
- степента на взаимстване определя концептуалното ниво и зависи от възможностите на приетите свои и чужди решения на определен технически проблем в неизменен или модифициран вид.

Други принципи в конструирането са:

- принцип на самосъхранението – как изделието ще запазва своята работоспособност в зависимост от фактора време – стареене;
- принцип на самоохрана – поставяне на предпазни съединения, блокировки;
- принцип на самонагаждане – при лагеруване на валове в редукторите от едната страна се поставя радиален лагер, а от другата самонагаждащ се;
- принцип на вътрешната диагностика – изделията да имат възможност сами да се проверяват и евентуално да съобщават за предвидими откази в следствие на износване или други дефекти;
- оптимална точност – основен принцип в уредите за измерване на грешки;
- принцип на минималните разходи – с минимални разходи да се реализира максимален ефект от дадената конструкция;
- принцип на оптималния материал – да се избира материал, който има добра хомогенност и е нечувствителен към параметрите на околната среда.

Разнообразните работи в процеса на конструиране изискват автоматизацията на изчислителните процедури, което може да се осъществи чрез други програми. За интегриране на потока от данни от изчислителната програма към CAD-системата означава те да бъдат интегрирани. Това позволява да се извършват контролни, параметрически и оптимизационни изчисления, които да работят съвместно с CAD-системата.

Интегрирането на данните може да се извърши на няколко нива:

- Интегриране чрез динамично свързващи се библиотеки – това става чрез използването на общи библиотеки с други програмни продукти, които работят под определена операционна система. По такъв начин може да се използва специализирани пакети MathCAD, Excel за реализиране на числова база данни, която в последствие да бъде визуализирана;
- Интегриране чрез зареждане на допълнителни графични данни – позволява предварително да се разработят команди и примитиви, които се получават в CAD-системите чрез различен брой елементарни операции, но не са определени предварително с цел по-бързото проектиране на даденото изделие;
- Интегриране чрез използване на файлове с определено разширение – позволява да се генерират многократно повтарящи се команди и да се изобрази даденото изделие. Това се извършва чрез файлове, реализирани в ASCII код с помощта на програмата NotePAD или WordPAD.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представени са основните принципи при конструиране на съвременни модули и системи, които трябва да се спазват при използване на конвенционални и автоматизирани методи за изчисляване и оптимизация.

Дадени са основните подходи при автоматизацията на изчислителните процедури в CAD-системите с и без помощта на допълнителни интегрирани пакети приложни програми.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. F. Krainev. Design ideology. Moscow: Mashinostroyeniye, 2003, pp. 41–45.
- [2] Krause W., Geraetekonstruktion, VEB Verlagstechnik, Berlin, 1986.
- [3] Spur G., Fr. Krause, CAD-Technik Lehr-und Arbeitsbuch fuer die Rechnerunterstuetzung in Konstruktion und Arbeitsplanung, Carl Hanser Verlag Muenchen Wien, 1984.
- [4] Helmerich R., P. Schwindt, Introduction to computer-aided design, Vogel-Buchverlag, Wuerzburg, 1985.

BASIC PRINCIPLES IN CONSTRUCTING MECHATRONIC MODULES AND SYSTEMS

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

Nikolai Petrov
Technical University of Gabrovo
Department of Mechanical and
Precision Engineering
Gabrovo City, Bulgaria
e-mail: n.petrov@hamberger.de

Abstract: The report presents the basic principles for designing and constructing mechatronic modules and systems enabling the realization of those with high reliability and operability. Specific examples of unification and separation of functions have been considered, which reduces the number of elements in the structure, but places additional requirements for material and technology of their production.

ЗАДВИЖВАНЕ НА МЕХАТРОННИ МОДУЛИ С ПРОМЕНЛИВА СКОРОСТ НА ВХОДЯЩИЯТ ВАЛ

Николай Петров
ТУ-Габрово
Габрово, България
e-mail: n.petrov@hamberger.de

Генади Цветанов
ТУ-Габрово
Габрово, България
e-mail: gencvet@tugab.bg

Резюме: В доклада са представени основните кинематични зависимости при проектиране на мехатронно задвижване с променлива скорост на задвижващия вал. Дадени са конкретни решения за реализация на механизми с променливо предавателно отношение и висши кинематични двоинци.

Ключови думи: задвижване, променливо предавателно отношение.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Концепцията за механизмите с променлива скорост на задвижване е иновация в областта на теорията на механизмите и машините [1,2]. Тя има огромен потенциал за теоретични изследвания и практически приложения.

В геометричния синтез на механизми с променливо предавателно отношение съществуват два подхода за анализ основани на закона за движение [3].

Целта на настоящия доклад е да представи определена теоретична концепция за кинематичен анализ на такива механизми и даде конкретни конструктивни решения.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

Главната функция на механизма с променлива е да трансформира преместване и сила в определени граници. В традиционните механизми, задвижващото звено предполага работа с постоянна скорост и липса на ъглово ускорение. Често конструкцията на класическите механизми е без еластично звено при изхода, което е техен недостатък и предполага възникването на шум и вибрации.

С оглед преодоляване недостатъците на общоприетите методологии за кинематичен анализ, на механизъм с променлива скорост на задвижване, се предлага концепцията за диференциален подход на синтез основан на предварително зададен закон за движение.

При разглеждане на самостоятелен механизъм, при който с X се определя независимия ъгъл на завъртане на задвижващото звено, а с Y зависимия ъгъл на завъртане, предавателната му функция е непрекъсната и периодична:

$$Y = Y(X) \quad (1)$$

Моментното положение на задвижваното звено се определя от:

$$Y(t) = Y(X(t)) \quad (2)$$

$$\dot{Y} = Y'(X)\dot{X} \quad (3)$$

$$\ddot{Y} = Y''(X)X^2 + Y'(X)\ddot{X} \quad (4)$$

където: $X(t)$, $X = dX/dt$ и $\ddot{X} = d^2X/dt^2$ съответно са ъгълът на завъртане, ъглова скорост и ускорение на задвижващото звено; $Y(t)$, $\dot{Y} = dY/dt$ и $\ddot{Y} = d^2Y/dt^2$ съответно са ъгълът на завъртане, ъглова скорост и ускорение на задвижваното звено.

В повечето случаи, кинематичните и динамични състояния на механизма се изразяват от функция на движението на входното звено (Ψ):

$$\Psi(t) = \Psi(X, \dot{X}, \ddot{X}) \quad (5)$$

От частния случай $\dot{X} \equiv const$, а $\ddot{X} \equiv 0$, следва:

$$\Psi(t) = \Psi(X) \quad (6)$$

Механизъм с променлива скорост на входното звено се определя от:

$$\dot{X} = f(t) \quad (7),$$

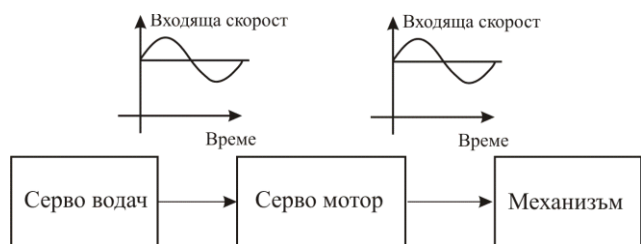
а неговите кинематични и динамични състояния са описани в зависимост (5).

Според вида на елемента с променлива скорост на задвижване механизмите могат да бъдат класифицирани в два вида системи. Първият вид представлява набор от механизми с променливо предавателно отношение, които са използвани да предават движението от задвижващия вал до желаната функционална скорост и да приведат в движение задвижващото звено на механизма (фиг.1).

Вторият вид е „система сервомеханизъм с променлива скорост на задвижващия вал“, където серводвигателя е използван за извеждане на желаната функционална скорост директно до задвижващото звено, (фиг. 2).



Фиг. 1. Механична система механизми с променлива скорост на задвижващия вал



Фиг. 2. Система сервомеханизми с променлива скорост на задвижващия вал

Кинематичния анализ на механизми с променлива скорост на задвижващия вал има за цел да получи гъвкавост при изхода и да подобри характеристиките на движение (скорост, ускорение и др.) чрез активна промяна на скоростта на задвижващото звено.

За отделен механизъм с една степен на свобода, параметрите на движение на задвижваното звено са функции от тези на задвижващото:

$$s = s(t) = f(\theta(t)) \tag{8}$$

$$v = v(t) = ds/dt = f'(\theta)\dot{\theta} \tag{9}$$

$$a = a(t) = d^2s/dt^2 = f''(\theta)\dot{\theta}^2 + f'(\theta)\ddot{\theta} \tag{10}$$

където: $\theta(t)$, $\dot{\theta} = d\theta/dt$ и $\ddot{\theta} = d^2\theta/dt^2$ са ъгълът на завъртане, ъгловата скорост и ускорение на задвижващото звено.

Критериите за съставяне на целеви функции при входа са:

- Критерий за проектиране 1:

Изискванията за движение при изходното звено съвместно с въведените ограничения на скоростта да симулират сервомеханизъм.

- Критерий за проектиране 2:

Функцията на движение при входното звено трябва да осигурява ъглови ускорения в определен диапазон, за да се предпази елемента с променлива скорост от претоварване.

- Критерий за проектиране 3:

Средната скорост при входното звено остава без промяна.

Допуска се, че желаната траектория на скоростта на задвижваното звено е дадена и представена като функция на ъгловото завъртане на задвижващото звено, така че $v = v^*(\theta), \theta \in [\theta_0, \theta_f]$.

Използвайки зависимост (9) приемаме:

$$\dot{\theta} = g(\theta) = v^*(\theta) / f'(\theta), \theta \in [\theta_0, \theta_f] \tag{10}$$

Необходимото условие, за да се избегнат сингулярните положения на механизма е $f'(\theta) \neq 0$

Интегрирането на зависимост (10) дава ъгловата скорост във функция на времето:

$$t = t_0 + \int_{\theta_0}^{\theta} 1/g(\theta)d\theta \tag{11}$$

А. Подход за оптимален контрол

- Целеви функции и ограничения

За да подобрят характеристиките на движението при изходното звено се приема следната целева функция:

$$P_1 = \int_{t_0}^{t_f} [v(t) - \bar{v}(t)]^2 dt \text{ или } P_1 = \int_{t_0}^{t_f} [a(t) - \bar{a}(t)]^2 dt, \tag{12}$$

където $\bar{v}(t)$ и $\bar{a}(t)$ са спомагателни функции, които описват желаните характеристики на движението при изходното звено.

В същото време, като се има предвид Критерий 1, следващата целева функция се използва за да въведе ограничение във виброскоростта при входното звено:

$$P_2 = \int_{t_0}^{t_f} [\dot{\theta} - \bar{\omega}]^2 dt \text{ или } P_2 = \int_{t_0}^{t_f} \ddot{\theta} dt \tag{13}$$

Следователно, крайната целева функция се дефинирана като:

$$P = w_1 P_1 + w_2 P_2 \tag{14}$$

където w_1 и w_2 са тегловните фактори.

- Гранични условия

Следвайки Критерий за проектиране 3, граничните стойности на входното ъглово завъртане, са:

$$\theta(t_0) = \theta_0, \theta(t_f) = \theta_f \quad (15)$$

- Модел с оптимален контрол на скоростта.

Целевата функция се дефинира, като:

$$P = w_1 \int_0^{t_f} [v(t) - \bar{v}(t)]^2 dt + w_2 \int_0^{t_f} [\dot{\theta} - \bar{\omega}]^2 dt \quad (16)$$

При липса на изисквания към скоростта на входното звено се използва Критерий 2 за проектиране:

Гранични условия за завъртане на механизма на цял оборот, са:

$$\theta_d(0) = \theta_f, \theta_d(t_g) = 2\pi + \theta_0 \quad (17)$$

$$\dot{\theta}_d(0) = \dot{\theta}(t_f), \dot{\theta}_d(t_g) = \dot{\theta}(0) \quad (18)$$

$$\ddot{\theta}_d(0) = \ddot{\theta}(t_f), \ddot{\theta}_d(t_g) = \ddot{\theta}(0) \quad (19)$$

$$\ddot{\theta}_d(0) = \ddot{\theta}(t_f), \ddot{\theta}_d(t_g) = \ddot{\theta}(0) \quad (20)$$

При липса на изискване за характеристиките на движение при изходното звено в работния период, следва да се ограничи само виброскоростта на изхода. Използвайки полиномен модел, функцията на завъртане с достатъчна за практиката точност се определя от:

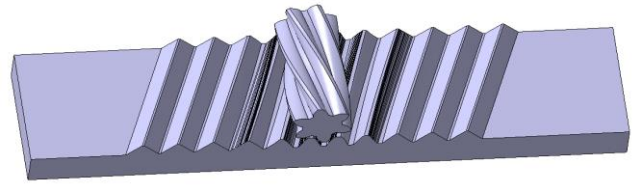
$$\theta_d(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 \quad (21)$$

където коефициентите са определени от граничните условия в (17, 18 19 и 20).

Въз основа на тази концепция в катедра „Машиностроене и уредостроене“ са създадени устройства с променлива скорост на входното и изходното звено чрез висши кинематични двойци (фиг. 3, 4, и 5).

Неравномерното предавателно отношение на висшите кинематични двойци може да бъде за сметка на допълнителен момент от триене, който се получава при отклонение на натоварването по линията на зацепване. При предавки с външно зацепване е постигнат такъв ефект на самоспиране при ъгъл на зацепване $\alpha^*w=48,230$ (фиг.5 и 6), който не може да се постигне със симетричен профил.

Това ограничение за първи път е установено от проф. В. А. Гавриленко, който препоръчва профилните ъгли на изходните симетрични контури да се определят от условието $\alpha \leq 350$ [4].



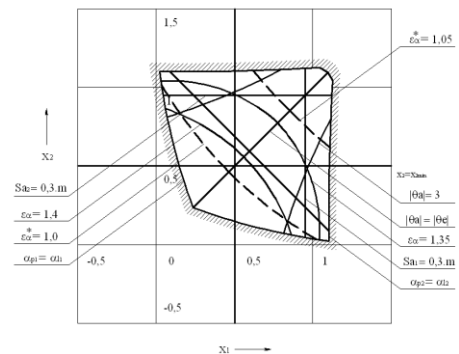
Фиг. 3. Механизъм с неравномерна стъпка и трансляция на изходното звено



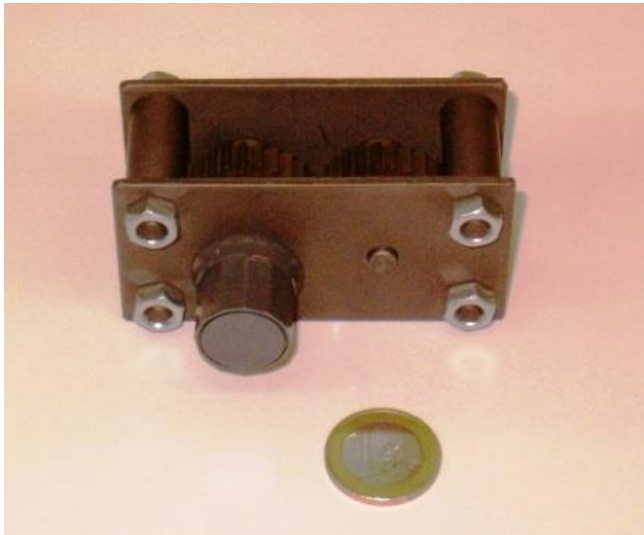
Фиг. 4. Ексцентрикова зъбна предавка, позволяваща получаването на синусоиден закон за движение на изходното звено



Фиг. 5. Елиптически зъбни козела с асиметричен профил на зъбите



Фиг. 6. Блокиращ контур на зъбна предавка с ефект на самоспиране



Фиг. 7. Макет на самоспираща зъбна предавка, произведена по метода на нишковата ерозия

- отклонение на натоварването от теоретичната линия на зацепване и получаване на допълнителен момент от триене

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dizioğlu B, Getriebelehe Band 3. Dynamik. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1966.
- [2] Genova P I. Synthesis of spring equivalent to flywheel for minimal coefficient of fluctuation, ASME paper No. 68 Mech65, 1968.
- [3] Litvin F L. Non-circular gears, Moscow: MASHGIZ, 1956.
- [4] Gavrilenko V., Fundamentals of the theory of involute gearing, Moscow, Mashinostroenie, 1969, 430 pp.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представени за основните кинематични зависимости при проектиране на механизъм с променливо задвижване на входящия вал. Дефинирани са три критерия при оптималното проектиране, като са дадени конкретни аналитични решения при определяне на кинематичните параметри – скорост и ускорение.

Представени са конкретни конструктивни решения за получаване на механизъм с променлива стъпка на изходното звено и висши кинематични двойци, чрез:

- промяна на стъпката на зацепване при наклонени зъби и трансформация на ротационно в трансляционно движение;
- реализация на синусов закон на движение чрез ексцентрично закрепване на зъбните колела от предавката;
- елиптични начални криви осигуряващи променливо предавателно отношение;

DRIVE OF MECHATRONIC MODULES WITH VARIABLE SPEED OF THE INPUT SHAFT

Nikolai Petrov
 Technical University of Gabrovo
 Gabrovo City, Bulgaria
 e-mail: n.petrov@hamberger.de

Genadi Cvetanov
 Technical University of Gabrovo
 Gabrovo City, Bulgaria
 e-mail: gencvet@tugab.bg

Abstract: The report presents the main kinematic dependencies in the design of a mechatronic drive with variable drive shaft speed. Specific solutions are given for the implementation of mechanisms with a variable transmission ratio and higher kinematic pairs.

ИЗРАБОТВАНЕ НА ЛАБОРАТОРНА МЕХАТРОННА УСТАНОВКА ЗА ПОЗИЦИОНИРАНЕ ПРИ ПРОХОДНИ ОПЕРАЦИИ НА ДЪРВООБРАБОТВАЩИ МАШИНИ

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

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

Резюме: Целта на настоящата разработка е да се проектира и изработи лабораторна мехатронна установка спомагаща позициониране и фиксиране на дървесни материали при проходни операции при работа на дървообработващи машини. За практическото изпълнение на лабораторната установка е необходимо разработване и избор на компоновъчно решение, подбор на стандартни детайли и компоненти, разработване на схеми за задвижване и управление.

Ключови думи: детайли от дървесина, лабораторна мехатронна установка, пневматична скоба, компоненти, управление.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

В условията на пазарна икономика въпросът за качеството на произвежданите изделия и ниската им себестойност придобиват важно значение поради нарастващата конкуренция между фирмите. 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. Дървесината и дървесните материали са основната суровина в това производство. В сравнение с металите, дървесината позволява високи скорости на рязане и неголяма точност на обработка.[1, 9, 10]

В настоящите условия на европейския пазар българските производители на дървени 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.

Перспективите за успешно развитие на тези производители е те да бъдат много по-иновативни и гъвкави, да могат да елиминират използването на ръчен труд, да повишат производителността, ефективността и качеството на готовите изделия.

Това може да се постигне чрез осъществяване на висока степен на автоматизация на производството на дървени изделия, в частност мебели. Обработването им (закрепване, кантиране, пробиване, шлифване и т.н.) се извършва с агрегатни мебелни машини.[2] В малките мебелни предприятия те работят като самостоятелни производствени съоръжения, а в големите – като части от автоматизирана линия, окомплектована допълнително с различни по функционално предназначение спомагателни устройства.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

A. Специфика и приложение

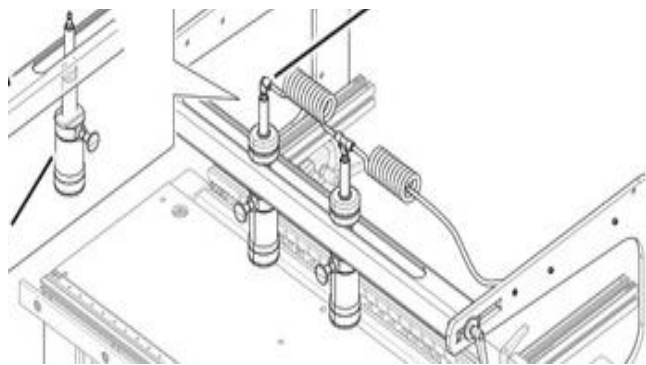
Основните и спомагателни технологични операции при обработката на масивна дървесина и плочести детайли в дървообработващата и мебелна промишленост имат преобладаващо дискретен характер, поради което по-трудно се автоматизират. Работният цикъл на основните дърворежещи машини при първичната механична обработка на суровините и заготовките е съставен главно от две движения: на режещия инструмент и на обработвания материал.[4, 6] Най-често режещият орган извършва ротационно движение, а заготовката се движи хоризонтално постъпателно. Синхронизирането на тези две основни движения е особено важно за да гарантира оптималните параметри на рязането, като технологичен режим за получаване на качествена обработка.

При основните базоформиращи машини в малките предприятия тази синхронизация трудно се автоматизира, защото движението на детайла се осъществява ръчно, като е необходимо да се придържа и в двата края, т.е. необходимо е да се осигурят двама оператори. Когато обслужването на машината се извършва само от един оператор той трябва да придвижва детайлите като обработената страна остава свободна, което може да доведе до изместване и нарушаване на точността на обработката. При проходни операции, като: разкрояване с циркуляр, оформяне на челни профили и кантове с фреза, изработване на гнезда и отвори за монтиране на обков, се реализира базиране на заготовката върху подвижна работна маса, чрез която операторът осъществява хоризонталното движение. [5, 12] Съществуват приспособления, които могат да осигурят закрепването и базирането на заготовката, като гарантират достатъчно надеждно притискане в единия

край, но те изискват допълнително време и усилия от оператора

Б. Реализиране на лабораторна мехатронна установка

Всеки етап от дървообработването е съпроводен от работата на определен вид дървообработващи машини. В редица случаи за задържане, фиксиране и позициониране на обработваните детайли е необходимо използването на подходящи приспособления или системи за затягане. Това е в сила и при процесите на рязане.[8] За малките и средни фирми в областта на дървообработването е от голямо значение прилагането на ефективни решения за автоматизиране на поддръжката по време на обработване на детайли върху машини, които са оборудвани с плъзгащи се маси. Проведено е проучване на различни видове затягащи устройства (пример – фиг.1) за режещи машини.



Фиг. 1. Затягащи системи

Предложено е ефективно решение за автоматизиране на поддръжката при обработката на детайли от масивна дървесина и плочи от МДФ за различни видове циркулярни и шпинделни фрезови машини чрез пневматичен държач (скоба).

Допълнителната скоба представлява електропневматична мехатронна система с безжично дистанционно управление.[8] Тя се монтира неподвижно върху работна плъзгаща се маса на дървообработващата машина. При поставяне на детайла върху масата оператора задейства пневматичната скоба и тя фиксира и задържа детайла, чрез натиск, докато се осъществява обработката от режещия орган. След това операторът отново чрез

дистанционен сигнал връща пневматичната скоба в изходно положение и детайла се освобождава (фиг.2).



Фиг. 2. Допълнителна пневматична скоба на лабораторната установка

III. ЛАБОРАТОРНА МЕХАТРОННА УСТАНОВКА

Разработената лабораторна установка е ефективно устройство осигуряващо безопасност при работа, има висока точност при позициониране и установяване при рязане на детайли с различни размери. Може да се монтира на различни машини с плъзгаща се маса.

А. Компоненти и действие

Реализираната лабораторна опитна установка е изградена от следните компоненти (фиг.3):

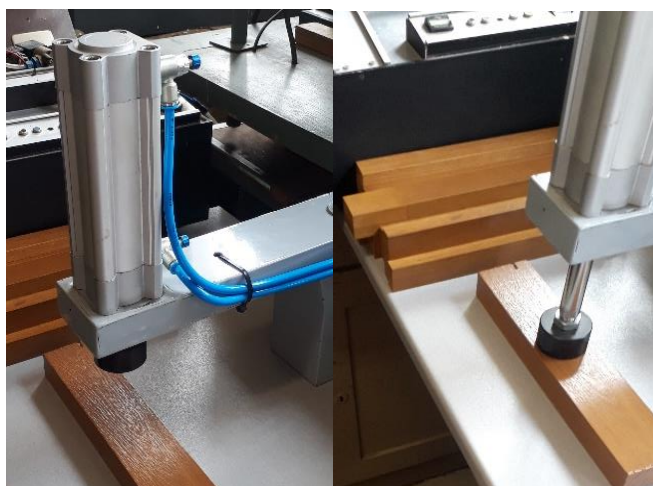


Фиг. 3. Лабораторна мехатронна установка

- метален панел за хоризонтална основа, аналог на подвижната работна маса в реалните машини;
- метална конзолна конструкция, върху която се монтира пневматичния силов цилиндър;
- двупозиционен петпътен пневматичен разпределител;
- манометър;
- предпазен клапан;
- дросели;
- тръбопроводи;
- тръбни съединения;
- безжично дистанционно управление.

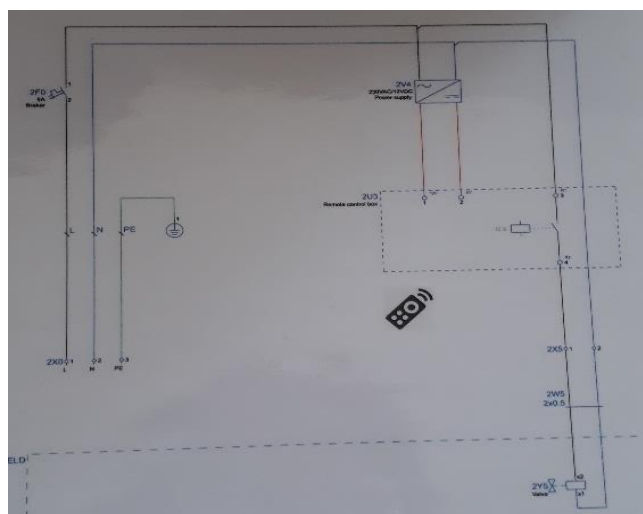
За източник на сгъстения въздух се използва налична в лабораторията локална пневматична система, която представлява: двигател, компресор, акумулатор, почистващ филтър, влагоотделител и омаслител, които не са показани на схемите.

Действието на системата е следното: при задействане на работата на двигателя на компресора към акумулатора се подава сгъстен въздух, от там се отвежда към пневматичните елементи чрез тръбни съединения и тръбопроводи. При поставяне на детайл върху работния плот под скобата, операторът активира дистанционно двупозиционния петпътен пневматичен разпределител от позиция 1 в позиция 2, през него се подава сгъстен въздух от страната на буталото на силовия цилиндър, започва движение надолу и се осъществява притискането на детайла, при завършване на работната операция, операторът дистанционно активира разпределителя и той се връща в позиция 1, започва подаване на сгъстения въздух към цилиндъра от страната на буталния прът и той осъществява обратен ход нагоре, освобождава се детайла (фиг.4)[12].



Фиг. 4. Работни позиции

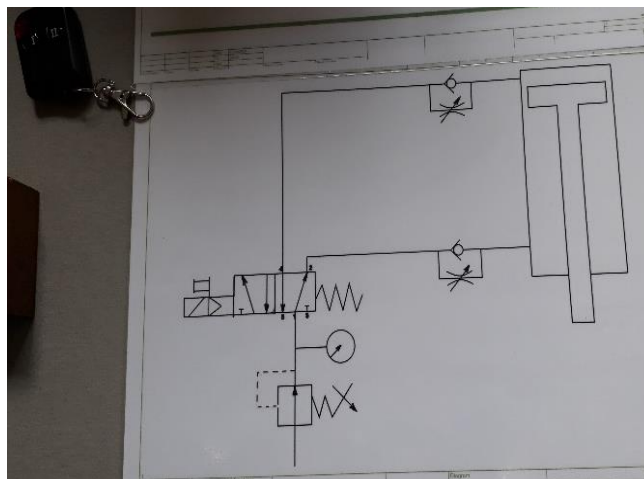
Системата за управление на пневматичната скоба се състои от две части: пневматична и електрическа.[7]



Фиг. 5. Електрическа схема

Електричната част е показана на електричната схема и се състои от: захранване, проводници и електронен блок. (фиг.5)

Пневматичната част се състои от: силов цилиндър, дросели, манометър, двупозиционен петпътен пневматичен разпределител, предпазен клапан, тръбопроводи (фиг.6).



Фиг. 6. Пневматична схема

Разработената установка реализира лесно затягане на детайли с максимална гъвкавост, може да се използва за всички триони за панели и шпинделни фрезови машини, оборудвани с плъзгаща се маса.[7, 15] Възможно е регулиране дължината на хода и силата на притискане. Височината на затягане е 95 [mm]. Силата на затягане е 120 [kg].

Реализираната лабораторна установка е предназначена за онагледяване на автоматизирането на основни и спомагателни процеси при обработка на дървесина и дървесни материали, за запознаване с електропневматични средства на автоматиката. В процеса на изработка на лабораторната установка са приложени практически придобитите теоретични знания по изграждането на мехатронни системи и е реализирано тяхното задвижване. При използването на установката в процеса на обучение за лабораторни упражнения студентите могат да променят някои от характеристиките на отделните компоненти на системата и да наблюдават и измерват получените като резултат конкретни параметри.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се приеме описаната по-горе лабораторна мехатронна установка е разработена и апробирана. Тя улеснява учебния процес и дава възможност за лабораторни експериментални изследвания за определяне позиционирането и силата с която могат да се притискат различни по структура дървесни плоскости. По метода на безразмерните коефициенти е извършен анализ и оценка на разработени варианти за компоноване на лабораторна установка за позициониране при проходни операции и е реализиран оптималният от тях. Разработено е автоматизирано дистанционно управление на работата на установката.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chakarski, D. Vakarelska T. Engineering studies, Publish House of Technical University of Sofia, 2008, ISBN 978-954-438-709-9.
- [2] G. Genchev, P. Obreshkov, Design and testing of woodworking machines, "BM" Publishing House, Sofia, 1998 ISBN 954-8563-14-2
- [3] Todorov B.A., Drives of woodworking machines, Publishing house at LTU, Sofia, 2001, ISBN 954-8783-44-4
- [4] Bodig, J., Jayne, A., Mechanics of wood and wood composites. Krieger, Florida, 1993
- [5] R. Dimitrova, Zhmud V, N. Petrov, J. Vakarelska T. , Study accuracy of a transportation system positioning of a test rig for automated mounting of solar terminals, 9th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems (IRMES 2019), pp. 1-8, doi:10.1088/1757-899X/659/1/012031
- [6] Andonova-Vakarelska T., R. Venkov, Automated system for the production of solar collectors, Automation of discrete production, MTK "ADP 2019", Publishing house of TU-Sofia, issue 1, July, 2019, Sofia, (99-104) , ISSN 2682-9584
- [7] Radkova I., Using Programmable Logic Controllers in Automated Mechanic Systems for the Production of Children's Toys from Solid Wood. KNOWLEDGE - International journal, Scientific Papers, Vol. 35. 3. Natural and mathematical, technical and technological and biotechnical sciences, Skopje, 2019, ISSN 2545 – 4439(p), ISSN 1857 – 923X(e), pp.1039 ÷ 1044 (Global Impact Factor 2018 1.822)
- [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,
- [9] H. Shehtov, Zh. Gochev, P. Vichev, Mechanization and automation in the woodworking real estate industry of Bulgaria in the conditions of planned economy and state ownership of the enterprises - Part I, p.p. 29-32, Issue 2 July 2020 Sofia, Publishing house of TU-Sofia ISSN: 2682-9584
- [10] H. Shehtov, Zh. Gochev, P. Vichev, Mechanization and automation in the woodworking and furniture industry (DMP) of Bulgaria in the conditions of planned economy and state ownership of enterprises - Part II, p.p. 29-32, Issue 2 July 2020 Sofia, Publishing house of TU-Sofia ISSN: 2682-9584
- [11] Atanasov, V., G. Kovatchev (2019), Determination of the cutting power during milling of wood-based materials, Acta Facultatis Xylogiae Zvolen, 61(1), ISSN 1336-3824, pp. 93-101
- [12] Atanasov, V. (2021). Experimental research of the cutting force during longitudinal milling of solid wood and wood-based composites. Facultatis Xylogiae Zvolen. 63(2), ISSN 1336-3824, pp. 73-84. DOI: 10.17423/afx.2021.63.2.06
- [13] Kovatchev G., (2020). Influence of the diameters of the belt pulleys on the work of the belt gear of a universal wood shaper, 10-th International Scientific Conference „Innovation in Woodworking industry and Engineering Desing“, Proceedings, Sofia, October 1-3, pp. 117-122, ISBN: 978-619-7554-32-8
- [14] Kovatchev, G., V. Atanasov (2021), Determination of vibration during longitudinal milling of wood-based materials, Acta Facultatis Xylogiae Zvolen, 63(1), ISSN 1336-3824, pp. 85-92.
- [15] www.honicel.ru/articles/2013/02/21/news1_39.html

DEVELOPMENT OF A LABORATORY MECHATRONIC DEVICE FOR POSITIONING DURING PASSIVE OPERATIONS OF WOODWORKING MACHINES

Tatyana Vakarelska
CEE of TU - Sofia
8, Kliment Ohridski St.
Sofia, BULGARIA
e-mail: vakarelska@tu-sifia.bg

Izabela Radkova
University of Forestry
10, Kliment Ohridski St.
Sofia, BULGARIA
e-mail: izabelarad@abv.bg

Abstract: The aim of the current development is to design and manufacture a laboratory mechatronic installation that helps position and fix wood materials during pass-through operations when working on woodworking machines. The practical implementation of the laboratory installation requires the development and selection of an assembly solution, the selection of standard details and components, the development of drive and control schemes.

ПРОЕКТИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКО УПРАВЛЕНИЕ, ПНЕВМАТИЧНА СИСТЕМА И ПРОГРАМЕН КОД НА СПЕЦИАЛИЗИРАНА МЕХАТРОННА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА „КРИВАТА НА ГАУС“

Слав Димитров
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Ренета Димитрова
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Боян Бахчеванов
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: bab@tu-sofia.bg

Анна-Мария Лазарова
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: lazarova990@gmail.com

Иван Мицев
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: ivan240299@gmail.com

Станислав Цолов
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Резюме: Целта на настоящата разработка е да се проектира електрическо управление, пневматична система и да се разработи програмен код за изследване на „кривата на Гаус“ с плоски цилиндрични детайли. Проектирането и програмирането ще се извърши в специализирани програмни среди.

Ключови думи: „крива на Гаус“, мехатронна система, програмируеми логически контролери, управление, програмиране, програмен код, пневматични елементи, цилиндри, сензори.

I. Увод

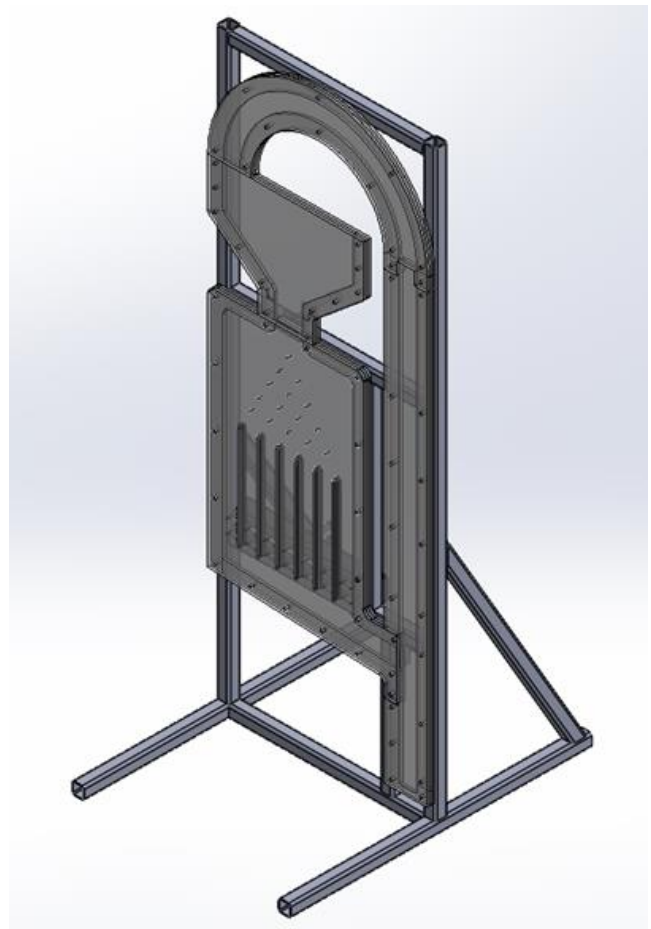
При проектиране на специализирани мехатронни устройства и системи е необходимо да се следва определена последователност, за да се гарантира тяхната работоспособност и надеждност [1, 2]. От гледна точка на автоматичното управление е необходимо да се определят всички електронни компоненти, които ще бъдат необходими за изпълнение на поставената цел [5, 6].

Проектирана е специализирана автоматизирана мехатронна система (САМС) за изследване „кривата на Гаус“, показана на фиг.1 и фиг.2. Тя включва следните елементи:

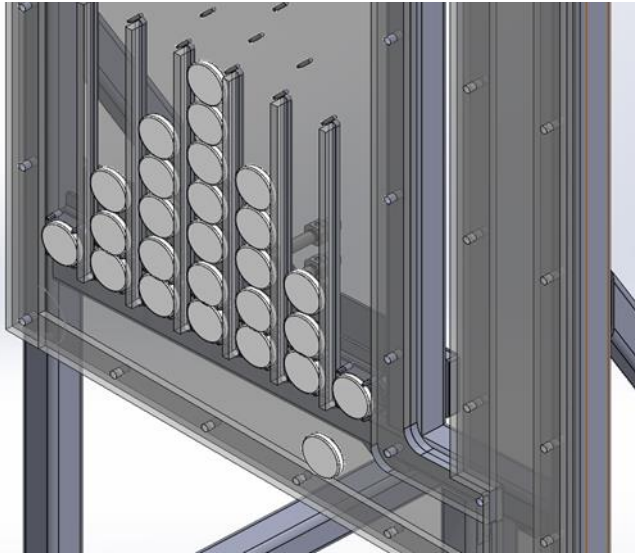
- Захранващ бункер.
- Пространство за изследване.
- Специализиран отсекател за пускане на пулове.
- Специализиран отсекател за разделяне на пулове ред по ред.
- Специализиран отсекател за пускане на ред пулове.
- Самотечен МС.
- Система за връщане на пуловете в захранващия бункер.

- Специализиран отсекател за затваряне на зоната за връщане.

За реализиране целта на настоящата статия е необходимо да се проектира електрическо управление, пневматична система и програмен код.



Фиг. 1. Общ 3D модел на САМС за изследване „кривата на Гаус“



Фиг. 2. 3D модел на пространство за изследване с пулове

II. ПРОЕКТИРАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКО УПРАВЛЕНИЕ И ПНЕВМАТИЧНА СИСТЕМА

A. Принцип на работа

Работата на САМС е последователна и за реализирането и е изграден нестандартен логически код, свързан в стъпков режим на управление:

- Първа стъпка – Плоските цилиндрични детайли (пулове) за изследване се поставят в хранващ бункер и изчакват сигнал от контролера за стартиране на автоматичен цикъл.
- Втора стъпка – Специализираният отсекател се премества и пуловете попадат в пространството за изследване на “кравата на Гаус” (фиг. 2).
- Трета стъпка – Специализираният отсекател за пускане на пуловете в зоната за изследване се връща в изходно положение.
- Четвърта – След разпределение на детайлите и направена експертна оценка на тяхното разположение, специализираният отсекател разделя детайлите ред по ред.
- Пета стъпка – Друг специализиран отсекател се премества и отделеният ред преминава в самотечен магазин събирател (МС) за преместване до зоната за връщане.
- Шеста стъпка – Специализираният отсекател за разделяне на детайлите ред по ред се връща в изходно положение.
- Седма стъпка – Вторият специализиран отсекател за преместване на детайлите до самотечния МС се връща в изходно положение.
- Осма стъпка – Преместените детайли в зоната за връщане, застават пред друг специализиран отсекател и универсален сензор за наличие на детайли подава сигнал към програмируемия логически контролер, че зоната за връщане е пълна.

- Девета стъпка – Специализиран отсекател затваря зоната за връщане и подава сигнал към контролера за задействане на специализирания отсекател за връщане на детайлите в хранващия бункер.
- Десета стъпка – Специализиран отсекател връща детайлите в хранващия бункер през улей в зоната за връщане.
- Единадесета стъпка – Специализираният отсекател за затваряне на зоната за връщане се връща в изходно положение.
- Дванадесета стъпка – Зоната за връщане остава празна и програмируемия логически контролер изпраща сигнал отново в четвърта стъпка за разделяне на следващия ред от детайли.

След изчерпване на детайлите от пространството за изследване, универсален сензор подава сигнал към контролера и изпраща програмата в първа стъпка за стартиране на следващо изследване.

B. Проектиране на електрическо управление

За постигане и реализиране на основните електрически движения са използвани електрически бобини за пневматични разпределители (фиг. 3). Електрическите бобини са предвидени да работят на захранване 24 [V/DC] безопасно за човешкото здраве напрежение. След подаване на оперативен сигнал от контролера, бобините сработват и пневматичният разпределител се отваря.



Фиг. 3. Електрически бобини за пневматични разпределители [8]

За управление на електрическите елементи и за прочитане на обратна връзка от САМС е използван програмируем логически контролер “M221” (фиг. 4). PLC има възможност да управлява всички електрически елементи в САМС и да прочете специализираните сензори [3, 4].



Фиг. 4. Програмируем логически контролер “M221” [10]

Характеристиките на избрания PLC са показани в табл. 1.

Таблица 1

Гама на продукта	Modicon M221
[Us] номинално захранващо напрежение	24 VDC
Дискретен номер на вход	14 Дискретен вход в съответствие с IEC 61131-2
Вид дискретен изход	Транзистор
Дискретен номер на изход	10 Транзистор
Дискретно напрежение на изход	24 V DC
Дискретен изходен ток	0.5 A

Във връзка със специфичното захранване на САМС е избрано импулсно захранване - преобразувател с изходящ ток от 5[A] (фиг.5).



Фиг. 5. Импулсно захранване с изходящ ток 5[A] [7].

Характеристиките на избраното импулсно захранване са показани в табл. 2.

Таблица 2

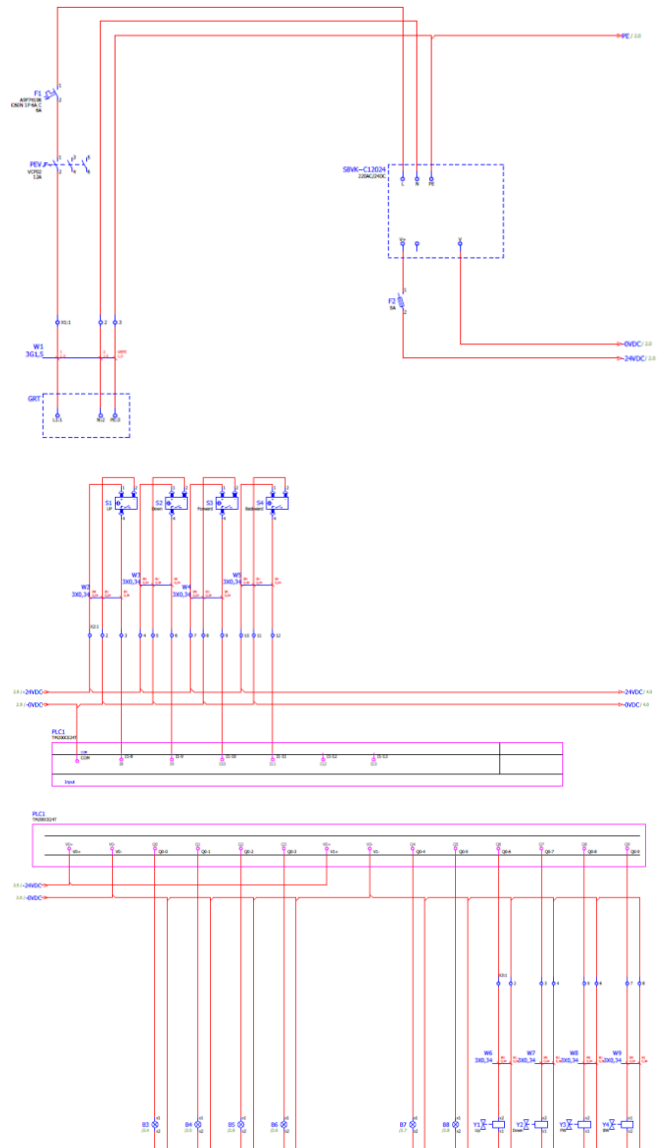
Входно напрежение:	Монофазно, 100 до 240 VAC, 50/60 Hz
Изходно напрежение:	24 VDC
Изходен ток:	2,5 A
Изходна мощност:	60 W
Промяна на изходното напрежение, %	От -10 до +15
Ефективност при 230 VAC вход, %:	88
Размери Ш x Д x В, mm :	32x110x90

За САМС е създадена електрическа схема на свързване на компонентите (фиг.6). Всички електрически компоненти заемат определени места в електрическата схема, за да се постигне нормално работещо и функционално решение.

С. Проектиране на пневматична система

За създаване на пневматичната система са използвани универсални пневматични разпределители и пневматични цилиндри:

- Пневматичен цилиндър с магнит DN 10-10-S (фиг. 7)



Фиг. 6. Част от електрическата схема на САМС



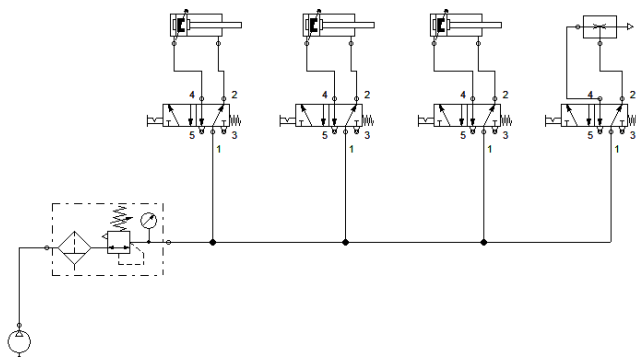
Фиг. 7. Пневматичен цилиндър с магнит DN 10-10-S [9]

- Пневматичен разпределител Разпределител 5/2, 1/8, 1 с бобина 24 [VDC] (фиг. 8)



Фиг. 8. Пневматичен разпределител 5/2 1/8,1 [9].

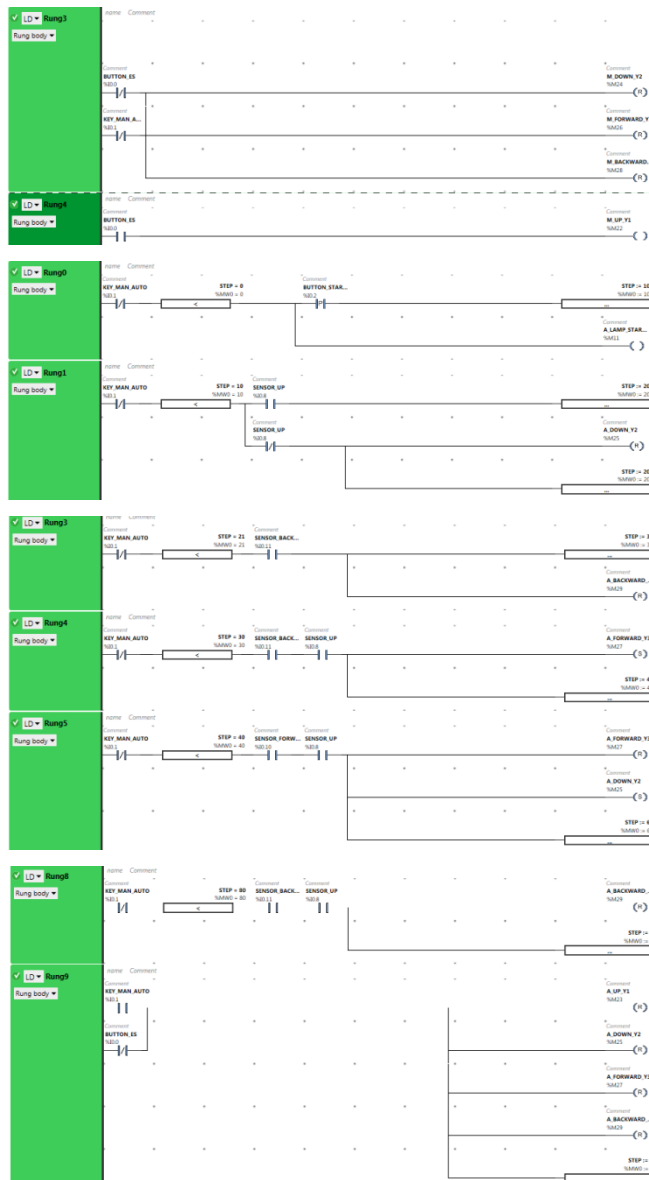
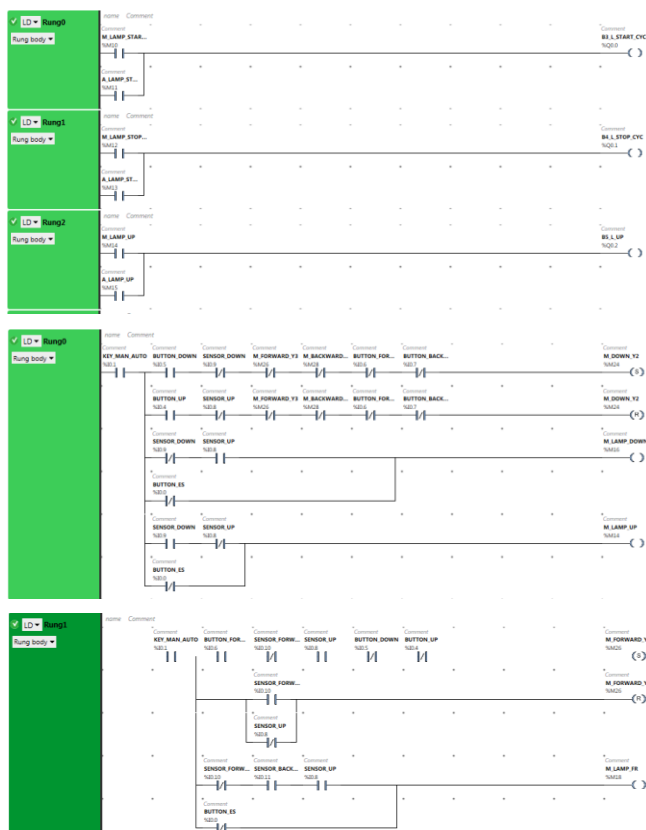
За САМС е създадена пневматична схема за свързване на компонентите (фиг.9). Всички пневматични компоненти заемат определени места в пневматичната схема, за да се постигне нормално работещо и функционално решение.



Фиг. 9. Част от пневматичната схема на САМС

III. СЪЗДАВАНЕ НА ПРОГРАМЕН КОД НА САМС ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ „КРИВАТА НА ГАУС“

Създаден е специализиран програмен код (фиг.10) за управление на всички изпълнителни устройства и комуникация със сензорите. Специфичната работа на кода, се изразява в изпълнението на стъпките от описания по-горе принцип на работа. Той изисква повтаряне на стъпки и действия, което налага синхронизиране на движения и криви.



Фиг. 10. Част от програмен код на САМС

IV. ИЗВОДИ:

В резултат на проектирането са постигнати следните резултати:

- Проектирана е електрическа система на САМС за изследване „кривата на Гаус“.
- Проектирана е пневматична система на САМС за изследване „кривата на Гаус“.
- Създаден е специализиран програмен код за автоматичен режим на работа на САМС за изследване „кривата на Гаус“.

БЛАГОДАРНОСТИ

Резултатите в настоящото изследване са получени по проект 231ПР0001-06/2023 г., финансиран от субсидията за научни изследвания в Технически Университет – София.

REFERENCES:

- [1] M. Kambushev, 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.
- [2] M. Kambushev, K. Kambushev, "Study of the reliability of neural networks used for approximating functions", XXIX MNTK "ADP - 2020", Sozopol, 29.06 - 02.07.2020, Magazine "Automation of discrete production", issue 2/ July 2020, ISSN: 2682-9584.
- [3] P. Tomov, Industrial Development in the Context of Global Changes in Technology and Automation, International Conference on High Technology for Sustainable Development, HiTech 2021, DOI 10.1109/HiTech53072.2021.9614213
- [4] P. Tomov, The innovative development base of automation in the industrial sphere, International Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth, CreBUS 2019March 2019, Article number 8840088
- [5] S. Biliderov, D. Colakov, Problems in synthesizing sequential logic devices with MATLAB-SIMULINK, UNS of the Aviation Faculty, D. Mitropolia, pp. 104-112, ISBN 978-954-713-109-5 , 2016.
- [6] S. Biliderov, K. Donchev, Development of a pellet burner control algorithm, TECHSYS 2016, Vol. 22, p. 49-54, Plovdiv, BULGARIA, ISSN 2367-8577, 2016.
- [7] <https://www.se.com/bg>
- [8] <https://rota.bg>
- [9] <https://www.festo.com>
- [10] <https://www.tomis.bg/bg/>

DESIGN OF ELECTRICAL CONTROL, PNEUMATIC SYSTEM AND PROGRAM CODE OF A SPECIALIZED MECHATRONIC SYSTEM FOR THE RESEARCH OF THE "GAUSS CURVE"

Slav Dimitrov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Reneta Dimitrova
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: rkd@tu-sofia.bg

Boyan Bahchevanov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: bab@tu-sofia.bg

Anna-Maria Lazarova
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: lazarova990@gmail.com

Ivan Mitcev
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: ivan240299@gmail.com

Stanislav Tcolov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: stanislav.tsolov90@gmail.com

Abstract: The aim of the current development is to design an electrical control, a pneumatic system and to develop a program code to study the "Gauss curve" of flat cylindrical parts. Design and programming will be done in specialized programming environments.

ПРОГРАМИРАНЕ НА „PICK-AND-PLACE“ УСТОЙСТВО ЗА ОТВЕЖДАНЕ НА СГЛОБЕНИ ЕДИНИЦИ ОТ АВТОМАТИЧНА ЛИНИЯ

Слав Димитров
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Димитър Василев
Технически Университет - София
МФ, АДП
София, България
e-mail: dvasilev@abv.bg

Резюме: Целта на настоящата разработка е да се програмира „Pick-and-place“ устройство за отвеждане на сглобени единици от автоматична линия. Програмирането ще се извърши в дигитална среда.

Ключови думи: проектиране, програмиране, автоматизация, мехатронна система.

I. Увод

Днес все повече предприятия инвестират в модерни средства за автоматизация, за да повишат ефективността и производителността си. Така роботите за „pick-and-place“ приложения се превръщат в популярно решение в редица съвременни производства [3, 4]. Те са проектирани за изпълнението на прости и повторяеми задачи, а това се оказва приложната сфера, в която индустриалните роботи носят най-много ползи на производителите. „Pick-and-place“ системите са предназначени за фиксиран монтаж на стабилна стойка и се позиционират така, че манипулаторът на робота да достига всички части на работната зона [8]. Основната им функция е да повдигат обекти от поточна линия или като част от програма за роботизирано обслужване на различни машини и да ги преместват на друго място, като за максимална прецизност използват системи за машинно зрение [2, 9].

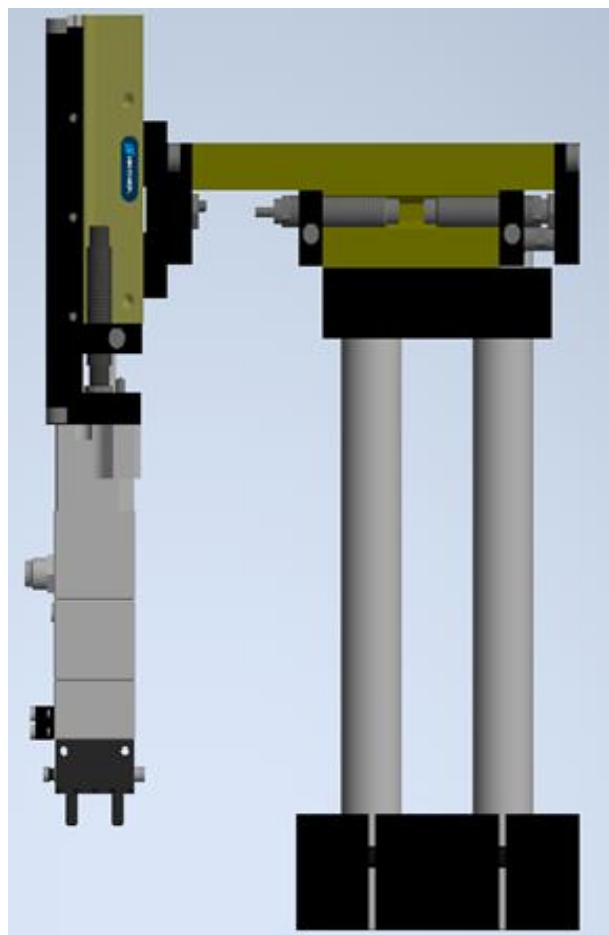
Обект на настоящата разработка е проектирано „pick-and-place“ устройство с пневматично задвижване, за отвеждане на сглобени единици от автоматична линия, показано на фиг.1, чрез следване на определена последователност [1]. Устройството е с проста функционалност и се състои от опорна система, два линейни модула за преместване с максимален ход 250 [mm], челюстен хващач и четири индуктивни сензора. Така проектираното „pick-and-place“ устройство, може да обслужва работна зона по оси X, Y и Z до 150 x 150 x 100 [mm] и има възможност за манипулиране на детайли и сглобени единици с габоритни размери до 100 x 100 x 80 [mm].

Основните елементи на така проектираното „pick-and-place“ устройство са избрани от каталога на фирма на „SCHUNK“ [11]. С избора на стандартни елементи, се намалява времето за ремонт и поддръжка. По този начин се повишава работоспособността и производителността на устройството [6, 7].

Избраните елементи, показани на фиг. 2 са:

- Опорна система модел SLH.
- Линейен модул по ос X модел LM 25 – H025.
- Линейен модул по ос Y модел CLM 25 – H025.
- Хващач модел EGP 25 NNB.
- Индуктивни сензори IN 40-S-M12 PNP.

II. ПРОГРАМИРАНЕ НА „PICK-AND-PLACE“ УСТОЙСТВО ЗА ОТВЕЖДАНЕ НА СГЛОБЕНИ ЕДИНИЦИ



Фиг. 1. „Pick-and-place“ устройство за отвеждане на сглобени единици



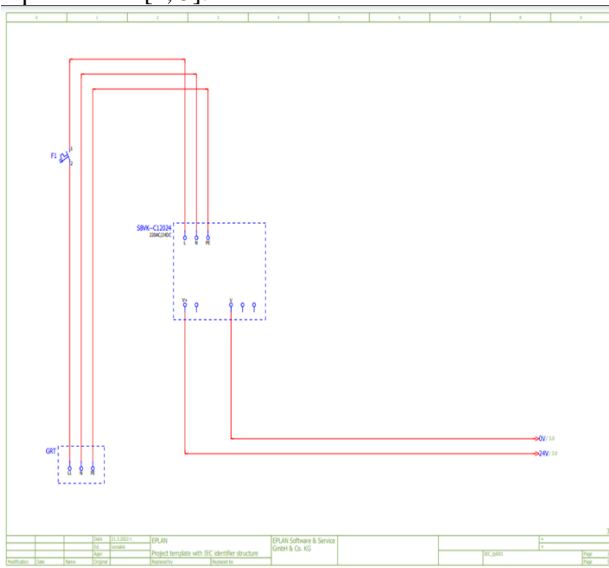
Фиг. 2. Основни елементи, избрани от каталога на „SCHUNK“ [10]

А. Принцип на работа на „pick-and-place“ устройството:

- Извършва се проверка дали работната зона е празна;
- „Pick-and-place“ устройството се придвижва в начална позиция на работната зона.
- Изчаква се наличие на детайл в зоната за отвеждане от АЛ.
- При наличие на детайл, устройството се придвижва до работната зона за хващане.
- Детайла се хваща от хващача и се вдига нагоре, за да се освободи зоната за отвеждане на сглобени единици на АЛ.
- Сглобената единица се премества до магазин събирател и „pick-and-place“ устройството отново заема начална позиция на работната зона.

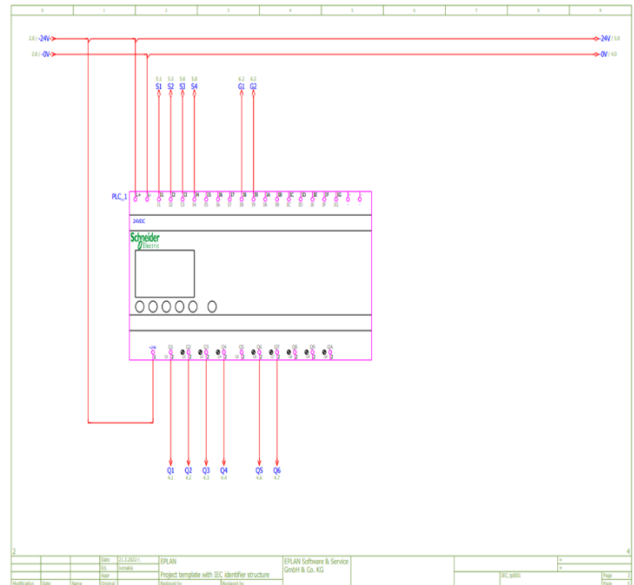
В. Електрически схеми

Използвани са контролер, компактен логически модул „Zelio Logic“ 26 ВХ/ИЗХ, 24 VDC, „SR3B261BD“ и индуктивни датчици. Контролера е интегриран в хващача, а логическият модул е свързан с двата линейни модула. Логическият модул подава сигнал за движение напред и назад. За него се използва софтуер, който е разработен специално от компанията на „Schneider electric“. На фиг.3 до фиг. 7 са показани схемите за свързване на различните елементи от „pick-and-place“ устройството [1, 5].



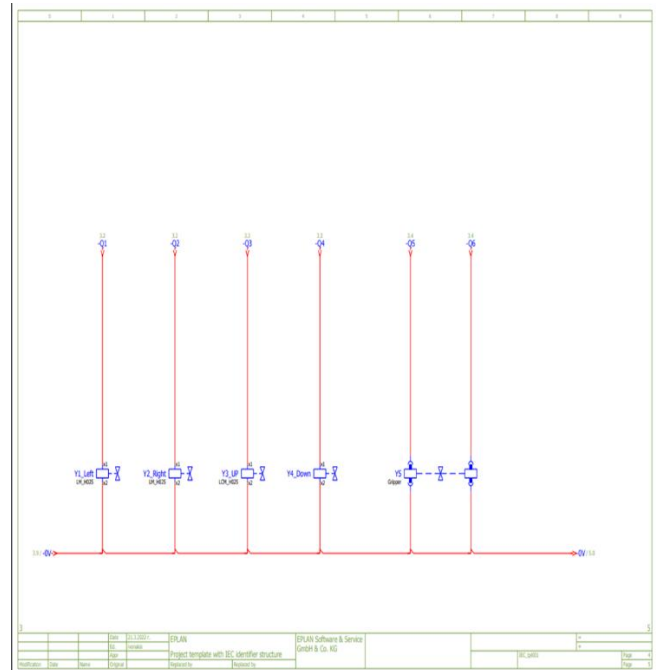
Фиг. 3. Схема на свързване на импулсно захранване

На фиг.3 е представена схема на свързване на импулсно захранване. То променя напрежението от 220 [V] на 24 [V], тъй като всички елементи в системата го изискват.



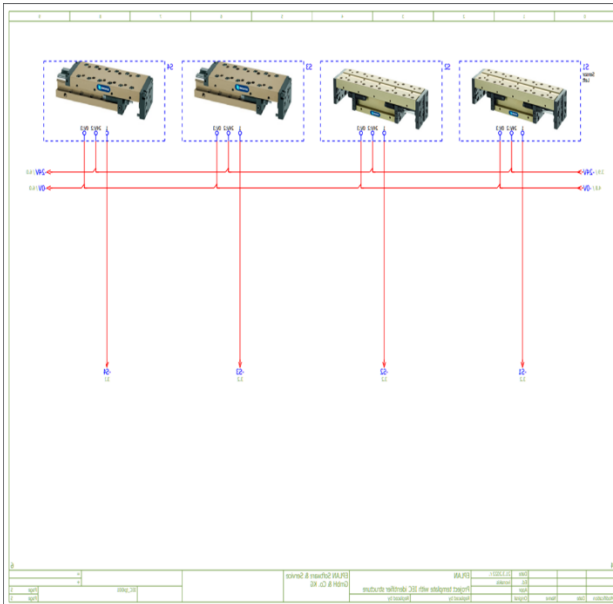
Фиг. 4. Схема на свързване на логически модул към захранване

Към логическият модул са свързани двата линейни модула, четири сензора и хващача. Те работят съгласно логиката, записана в логическия модул. Пневматичните разпределители задействат челюстите на хващача.

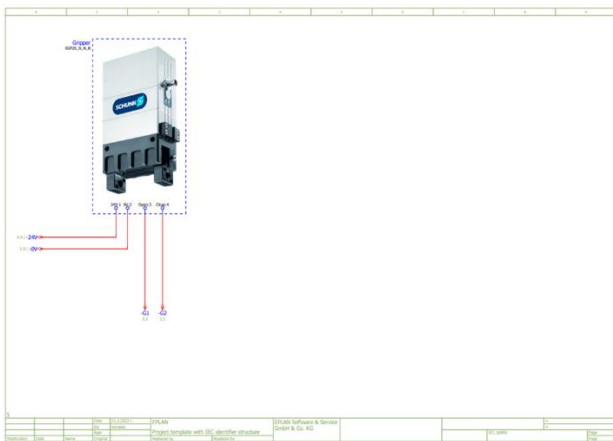


Фиг. 5. Схема на свързване на пневматични разпределители

На фиг.6 е показан начина на свързване на линейните модули към захранването. Също така, към тях се свързват и индуктивните сензори, които дават информация за положението им.



Фиг. 6. Схема на свързване на линейни модули



Фиг. 7. Схема на свързване на хващач

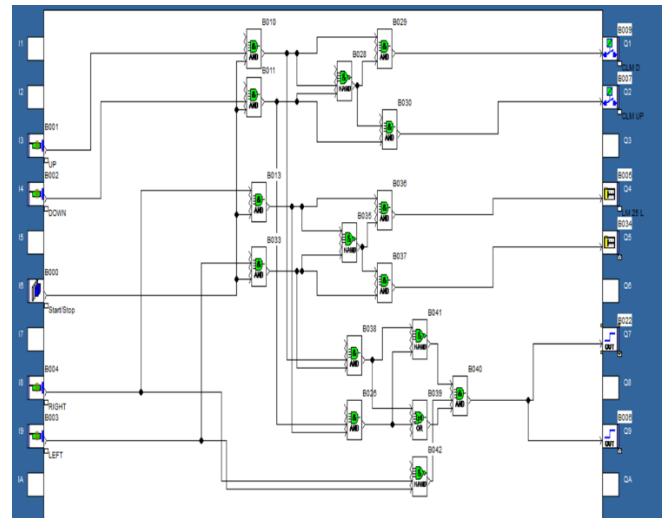
Хващача е свързан към захранването и към него допълнително се свързват два пневматични разпределителя, единият е за отваряне, а другият за затваряне. Те се контролират от предварително зададената логика в логическият модул.

С. Програмиране

Програмата за движение на „pick-and-place“ устройството е направена със софтуера „Zelio soft 2“ на „Schneider electric“. Той позволява програмиране с помощта на логически символи, чрез които да се създаде последователност, която „pick-and-place“ устройството да разбира и следва. Създадената логика е съобразена с параметрите, условията и задачите, които ще се изпълняват. Основната цел на тази логика е да се създаде последователност, която „pick-and-place“ устройството ще изпълнява. За да се създаде последователност, устройството се нуждае от сигнали, които да го ориентират в пространството.

Програмата се състои от логически оператори, входни и изходни сигнали.

Логическите елементи изпълняват основната цел в програмата. Според тяхната пропускливост на сигнали, се изгражда така нареченият „общ език“ между контролера и „pick-and-place“ устройството.



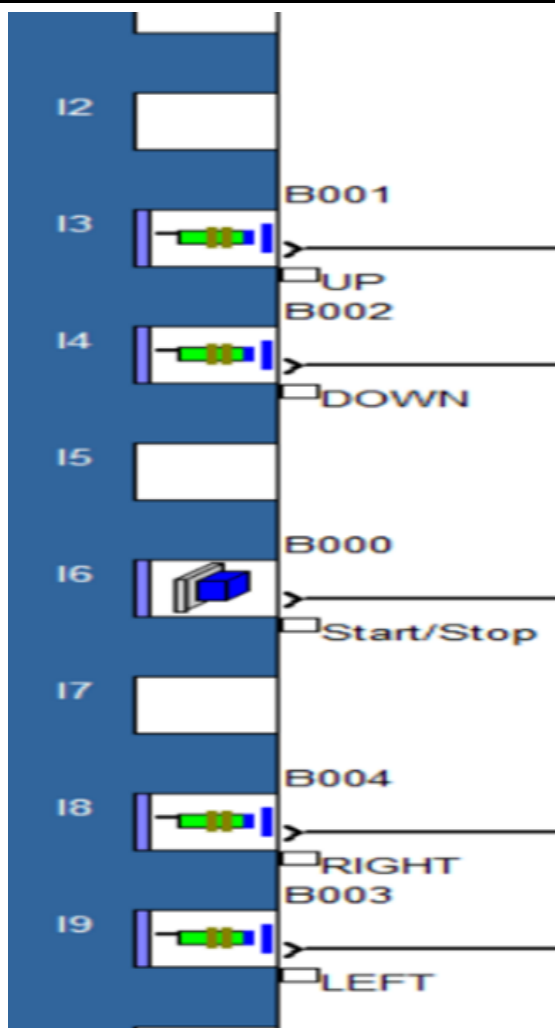
Фиг. 8. Програма на „pick-and-place“ устройството

Използвани са 3 вида логически елементи:

- „AND“ елементът, е най-използван в програмата (конюнкция). Този оператор се нуждае само от положителни сигнали на входа, т.е. всички сигнали да са 1, за да се получи на изхода отново 1. В противен случай на входа винаги ще се получава 0.
- При „OR“ (дизюнкция) операторът на входа, независимо от броят на сигналите, трябва поне един да е 1, тогава на изхода винаги ще се получава вярно (1).
- „NAND“ операторът изпълнява противоположна роля на „AND“. Той се нарича още отрицание на конюнкция. Тук ако всички сигнали на входа са положителни (1), на изхода се получава (0) или невярно.

На фиг.9 са представени входните сигнали, от които зависи крайния резултат на програмата. На входовете „I3“ и „I4“ са поставени индуктивните сензори за следене на крайно горно или крайно долно положение на модула за линейно движение. На позиция „I6“ се намира бутон за стартиране на цялата система. Към позиции „I8“ и „I9“ са свързани отново индуктивни сензори за следене на крайно ляво и крайно дясно положение.

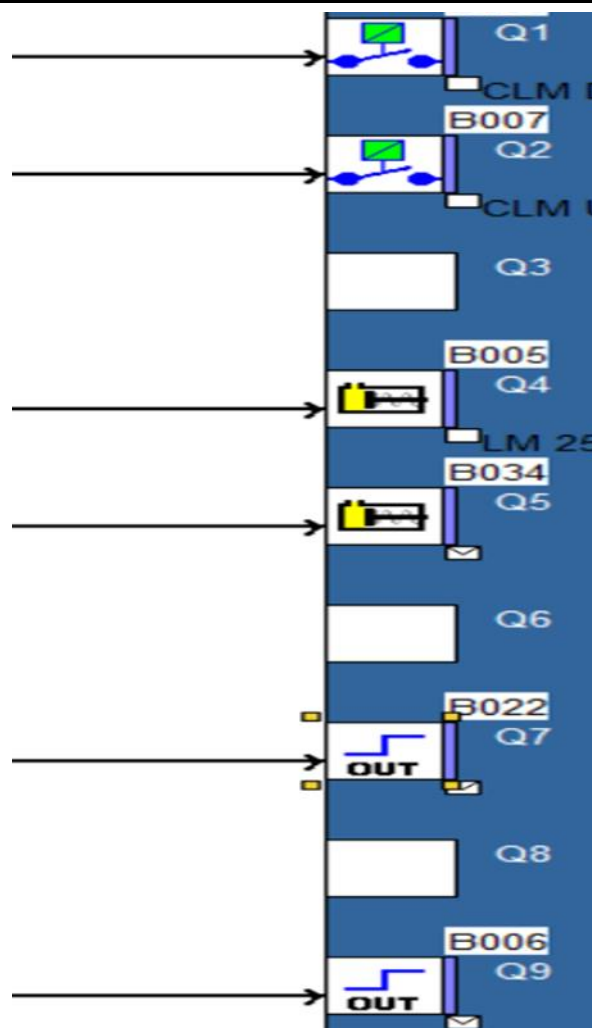
Основната функция, в програмата се изпълнява от логическите оператори. Те са ядрото на системата, която наподобява код. Самата логика е изградена от различни комбинации между логическите оператори. Една от комбинациите, които се използват е между „NAND“ И „AND“. Тази комбинация се използва като защита. Тя предпазва логиката от отказ и при задействането на всички входни сигнали, на изхода винаги ще има (0) невярно.



Фиг. 9. Входни сигнали на програмата

На фиг.10 са представени изходните сигнали, които се получават спрямо логиката. Към първите два изхода са свързани два контактора, които ще сменят посоката на движение на линеен модул „CLM“. В следващите 2 изхода са свързани пневматични разпределители, които при получаване сигнал, ще пускат въздух под налягане и буталата на цилиндъра на линеен модул „LM“ ще се задействат. По този начин „pick-and-place“ устройството ще се движи до следващата позиция. Към последните 2 изхода отново са свързани пневматични разпределители, за задействане на челюстите на хващача. Идеята тук е челюстите да са постоянно затворени и при получаване на сигнал да се отворят, докато сигналят прекъсне. Така след като сигналят спре, хващача ще извърши операция хващане, докато отново не получи сигнал за задействане пневматичните разпределители. След като получи отново сигнализиране и линейните модули са се задвижили спрямо логиката, той ще извърши операция освобождаване и детайлът ще бъде преместен от една позиция в друга.

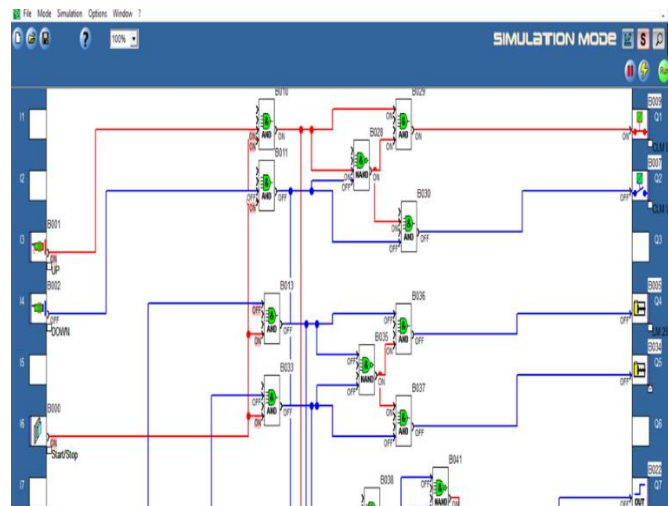
След като има бутон за стартиране, това означава, че от него идва главния сигнал. При стартиране се получава и задействане на „pick-and-place“ устройството.



Фиг. 10. Изходни сигнали на програмата

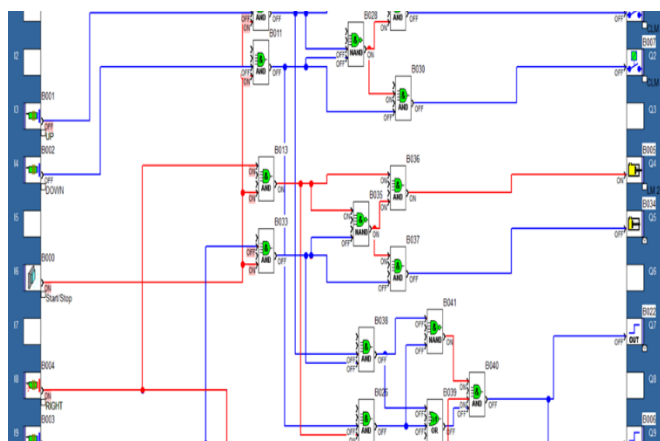
„Pick-and-place“ устройството винаги се намира в крайна позиция и един от сензорите винаги ще сигнализира при старт. Това означава, че ако е задействана програмата, един от сензорите за ляво или дясно, горно или долно положение ще сигнализира и съответния линеен модул за движаване ще се премести. При задействане на сензорите, спрямо логиката в програмата, на изхода се задейства сигнал за движение в противоположен на този, отговарящ на положението на сензорите. Така, след като е получен сигнал, че модула се намира в крайно долно положение, той ще бъде преместен към положение, което да задейства сензор за крайно горно положение.

Ако индукционния сензор, при линеен модул „CLM“ подаде сигнал, че модулет е достигнал крайно долно положение, ще се задейства един от контакторите, спрямо посоката, в която трябва да се премести. В този случай модулет, трябва да бъде преместен нагоре. При достигане на крайно горно положение, индуктивен сензор отново ще подаде сигнал и контактор номер 2 ще обърне посоката на движение. Тогава модулет ще се премести в посока надолу спрямо датчика.



Фиг. 11. Индуктивен сензор подава сигнал към контактор

Същата операция ще се получи и при линеен модул „LM“. Ако индуктивен сензор за крайно ляво положение подаде сигнал, пневматичен разпределител ще пусне налягане и буталния цилиндър ще придвижи модула надясно спрямо сензора за крайна лява точка. Така след определен момент сензора за крайно дясно положение ще бъде активиран и ще се получи желаният цикъл на работа.

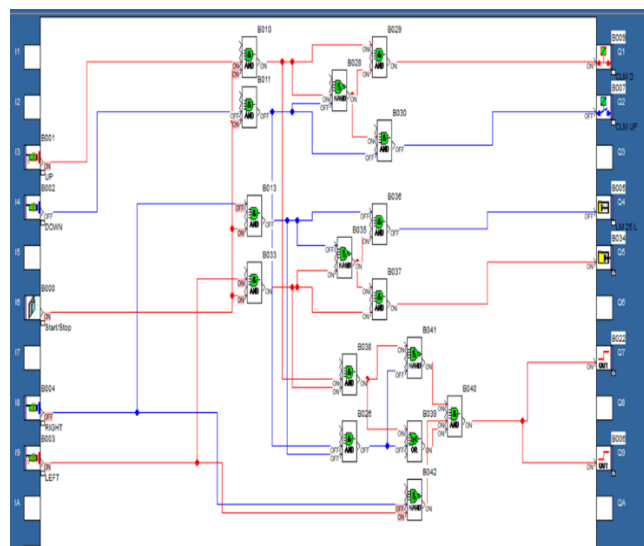


Фиг. 12. Задействане на цилиндър за преместване наляво

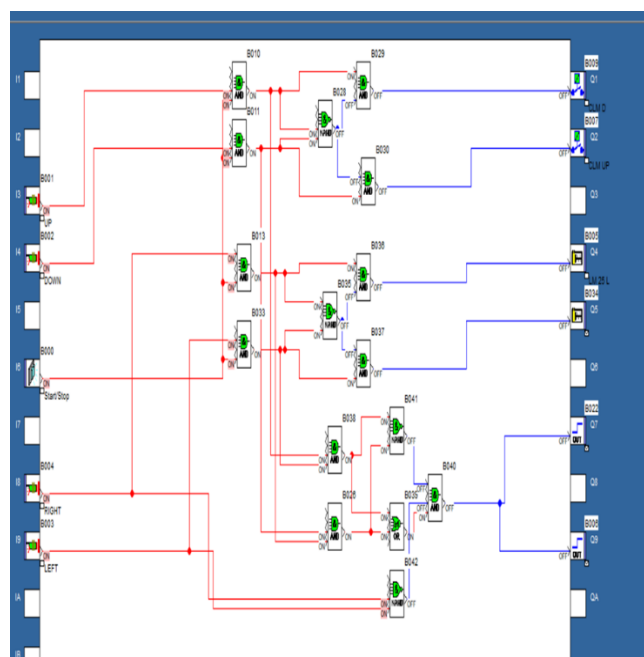
Когато входовете подават сигнали, че линеен модул „CLM“ се намира в крайно горно положение и линеен модул „LM“ се намира в крайна лява точка, тогава ще се задействат пневматичните разпределители в хващача и той ще извърши операция освобождаване за много кратък период. Същите действия ще се получат, когато комбинативно се задействат сензора за крайно долно положение на линеен модул „CLM“ и сензора за крайно дясно положение на линеен модул „LM“.

При технически проблем в „pick-and-place“ устройството или ако някой от сензорите спре да работи, логиката ще изключи всички изходи. Това означава, че сигнал до крайните изпълнителни звена няма да достига. Използваните защиты, изградени от комбинациите на логическите оператори, позволява да се изключват всички изходни сигнали, при задействането на повече от 1 сензор в отделните модули.

Ако при линеен модул се активира индуктивен сензор за достигане на крайна лява точка и след това той не се деактивира, при активирането на индуктивен сензор за достигане на крайна дясна точка, системата ще спре да работи. Това ще се случи и при линеен модул „LM“, ако се активират и двата сензора за достигане на двете крайни положения.



Фиг. 13. Извършване на процеса хващане



Фиг. 14. Режим защита при активиране на всички сензори

III. Изводи:

В резултат на програмирането са постигнати следните резултати:

- Разработени са електрическите схеми на свързване на отделните елементи на „pick-and-place“ устройството.
- Разработена е логическа програма за управление на „pick-and-place“ устройството.

- Дефинирани са входните и изходните сигнали в системата за управление на „pick-and-place“ устройството.

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.

REFERENCES:

- [1] M. Kambushev, K. Kambushev, “Study of the reliability of neural networks used for approximating functions”, XXIX MNTK "ADP - 2020", Sozopol, 29.06 - 02.07.2020, Magazine "Automation of discrete production", issue 2/ July 2020, ISSN: 2682-9584.
- [2] R. Dimitrova, M. Kambushev, S. Biliderov, “Method for design of special mechatronic devices and systems”, XXIX MHTK „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] R. Dimitrova, V. Pavlov, “Choice of stepper motors for robots with an open control scheme”, XXVIII MNTK "ADP - 2019", Sozopol, 29.06 - 02.07.2019, Magazine "Automation of discrete production", no. 1/July 2019, ISSN: 2682-9584, (128-133).
- [4] S. Dimitrov, Y. Stoyanov and D. Genchev, "Programming and management of an automated chess game complex", XXVIII MNTK "ADP - 2019", Sozopol, 29.06 - 02.07.2019, Magazine "Automation of discrete production", issue 1/July 2019, ISSN: 2682-9584, (194-200).
- [5] S. Dimitrov, "Programming and control of a volume dispenser", XXVIII MNTK "ADP - 2019", Sozopol, 29.06 - 02.07.2019, Magazine "Automation of discrete production", issue 1/July 2019, ISSN: 2682-9584, (280-285).
- [6] S. Nikolov, R. Dimitrova and L. Dimitrov, “Mathematical model of displacements in tools used in boring operations on machining centers”, 25th IEEE PAEP 2020, September 21-25, 2020, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, Scopus, (9240838).
- [7] S. Nikolov, 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] S. Tsolov, R. Dimitrova, S. Nikolov, “Comparative analysis of algorithms for designing robots with parallel kinematics”, XXXI MNTK "ADP - 2022", Sozopol, 29.06 - 02.07.2022, Magazine "Automation of discrete production”, issue 4/July 2022, ISSN: 2682-9584, (113-119).
- [9] V. Ivanov, A. Aleksandrov, M. Bdiwi, A. Popov, A. Rashid, Z. Pershina, A. Kolker, L. Dimitrov, ”Bin Picking Pneumatic-Mechanical Gripper for Industrial Manipulators”, International Conference on High Technology for Sustainable Development, “HiTech 2021”, 2021, Code 174997.
- [10] <https://www.engineering-review.bg/bg/pick-and-place-roboti/2/4225/>
- [11] Katalog „SCHUNK“

PROGRAMMING A PICK-AND-PLACE DEVICE TO TAKE ASSEMBLED UNITS FROM AN AUTOMATIC LINE

Slav Dimitrov
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Dimitar Vasilev
Technical University of Sofia
MF, ADP
Sofia, Bulgaria
e-mail: sbd@tu-sofia.bg

Abstract: The objective of the present development is to program a "Pick-and-place" device for removing assembled units from an automatic line. Programming will take place in a digital environment.

ОСНОВНИ ВИДОВЕ КОМУНИКАЦИИ И КОМУНИКАЦИОННИ ПРОТОКОЛИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ИНТЕГРАЦИЯ НА СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМИ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ И ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА КОНЦЕПЦИЯ „ИНДУСТРИЯ 4.0“

Димитър Тотев
Технически университет
София, България
e-mail: dkt@tu-sofia.bg

Резюме: В статията се разглеждат основните комуникации и комуникационни протоколи, както и техните характеристики и специфични особености, използвани при интеграция на съществуващи системи за управление на индустриални и производствени процеси към изискванията на концепцията „Индустрия 4.0“.

Ключови думи: комуникации, комуникационни протоколи, индустриални комуникации, индустриални комуникационни протоколи, системи за управление, автоматизация, управление, интеграция, индустриални процеси, производствени процеси, Индустрия 4.0, умно производство, кибер-физични системи.

I. Увод

В наши дни всеки един производствен или индустриален процес би бил немислим без системи за автоматизация и управление. Именно те гарантират високата ефективност и качество на процесите.

Непрекъснато повишаващите се изисквания, както и бурното развитие на технологиите в последните години, а също така промяната в социално-икономическите модели налагат търсене на нови концепции за развитие на производството и индустрията. Именно такава е и концепцията „Индустрия 4.0“ [2, 8, 9].

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 [1, 5].

Една от основните идеи на концепцията е създаването на така нареченото умно производство.

То е 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 [4, 6].



Фиг.1. Пример за киберфизична система [10]

Тъй като комуникацията и обмяната на информация е ключова за „Индустрия 4.0“, основен става и въпросът за начина, по който съществуващите системи за автоматизация и управление могат да бъдат интегрирани, така че да отговорят на изискванията на концепцията [3].

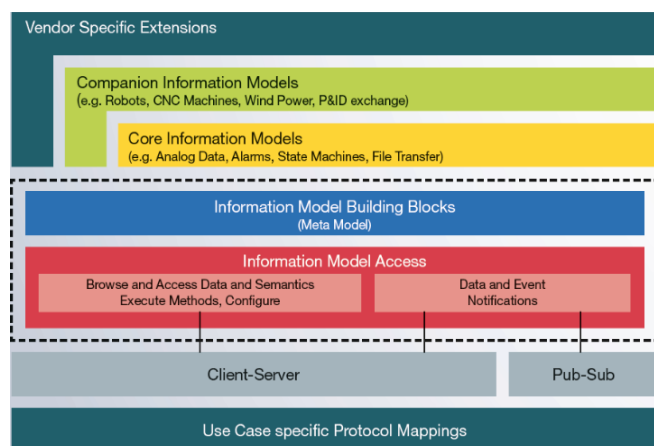
В настоящата статия са разгледани основните видове комуникация и комуникационни протоколи, чрез които подобен тип интеграция е възможна.

II. ОСНОВНИ ВИДОВЕ КОМУНИКАЦИИ И КОМУНИКАЦИОННИ ПРОТОКОЛИ, ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ИНТЕГРАЦИЯ НА СЪЩЕСТВУВАЩИ СИСТЕМИ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА КОНЦЕПЦИЯ „ИНДУСТРИЯ 4.0“

A. OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture)

OPC UA е комуникационен протокол, който е широко разпространен в индустриалната автоматизация и софтуера за индустриално приложение. Основни негови характеристики са:

- **Защитеност** – протоколът осигурява висока степен на защита посредством кодиране на информацията и различни механизми за верификация. Това осигурява надежна обмяна на информация през интернет и други видове мрежи.
- **Платформена независимост** – може да се използва при всякакви видове операционни системи и хардуерни платформи.
- **Възможност за надграждане** – може да работи с голям брой устройства и системи, както и различни типове данни.
- **Гъвкавост** – поддържа различни комуникационни модели като – point-to-point, multicast, publish/subscribe.
- **Структурирани данни** – може да се използва за предаване на различни видове структурирани данни.
- **Съвместимост** – осигурява лесна интеграция между различни видове системи и устройства като поддържа най-различни видове транспортни протоколи като TCP/IP, HTTP, HTTPS.



Фиг.2. Архитектурен модел на OPC UA [11, 12]

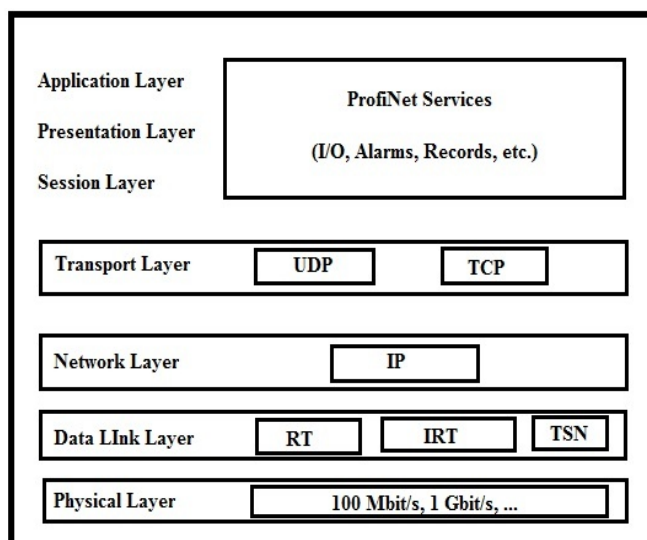
B. PROFINET (Process Field Net)

PROFINET е комуникационен протокол, който е се използва основно в индустрията. Основни негови характеристики са:

- **Комуникация в реално време** – това дава възможност протоколът да бъде използван в

приложения, където се изисква бърза и точна комуникация като например процесна автоматизация, управление на задвижвания и работи и т.н.

- **Ethernet комуникация** – протоколът е базиран на Ethernet, която е най-разпространената и използвана комуникационна технология в наши дни. Това позволява бърза и лесна интеграция в съществуващи мрежи и системи.
- **Ефективност** – PROFINET е високоефективна широколентова комуникация с нисък коефициент на забавяне, което я прави желана комуникация при системи и приложения с необходимост от бърз и гарантиран обмен на големи количества данни и информация.
- **Надеждност** – протоколът е проектиран да работи в тежки индустриални условия. Той поддържа резервиране и устойчивост на грешки, което го прави изключително надежден.



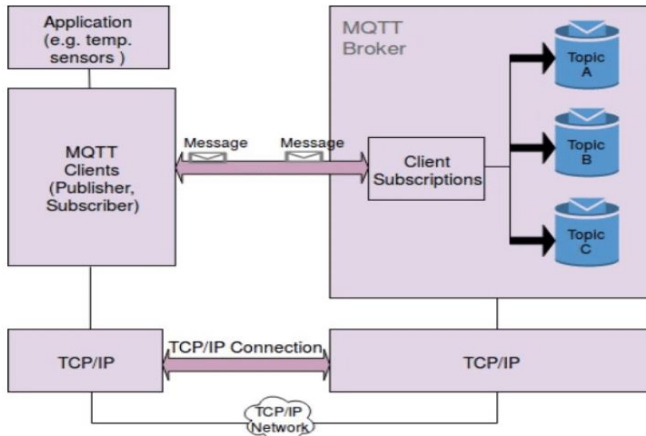
Фиг.3. Архитектурен модел на PROFINET [13, 14]

C. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT е комуникационен протокол, който се използва най-често в Internet of Things (IoT) приложения и системи. Основни негови характеристики са:

- **Publish/Subscribe модел** на комуникация – използването на този комуникационен механизъм, където дадено устройство публикува информация в брокерна система, към която други устройства могат да се абонира за получаването и е изключително ефективен при IoT системите, където са необходими прости и ефективни решения за обмяна на данни между различните устройства и системи.
- **Ефективна големина за обмен на информация** – това дава възможност MQTT да бъде използван при мрежи с малка комуникационна лента, което го прави изключително приложим за комуникация с отдалечени устройства и системи.

- Надеждност – Притежава няколко различни нива на QoS (Quality of Service), което гарантира сигурно предаване на данни между устройствата дори и при ненадеждни мрежови условия.
- Сигурност – протоколът притежава различни механизми за криптиране и верификация при комуникация между различните устройства и брокерната система.

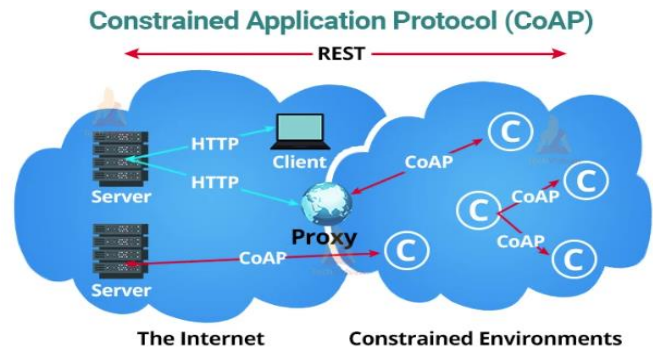


Фиг.4. Архитектурен модел на MQTT [15, 16]

D. CoAP (Constrained Application Protocol)

CoAP е комуникационен протокол, предназначен за обмен на информация в органични мрежи като тези използвани в Internet of Things (IoT) и Industrial Internet of Things (IIoT) системите. Основни негови характеристики са:

- Простота – CoAP е проектиран да бъде и лек комуникационен протокол, който използва компактен формат на разменяните съобщения, с което се минимизира натоварването на мрежата и консумацията на енергия при пренос на данни.
- Скалируемост – протоколът поддържа едновременно както едноадресно, така и мултиадресно съобщение, което позволява използването му както в малки, така и в големи комуникационни мрежи.
- REST архитектура – базиран на REST технологията, протоколът е лесен за интеграция в съществуващи уеб услуги и приложения.
- Платформена независимост – поддръжката на множество комуникационни стандарти като UDP, SMS и IEEE 802.15.4 (Zigbee) предоставя възможност за работа с голямо разнообразие от мрежи и устройства.
- Защитеност – CoAP поддържа набор от защитни механизми като Datagram Transport Layer Security (DTLS) и OSCORE (Object Security for Constrained RESTful Environments)
- Асинхронност – протоколът поддържа както потвърждаеми, така и непотвърждаеми съобщения, което позволява асинхронен обмен на информация между устройствата.

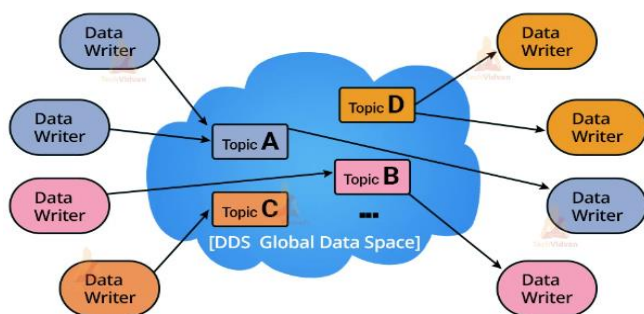


Фиг.5. Архитектурен модел на CoAP [7, 17]

E. DDS (Data Distribution Service)

DDS е комуникационен протокол, който се използва предимно при разпределени системи, които обменят информация в реално време. Основни негови характеристики са:

- Publish/Subscribe модел на комуникация – това позволява асинхронна комуникация между разпределените устройства. При този модел дадено устройство публикува информация, която се получава при поискване от устройствата абониран за нея.
- Надеждност – протоколът поддържа няколко различни нива на QoS (Quality of Service), които позволяват различни настройки на надеждността, наличността и навременността на обмен на данни и информация. Всяка една от тези настройки може да бъде конфигурирана за всяка една тема или абонат, което позволява прецизиране на начина на защита при обмен на различен тип информация.
- Динамично откриване – DDS поддържа динамичен механизъм на откриване, което позволява устройствата да се откриват едно друго при необходимост за обмяна на информация [18]. Това позволява различните компоненти на системата да се присъединяват и напускат системата в зависимост от нуждата за комуникация, без да е необходима ръчна конфигурация на всеки един от тях.
- Data-centric модел на комуникация – този модел е фокусиран върху данните, които се разменят между устройствата, вместо върху приложенията и интерфейсите, което го прави изключително подходящ при сложни системи, които обменят интензивно голям и различен обем от информация.
- Скалируемост – протоколът е проектиран така, че да бъде еднакво ефективен при малки и при големи системи от устройства.
- Производителност – за да се минимизира мрежовото натоварване и за да се максимизира производителността, протоколът използва различни механизми за сериализация на предаването на данни и информация.
- Защитеност – DDS поддържа няколко различни метода за криптиране и верификация.

Data Distribution Service


Фиг.6. Архитектурен модел на DDS [18]

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Възможността за разнопосочен обмен на данни и информация с различен интензитет и обем между различните устройства е от ключово значение за модела на кибефизичните системи, които са в основата на концепцията „Индустрия 4.0“ и идеята за умно производство. В световен мащаб над 70% от всички индустриални и производствени процеси са автоматизирани със системи за управление, притежаващи класически модел на организация, при който предаването на данни и информация се осъществява двупосочно между различните нива, без възможност за директна комуникация между различните устройства и елементи на системата. За да се интегрират съществуващите системи към индустрията на концепцията „Индустрия 4.0“ е необходимо обмена на информация в тях да бъде реорганизиран по начин, който гарантира независима комуникация между всеки един елемент от системата.

Разнородността на различните устройства и елементи на системите, както и различните нужди за начин и обем на предаваната информация, обуславят използването на различни методи за комуникация и комуникационни техники и протоколи. Изборът на всеки един от тях е строго специфичен спрямо конкретните нужди и приложение.

БЛАГОДАРНОСТИ

Резултатите в настоящото изследване са получени по проект 23 ПД0002-06/2023 г., финансиран от субсидията за научни изследвания в Технически Университет – София.

MAIN TYPES OF COMMUNICATIONS AND COMMUNICATION PROTOCOLS USED IN INTEGRATION OF EXISTING SYSTEMS FOR AUTOMATION AND CONTROL OF INDUSTRIAL AND MANUFACTURING PROCESSES TO THE REQUIREMENTS OF CONCEPT “INDUSTRY 4.0”

Dimitar Totev
 Technical University
 Sofia, Bulgaria
 e-mail: dkt@tu-sofia.bg

REFERENCES:

- [1] B.R. Mehta, Y. Jaganmohan Reddy. Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation. Elsevier Science, 2014
- [2] B. Bahchevanov, R. Dimitrova, S. Nikolov, Criteria for evaluating the state of automated systems for the production of medicinal forms, XXIX MNTK "ADP - 2020", Sozopol, 29.06 - 02.07.2020, Magazine "Automation of the discrete production", issue 2/July 2020, ISSN: 2682-9584, (18-21).
- [3] C. Koh, M. Deng. Smart Factory: Transforming Manufacturing for Industry 4.0. ISBN139798583886425, 2020
- [4] D. Totev, "Main problems in the integration of existing systems for automation and management of industrial and production processes to the requirements of the concept "Industry 4.0", XXXI MNTK "ADP - 2022", Sozopol, 29.06 - 02.07.2022 ., "Automation of discrete production" magazine, issue 4/July 2022, ISSN: 2682-9584, (124-128).
- [5] P. Tomov, Industrial Development in the Context of Global Changes in Technology and Automation, International Conference on High Technology for Sustainable Development, HiTech 2021 – Proceedings, pp. , DOI 10.1109/HiTech53072.2021.9614213
- [6] P. Tomov, The innovative development base of automation in the industrial sphere, International Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth, CreBUS 2019 March 2019, Article number 8840088
- [7] P. Tomov, D. Rachev, Automatic module for work in autonomous mode as an element of a cyber production system, Scientific notices of the NTS on Mechanical Engineering, International Scientific and Technical Conference "ADP 2018", Year XXVI, no. 3/224, Sozopol, June 2018 ISSN - 1310 -3946 (164-168)
- [8] R. Dimitrova, M. Kambushev, S. Biliderov, Method for design of special mechatronic devices and systems, XXIX MNTK "ADP - 2020", Sozopol, 29.06 - 02.07.2020, Magazine "Automation of discrete production", Issue 2/July 2020, ISSN: 2682-9584, (14-17).
- [9] S. Nikolov; R. Dimitrova; S. Dimitrov, Using of 3D Printing Technologies in the Manufacture of Mechatronic Products, 13th National Conference with International Participation ELECTRONICA 2022, IEEE, DOI: 10.1109/ELECTRONICA55578.2022.9874404, Electronic ISBN:978-1-6654-8100-7, CD:978-1-6654-8099-4, Print on Demand (PoD) ISBN:978-1-6654-8101-4.
- [10] <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- [11] <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>
- [12] <https://opcfoundation.org/developer-tools/documents/view/160>
- [13] <https://www.profibus.com/technology/profinet/>
- [14] <https://www.elprocus.com/profinet/>
- [15] <https://mqtt.org/getting-started/>
- [16] https://www.researchgate.net/figure/MQTT-Architecture-2-Broker-Broker-controls-the-distribution-of-information-and-mainly_fig1_316018571
- [17] <https://techvidvan.com/tutorials/iot-protocols/>
- [18] <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7252>

Abstract: This article reviews the main communications and communication protocols, as well as their characteristics and specific features, used in the integration of existing industrial and production process management systems to the requirements of "Industry 4.0" concept.

THERMAL AND ELECTRICAL MODES OF OPERATION OF AN INDUSTRIAL ELECTRIC CONVECTOR HEATER WITH A CARBON FILAMENT RESISTIVE ELEMENT

Katsiaryna Chernyakova
State Research Institute Center for
Physical Sciences and Technology
Vilnius, Lithuania
ORCID: 0000-0002-6616-4353

Nikita Lushpa
Belarussian State University of
Informatics and Radioelectronics
Minsk, Belarus
ORCID: 0000-0002-8224-1697

Igor Vrublevsky
Belarussian State University of
Informatics and Radioelectronics
Minsk, Belarus
ORCID: 0000-0002-6796-8994

Mikhail Bunevich
Belarussian State University of
Informatics and Radioelectronics
Minsk, Belarus
e-mail: bunevich@bsuir.by

Abstract: In this paper we investigated the thermal and electrical modes of operation of an industrial type electric convector heater with a heating element in the form of a carbon fiber filament. The results obtained using the pattern of temperature distribution indicated a good thermal contact between the heating element and the inner surface of the electric convector heater, which provided an effective removal of the generated heat and the optimal temperature modes of the heating element.

Keywords: electric convector heater, thermal mode, temperature distribution, resistive element, carbon fiber.

I. INTRODUCTION

Saving of electric energy in the systems of industrial heating and electric heating is one of the priority tasks to ensure energy saving. The main element of any heating device is a heater [1]. Therefore, increase of efficiency of such systems can be achieved by development and introduction of new energy saving electric heating elements meeting the strictest ecological and fire requirements [2, 3]. At the same time they should provide high reliability in operation, economical efficiency and stability of electro-physical parameters. A wide range of applications in heating devices have found flat resistive heaters [4, 5]. They are used to create the required microclimate in the premises, to maintain temperature parameters in various technological processes, in agriculture and in various industrial devices. Flat electric heaters can be made of any geometric shape. Such resistive heating elements have advantages due to high efficiency, the small thickness of the heater, high fire resistance and electrical safety, long operating life and high specific power.

Currently, one of the promising directions for flat electric heaters is the use of carbon fiber filament as a resistive element [6, 7]. Such properties as mechanical, electrical and thermophysical are usually described in the literature for carbon fiber [8]. At the same time, the behavior of electrical characteristics of carbon fiber under the action of high current loads and temperatures is poorly studied.

The aim of the work was to study the electrical characteristics and thermal modes of operation of electric

convectors heater with the developed flat heating element made of carbon fiber.

II. MATERIALS AND METHODS

The developed flat carbon fiber-based heating element with a nominal electrical resistance of 50.63 Ohm had dimensions of 560x460 mm. As a resistive element, carbon filament of URAL H-205/22 brand with specific electrical resistance of 267 Ohm m-l was used. This type of carbon thread was produced by special technology on the basis of viscose technical thread and was characterized by the following parameters: carbon content – 99,9%, nominal linear density – 205 tex, number of filaments – 6000, number of twists – 80–100 cr/m.

The design of the flat heating element contained a separate section of the resistive element representing two spatially separated copper bars, between which the required number of pieces of carbon filament was placed. They were connected to the copper bars by soldering on the sections with copper metallized ends of the carbon filament. Wire leads were also connected to the copper busbars. To make dielectric insulation, the entire structure was filled on both sides with heat-resistant silicone. After the silicone mass polymerization, a flat heating element with two wire current leads for the supply of electrical power of given geometric dimensions was obtained. The flat heating element was placed in the middle of the standard aluminum housing of the electric convector heater.

The industrial electric convector heater MISOT-E EVUT-1,0/220-203 was chosen for the object of the research. It is characterized by the following main parameters: nominal voltage 220–230 V, current mode – AC, 50 Hz, electrical safety class I, degree of protection of the shell IP30, maximum surface temperature – 85 °C, the nominal power consumption (model 003) – 1.0 kW, dimensions 110x615x250 mm, weight – 6.5 kg. This type of electric convector is designed for heating residential and industrial premises.

Seek Thermal Shot (KIT FB01019) was used in the experiments for non-contact temperature measurement and obtaining thermograms.

The size of the thermal sensor – 206x156 pixels, matrix resolution – 640x480 pixels, temperature sensitivity <70 mK, wavelength – 7.2–13.0 microns, temperature measurement range -40 – +330 °C. Temperature control and measurement was additionally carried out with a TXA thermocouple, which was placed on the body of the electric convector heater. Timer, ammeter and voltmeter were also used for measurements.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this work we studied the dynamics of resistive heating of industrial type «MISOT-E» electric convector heater using a carbon fiber heating element (Fig. 1).

Heating of the convector's working surface resulted in continuous air circulation. Cold air coming in due to natural convention, on contact with the surface of the convector channels was heated and went up the channel. In turn, its place was taken by the next portion of cold air. In this sequence, the heating cycle in the convector heater was repeated all the time, causing heating of the air in the room. Fig. 2 shows the results of measurements of temperature parameters of the electric convector heater, starting from the moment of its switching on. Fig. 3 shows the change in power of a carbon fiber resistive heating element as a function of heating time.

The obtained time curve of the heating temperature of the electric convector heater with the power consumption of 947 W shows that the time of reaching the steady state operation is about 10 minutes (temperature of about 55 °C), and the maximum surface temperature of the electric convector heater during 30 minutes of heating reached 68 °C.

At the initial moment of switching on, the power consumption of electric convector heater was 910 W (voltage 230 V). However, due to the change of resistance of the carbon fiber as a result of heating, the electrical power of the electric convector heater increased to the value of 939 W. This increase did not exceed 4% of the initial value of electric power.

The temperature operation of the built-in electric heating element in steady-state modes is important for evaluating the efficiency of the electric convector heater. Therefore, in this work, thermograms in the area of the heating element were taken with the help of thermal imaging camera.

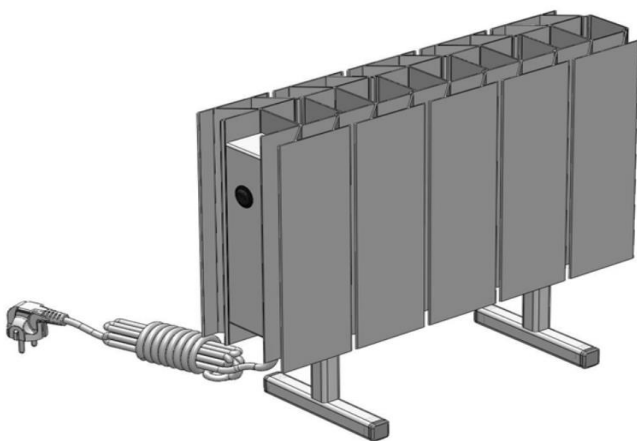
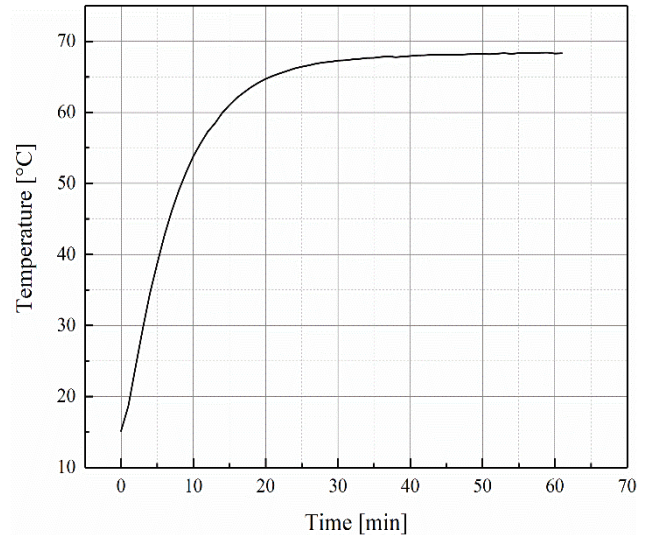
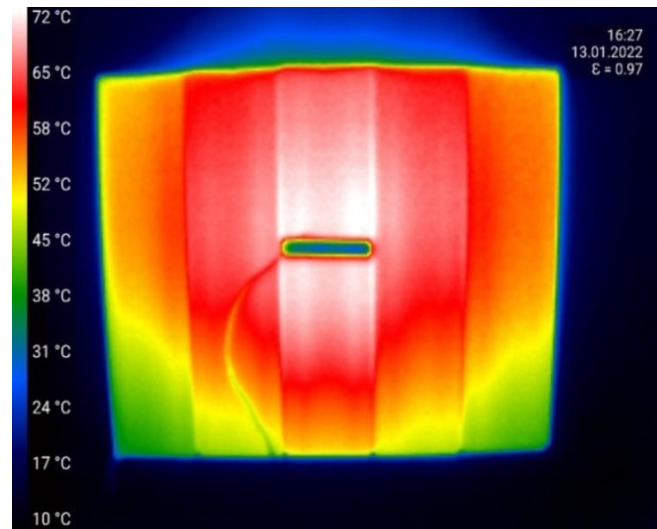


Fig. 1. Exterior view of the "MISOT-E" electric convector heater



a



b

Fig. 2. Heating dynamics of an industrial electric convector heater with a carbon fiber resistive element: a – dynamics of electric convector heating with an electric capacity of 947.0 kW, voltage 230 V; b – thermogram of the electric convector surface for steady state operation (30 min)

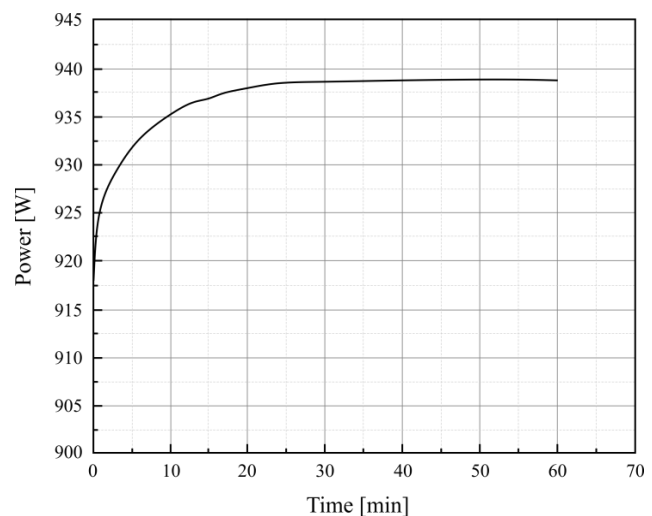
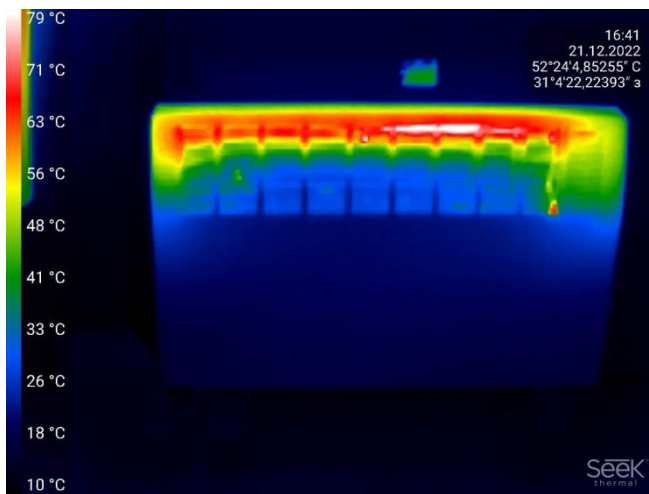
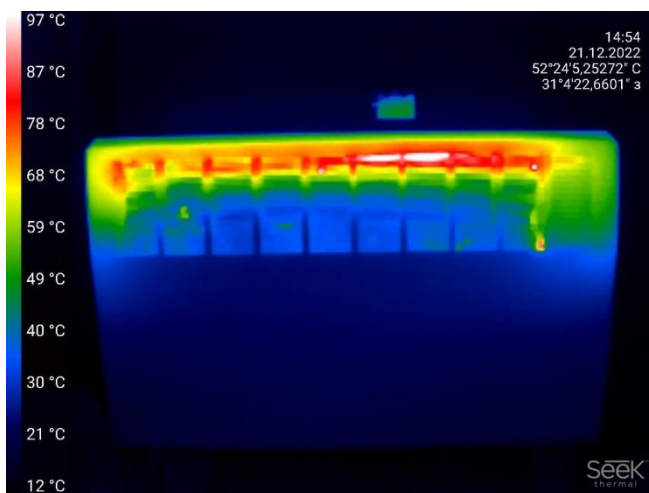


Fig. 3. Variation of power consumption of an electric convector heater with a carbon fiber resistive element as a function of heating time

Fig. 4 shows thermograms of the heater element area for different power inputs.



a



b

Fig. 4. Thermograms of the electric convector heater in heating element area: a – heater power - 587 W, heater temperature ~ 200°C; b – heater power - 393 W, heater temperature ~ 151°C

As can be seen from the thermograms, the temperature distribution along the location of the heating element is characterized by high uniformity. At the same time for the direction across the location of the heating element it is possible to see the borders of sharp temperature drops, caused by the presence of different thermal resistance for individual elements of the electric convector heater structure. For the set heater power of 587 W, the temperature difference between the outer surface of the electric convector heater and the heating element does not exceed 47 °C. For the set power of 393 W, the temperature difference was not more than 33 °C. The temperature of the heater element inside the electric convector heater was measured with a thermocouple.

The measurement data showed that increasing the heater power by 194 W (from 393 W to 587 W) resulted in an increase in temperature of only 50 °C (from 151 to 200 °C).

IV. CONCLUSIONS

The results showed that for an electric convector heater with a power consumption of 947 W, the time to reach steady-state operation was about 10 minutes (temperature ~ 55 °C), and the maximum surface temperature of the electric convector heater for 30 minutes of heating reached 68 °C.

From these thermograms we can conclude about the high uniformity of temperature distribution along the location of the heating element. For the set heater power of 587 W, the temperature difference between the outer surface of the electric convector and the heating element did not exceed 47 °C. For the set power of 393 W, the temperature difference was not more than 33 °C.

The results obtained by the nature of temperature distribution indicated a good thermal contact between the heating element and the inner surface of the electric convector heater, which provided an effective removal of the generated heat and optimal temperature conditions of the heating element.

GRATITUDE

This work was supported by grant No. B22KI-044 from the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research.

REFERENCES

- [1] R. Bohn, M. Bange and J. Foreman, "The Basics of Electric Process Heating," Proc. Of IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference, № PCIC-94-14, pp. 121–128, 1994.
- [2] D. Feng, N. Liu, X. Chang, P. Wang, C. Ruan and Hong Zhang, "The Application of Electric Heater in Heavy Oil Desanding Of Offshore Platform", 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, Wuhan, pp.1768–1770, 2011.
- [3] Z. Ma et al., "High-Performance and Rapid-Response Electrical Heaters Based on Ultraflexible, Heat-Resistant, and Mechanically Strong Aramid Nanofiber/Ag Nanowire Nanocomposite Papers", ACS Nano, vol. 13, № 7, pp. 7578–7590, 2019.
- [4] D. Lee and D. Choi, "Highly thermostable ultrathin planar Ag transparent heaters," Microelectronic Engineering, vol. 251, pp. 111658, 2022.
- [5] E.N. Muratova, V.A. Moshnikov, K.V. Chernyakova, I.A. Vrublevsky, "Investigation of the thermal parameters of an aluminum heater with nanoporous alumina", Modern Electronic Materials, vol. 6, № 3, pp. 91–94, 2020.
- [6] B. Yang, X. Ding, M. Zhang, L. Wang, "Scalable electric heating paper based on CNT/Aramid fiber with superior mechanical and electric heating properties", Composites Part B: Engineering, vol. 224, pp. 109242, 2021.
- [7] I.A. Vrublevsky, K.V. Chernyakova, V.H. Videkov, A.K. Tuchkovsky, "Improvement of the thermal characteristics of the electric heater in the architecture with aluminum, nanoporous alumina and resistive component of carbon fiber", Nanoscience & Nanotechnology, vol. 16, № 1, pp. 1–2, 2016.
- [8] J. Yang et al., "Flexible Ag-Coated Carbon Nanofibers/Bacterial Cellulose Films for Electromagnetic Interface Shielding and Multifunctional Thermal Applications", ACS Applied Nano Materials, vol. 6, № 2, pp. 1203–1211, 2023.

EMOTIONAL & MENTAL HEALTH IN ACADEMIC PERFORMANCE

Elena Antonova
 Technical University - Sofia
 Sofia, Bulgaria
 e-mail: elantonova@tu-sofia.bg

Daniela Minkovska
 Technical University - Sofia
 Sofia, Bulgaria
 e-mail: daniela@tu-sofia.bg

Ognyan Nakov
 Technical University - Sofia
 Sofia, Bulgaria
 e-mail: nakov@tu-sofia.bg

Abstract: The article discusses the relationship between emotional and mental health and academic performance in higher education. Emotional and mental health problems can negatively impact a student's academic performance, leading to difficulties with concentration, memory, and problem-solving skills, resulting in poor academic performance. The article identifies common issues such as high levels of stress, social anxiety, perfectionism, adjusting to college life, and lack of sleep or poor-quality sleep that can impact academic performance. The article also suggests solutions that institutions of higher education can implement to improve emotional and mental health among students. These solutions include providing mental health services, promoting self-care, creating a supportive environment, and educating students about emotional and mental health. The article concludes that poor emotional and mental health can have a significant impact on academic performance and suggests seeking professional help and support from peers and faculty that can be crucial for managing these issues and improving academic achievement.

Key words: education, mental health, emotional well-being.

I. INTRODUCTION

The primary goal of educational institutions has always been to achieve academic excellence. Nowadays, however, the topic of the emotional and mental state of people in the stage of their education is increasingly considered. This is because emotional and mental health are essential aspects of the overall well-being of students in higher education. This is due to the fact that they directly contribute to their progress, ability to learn (especially to absorb a significant amount of new information), and that they serve as conditions for the overall attitude towards their further development in life. Research has shown that students who experience emotional and mental health problems are more likely to struggle academically. The present study examines the most important factors and arguments for a direct relationship between emotional and mental health and academic performance in higher education. It also examines potential solutions to improve emotional and mental health among students.

II. PROBLEM STATEMENT

A. Emotional and Mental Health in Academic Performance

Emotional and mental health problems can have a significant impact on a student's academic performance. Studies have shown that students with emotional and mental health issues are more likely to experience difficulties with concentration, memory, and problem-solving skills [1]. These

difficulties can affect a student's ability to learn and retain information, leading to poor academic performance.

In addition, students with emotional and mental health problems are more likely to miss classes and assignments, which can result in lower grades and reduced academic success [2][23], as seen in Fig. 1. Anxiety, depression, and other emotional and mental health issues can also interfere with a student's motivation and ability to complete academic tasks, leading to feelings of hopelessness and failure.

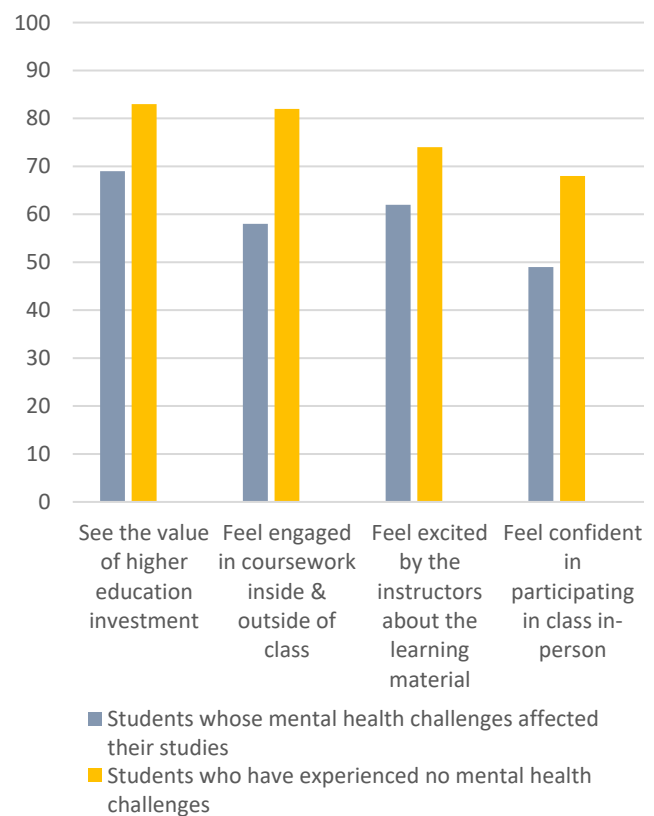


Fig. 1. Comparison between students with & without mental health challenges related to academic performance (%) [23]

B. Common Issues

- High levels of stress can negatively impact academic performance by causing symptoms such as difficulty concentrating, memory problems, and fatigue. In addition, stress can lead to avoidance behaviors, such as procrastination, that can lead to poor time

management and missed deadlines. Research has shown that chronic stress is associated with lower grades and decreased academic achievement [3].

- Social anxiety can affect academic performance by causing excessive fear and self-consciousness in social situations [4]. This can make it difficult to participate in class discussions, form relationships with peers, and engage in other academic activities. Students with social anxiety may also experience a fear of negative evaluation, which can lead to avoidance behaviors, such as not attending class or not turning in assignments.
- While striving for excellence can be positive, perfectionism can lead to excessive self-criticism, procrastination, and anxiety that can interfere with academic performance [5]. Students with perfectionism may spend excessive time on assignments or be reluctant to seek help, which can lead to missed deadlines and decreased academic achievement.
- Adjusting to college life can be challenging, and students who struggle with this adjustment may experience emotional and behavioral symptoms that can interfere with academic performance [6]. These symptoms can include anxiety, depression, homesickness, and difficulty concentrating. Research has shown that students who experience adjustment difficulties are at higher risk for academic failure and dropout.
- Lack of sleep or poor-quality sleep can affect memory, attention, and concentration, which are critical for academic success [7]. Students who experience sleep difficulties may struggle to stay awake during lectures, have difficulty retaining information, and find it challenging to complete assignments and study for exams. Research has shown that sleep deprivation can also lead to decreased cognitive function, including impaired decision-making, problem-solving, and creativity. This can further affect academic performance by hindering a student's ability to think critically and engage with course material.

A study conducted in the UK [8] shows that the prevalence of anxiety among students ranged from 8.4% to 51.3%, as well as that 43% of students with a mental health condition reported that their academic performance had been affected. Another study in the US clearly illustrates some of the above-mentioned factors disrupting academic performance (Fig. 2) [9].

III. SUGGESTED SOLUTIONS

There are several solutions that institutions of higher education can implement to improve emotional and mental health among students.

A. General Solutions

- Providing mental health services such as counseling, therapy, and support groups [10] can help students address emotional and mental health issues and provide them with the tools to cope with stress and anxiety (Fig. 3) [11].

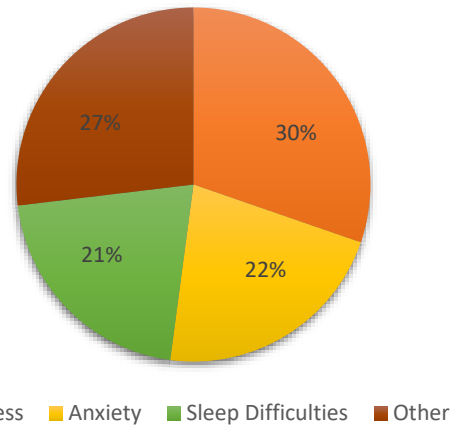


Fig. 2. Factors disrupting academic performance (%)

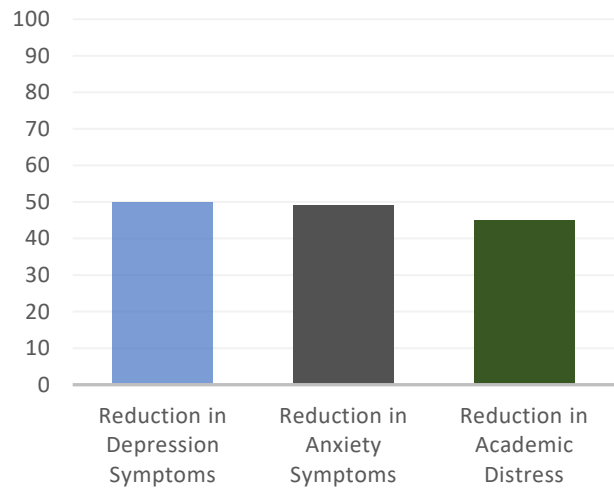


Fig. 3. Improvement among university students' mental health who received counseling services (%)

- Institutions can promote self-care practices such as exercise, healthy eating, and sleep hygiene [12]. Encouraging students to engage in self-care activities can help them manage stress and maintain emotional and mental health.
- Institutions can offer mindfulness-based programs, such as meditation, yoga, and breathing exercises, to help students reduce stress and increase well-being [13].
- Providing workshops on time management and study skills can help students develop effective study habits and reduce stress related to academic workload [14].
- Institutions can create a supportive environment for students by promoting inclusivity, diversity, and acceptance [15]. This can help students feel more comfortable seeking help and support from their peers and faculty, as well as reduce stress and anxiety [16]. Instructors should be approachable and supportive, and encourage students to ask questions and seek help when needed. They can also create opportunities for students to connect with each other, such as through group projects or class discussions.

- Conducting mental health screenings to identify students who may be at risk of developing mental health issues and provide early intervention and support is suggested as one of many solutions. [17]
- Institutions can educate students about emotional and mental health and the importance of seeking help when needed. This can help reduce stigma and increase awareness about the availability of mental health services.
- Providing opportunities for students to reflect on their learning and personal growth can help increase self-awareness and promote resilience. Instructors can incorporate reflection activities or journaling into the course material [18].

According to a student survey [23], providing mental health services would be most beneficial (Fig. 4.).

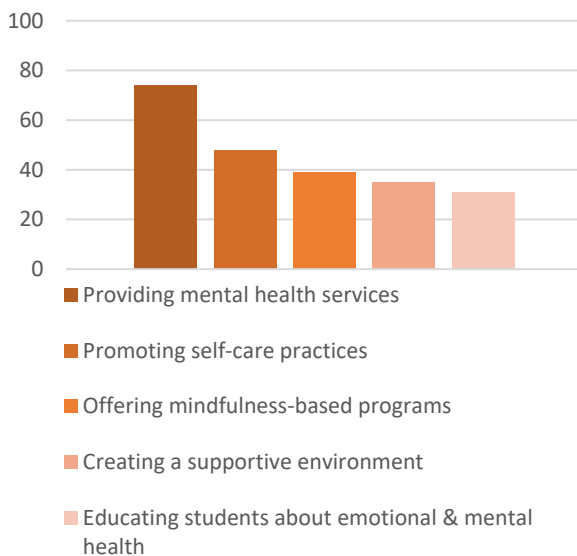


Fig. 4. Prioritizing different general solutions concerning mental health issues according to students (%)

B. Course material and presentation

- Employing different teaching methods can help cater to the diverse learning styles and preferences of students [19]. For example, incorporating videos, hands-on activities, group projects, and interactive lectures can make the course more engaging and interesting for students, reducing boredom and increasing motivation.
- Providing clear instructions and expectations for assignments, exams, and projects can help reduce confusion and anxiety among students [20]. Instructors should provide detailed guidelines and rubrics to help students understand what is expected of them and how they will be evaluated.
- Providing positive feedback and constructive criticism can help boost students' self-esteem and confidence. Instructors should acknowledge students' efforts and progress and provide feedback that is specific, helpful, and encouraging [21] (Fig. 5).

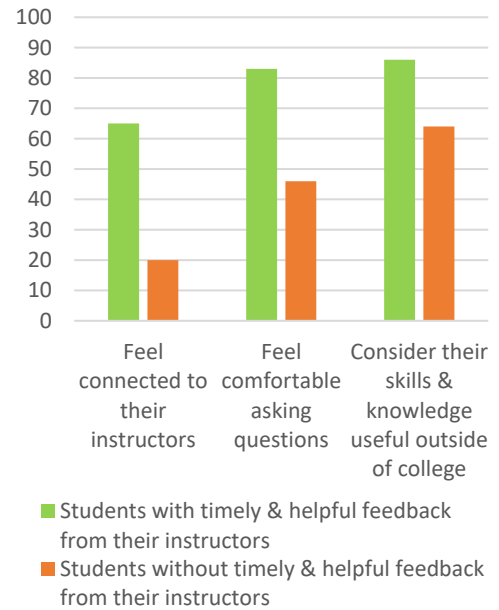


Fig. 5. Comparison between students with & without timely & helpful feedback from their instructors (%) [23]

- Accommodating students' individual needs and circumstances can help reduce stress and promote mental health [22]. For example, instructors can provide flexibility in due dates or exam formats for students who experience anxiety or have other mental health concerns. Instructors should also be aware of and accommodate students with disabilities.

Providing clear instructions and expectations related to the course material would be most beneficial [23] (Fig. 6).

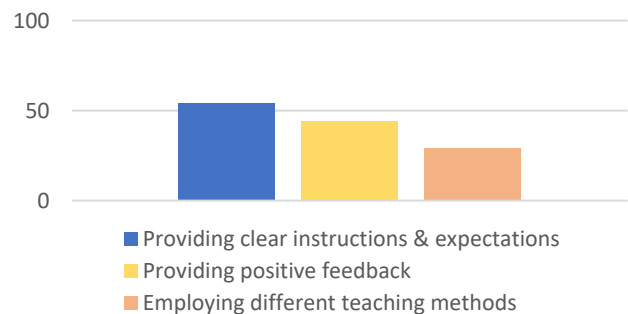


Fig. 6. Prioritizing different solutions related to the course material concerning mental health issues according to students (%)

IV. CONCLUSIONS

Emotional and mental health are crucial aspects of the overall well-being of students in higher education. Poor emotional and mental health can have a significant impact on academic performance. Institutions of higher education can implement solutions such as providing mental health services, promoting self-care, creating a supportive environment, and educating students to improve emotional and mental health among students. These solutions can help students succeed academically and lead fulfilling lives beyond their academic careers.

In summary, stress, social anxiety, perfectionism, and adjustment difficulties can all have a negative impact on academic performance in higher education. Seeking professional help and support from peers and faculty can be crucial for managing these issues and improving academic achievement. Additionally, practicing self-care, such as getting enough sleep, eating a balanced diet, and engaging in stress-reducing activities, can also help improve academic performance.

Similar studies will be conducted in the future with the help of the students at the Technical University of Sofia.

ACKNOWLEDGMENT

The work presented in the paper is supported by the Bulgarian Ministry of Education and Science under the National Research Program "Young Scientists and Postdoctoral Students - 2023".

REFERENCES

- [1] Roth, J. (2020). Emotion and cognition in higher education. *Current Opinion in Psychology*, 32, 137-141.
- [2] Eisenberg, D., Hunt, J., & Speer, N. (2016). Mental health in American colleges and universities: Variation across student subgroups and across campuses. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 204(5), 415-420.
- [3] Auerbach, R. P., Alonso, J., Axinn, W. G., Cuijpers, P., Ebert, D. D., Green, J. G., ... & Nock, M. K. (2016). Mental disorders among college students in the World Health Organization World Mental Health Surveys. *Psychological medicine*, 46(14), 2955-2970.
- [4] Langer, J. K., & Warrell, J. (2019). Social anxiety and academic achievement: A meta-analytic review. *Journal of Anxiety Disorders*, 65, 108-121.
- [5] Stoeber, J., & Damian, L. E. (2016). Perfectionism in employees: Work engagement, workaholism, and burnout. *Personality and Individual Differences*, 101, 271-278.
- [6] Friedlander, L. J., Reid, G. J., Shupak, N., & Cribbie, R. (2007). Social support, self-efficacy, and stress as predictors of adjustment to university among first-year undergraduates. *Journal of College Student Development*, 48(3), 259-274.
- [7] Pilcher, J. J., & Walters, A. S. (2017). How sleep deprivation affects psychological variables related to college students' cognitive performance. *Journal of American College Health*, 65(7), 471-476.
- [8] Moir F, Hennessy C, Brady V, et al. Factors that influence mental health of university and college students in the UK: a systematic review. *BMJ Open*. 2021;11(1)
- [9] American College Health Association. American College Health Association-National College Health Assessment II: Reference Group Executive Summary Spring 2014. Hanover, MD: American College Health Association; 2014.
- [10] Eisenberg, D., Golberstein, E., & Gollust, S. E. (2007). Help-seeking and access to mental health care in a university student population. *Medical Care*, 45(7), 594-601.
- [11] Kasckow, J. W., Felmet, K., Appelt, C., Thompson, R., Rotondi, A. J., Haas, G., & Leong, S. L. (2019). Mental health outcomes of counseling services in a university setting. *Journal of American College Health*, 67(3), 245-251.
- [12] American College Health Association. (2018). National College Health Assessment II: Canadian reference group executive summary spring 2018. American College Health Association.
- [13] Regehr, C., Glancy, D., & Pitts, A. (2013). Interventions to reduce stress in university students: A review and meta-analysis. *Journal of affective disorders*, 148(1), 1-11.
- [14] Kumar, M., & Purushothaman, M. (2019). A study on the effectiveness of a time management workshop among undergraduate students. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 9(1), 47-50.
- [15] Wilcox, H. C., Arria, A. M., Caldeira, K. M., Vincent, K. B., Pinchevsky, G. M., & O'Grady, K. E. (2010). Prevalence and predictors of persistent suicide ideation, plans, and attempts during college. *Journal of Affective Disorders*, 127(1-3), 287-294.
- [16] Gallagher, R. P., Whiteley, J. M., & Levy, J. M. (2019). Understanding the Role of Diversity in Reducing College Students' Stress. *Journal of Diversity in Higher Education*, 12(1), 35-50.
- [17] Eisenberg, D., Golberstein, E., & Hunt, J. B. (2009). Mental health and academic success in college. *B.E. Journal of Economic Analysis & Policy*, 9(1), Article 40.
- [18] Moon, J. A. (2004). *A handbook of reflective and experiential learning: Theory and practice*. RoutledgeFalmer.
- [19] Cook-Sather, A. (2014). Listening to students: The teacher's role in eliciting and using student voices. In E. C. Wadsworth & E. B. T  llez (Eds.), *Teaching with student voices: New ways to connect teachers, students, and classrooms* (pp. 26-36).
- [20] Wyrick, P. A., & Rudisill, M. E. (2008). The effects of assignment clarity on the quality of student-generated concept maps. *Journal of College Science Teaching*, 37(3), 54-59.
- [21] Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, 77(1), 81-112.
- [22] Cavanagh, S. R., & Coffey, K. A. (2016). Strategies for promoting student-centered learning in graduate-level statistics courses. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology*, 2(1), 24-36.
- [23] <https://tophat.com/blog/feb-2022-student-survey/>

INFLUENCE OF TEST-TAKING METHODS ON STUDENTS' SUCCESS RATE UNDER PRACTICAL CONDITIONS

Elena Antonova
Technical University - Sofia
Sofia, Bulgaria
e-mail: elantonova@tu-sofia.bg

Pamela Minkovska
Professional High School of Telecommunications
Sofia, Bulgaria
e-mail: pamela.m.minkovska@gmail.com

Abstract: The article discusses the benefits and appliance of tailored testing in the education system to test academic performance on an individual level. Adaptive tests can play a paramount role in a student's academic career and professional development, helping with identifying issues that might stay hidden for the general approach used in most schools and universities all over the world. The article identifies the structures behind that model and some innovative usages of its benefits. This study also suggests ways to prevent students from cheating and relying on their skills and individual solutions to a wide range of challenges, resulting in a significant improvement not only in the education analysis results but also in expanding the labor market around the globe. These practices include more than the application by the general public; implementing tailored testing into a student's development and not their assessment only. The article concludes that if used to its fullest potential, tailored testing might turn into one of the world's best approaches to an individual's development. Moreover, the tailored model can be used outside the assessment initial plan but can also be implemented into some economic structures such as communication and medicine.

Keywords: education, examination, testing, tailored testing, adaptive tests.

I. INTRODUCTION

Nowadays, when building new education systems and ones for testing students' skills and knowledge, a great time is spent on implementing E-learning in all its formats. Testing has evolved into something far greater than just questions and answers, turning into a major factor in each student's future career.

The main purpose of tests is to serve as a tool for objective assessment of students' knowledge. Implementing the test control of students' knowledge by means of computer technologies provides a possibility for collecting plenty of statistical data, which will allow to resolve another task - analyzing if this tool is good enough [1].

The traditional methods for testing have been proven useful, but after the change in the testing standards throughout the pandemic, the majority have been abandoned and replaced. Moreover, the focus on testing has shifted to the examination of the students stepping from school into university, in other words, to those applying to their next level of education, be it a bachelor's or master's degree, even if only for basic testing of their skills. The technology for testing which a major part of the universities around the world chose to take up, was "tailored testing", which even got embedded in the SAT digital format that international students outside the USA sat for the first time in March 2023.

II. CHARACTERISTIC FEATURES OF ADAPTIVE TESTING

Adaptive testing or so-called "tailored testing" is meant to escape cheating among students, motivating them to rely on their individual skills.

It is more engaging for the testers as it matches a student's achievement levels without increasing the test length while measuring a person's score more precisely, especially when it comes to students with higher performance and ones that are experiencing difficulties identifying issues and specific needs.

Tailored testing allows all students to demonstrate their knowledge and encourages them to stay focused until the very last question. The adaptive model provides teachers and schools with access to more targeted and detailed information on the entire process, from starting the test to completing it and sending it out.

The candidates are presented with sets of questions based on their performance during the examination process. Many of these questions are of mid-range complexity for each year level, but some are of higher or lower complexity. All students at each year level start with questions that test the same range of complexity. The computer system scores their answers automatically, and then, each individual progresses to a second test. The next module includes a set of questions that might be easier or more challenging, depending on the student's performance in the first part.

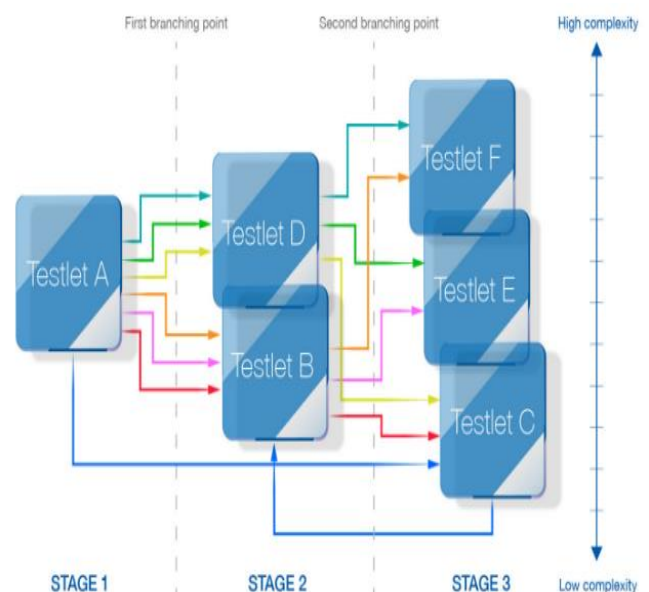


Fig. 1. Model of a tailored test [2]

Questions varying between low, medium to high difficulty lead everyone to better demonstrate the range of their literacy and numeracy skills. Not only does this method provide a more precise assessment of each one's abilities, but it also helps to find where major problems in performance occur (Fig. 1).

There are three such styles: output-based, state-based, and communication-based testing. Among the three, the output-based style produces tests of the highest quality, state-based testing is the second-best choice, and communication-based testing should be used only occasionally. [3]

A. Output-Based

Also known as black-box testing, this approach mainly focuses on the output generated in response to specific input. Its main goal is verifying that the output meets certain requirements.

B. State-Based

This method focuses on the behavior based on the current state. The tester defines a set of initial states and actions that can be performed on those states. Then the behavior and transitions between these states in response to the actions are observed.

C. Communication-Based

In this approach, also known as message-based testing, the tester verifies that exchanged messages are correct and conform to definite requirements.

III. APPLIANCE OF TAILORED TESTING IN EDUCATION

In March 2023, the first SAT in digital format was held for international students outside the USA. The format used approximately the same material as the paper formal but with a different structure, the tailored testing format.

Split into two parts, one for the math section and one for the language skills assessment, the exam used adaptive testing in its inner modules, two for each of the two main parts. After completing the first module in the math section, the latter one is entirely unique for each person sitting the exam, formed by the skills proven in the previous questions. The same goes for the language skills assessment, where students had another two modules; the first one was the same for all candidates, and the second one - tailored individually for each one.

All applicants received a short form for the experience of the new format, allowing analysts to follow the events in real time. The results were better than expected; many of the students felt satisfied and got to show their true knowledge in the fields examined.

A. Benefits of Tailored Testing

What makes the tailored method so outstanding is the deeper understanding of the process itself, as data has been collected for centuries, focusing mainly on the output. The same practices will never work on the masses as there are no two individuals carrying the same strengths and flaws.

Cheating is also decreasing when it comes to adaptive tests. Moreover, students get the appreciation of their unique traits that can never be shaped into the boundaries of identical testing for everybody.

This aspect of the tailored model can also play a role in reducing the participants' anxiety when answering the questionnaires [4].

Not only would it be easier to monitor a wider range of performance elements, but it would also help identify areas of improvement and provide feedback on progress.

B. Weaknesses of Tailored Testing

No test is perfect, and adaptive testing is no exception. There are risks being considered, such as issues with the parts that are being modified dependently on collected data, excessively high complexity of the questions in an attempt of collecting too much information at once, misunderstandings by the algorithm assessing the output, etc.

The more random a test is, the higher the security is going to be. While that is great to keep in mind, the efficiency would be too low to have any advantage of the changeability of the questions. The strategy is to find the balance point where there will be enough security and benefit while being able to apply the freedom tailored testing gives [5].

As more work goes into the design and structure behind the tailored testing model, such chances will decrease. Most importantly, that format should be used for the proper purposes and should not be taken as the only testing method, because sometimes, less data is better, especially when the general aspect of a study is taken at a point.

C. Tailored Testing Outside of The Education System

Education is not the only field in need of this method. All social services have considered the usage of adaptive tests beneficial, more precisely, one-to-one businesses such as medicine, coaching, psychology, etc.

Communication between people has shifted to another level after paying attention to how the individuality of an answer can impact the result of a test. Corresponding to its initial purpose, the process of collecting information has also changed, followed by the change in the type of data assessed.

While some people need the freedom to express themselves in a more atypical way, others need guidance and a straightforward outline of what is required of them. That can be used at schools when trying to analyze what needs review and practice but can also be adapted to monitoring a patient's progress, a long-distance partner's needs and even the public's opinion on a given matter.

Many don't realize that the tailored approach has always been part of society's everyday life, and if given the chance, it can be a daily practice on a deeper and more precise level.

IV. NOTABLE EXAMPLE

According to research concerning the trade-offs of tailored testing [6], such as maximized measurement precision, opportunities for accumulating greater accuracy and requirements for more sophisticated methodologies, this approach brings benefits in terms of time and efficiency and targets the average ability of test takers. As shown in Fig. 2, tailored testing design proves to be 15 to 47 % more efficient, compared to regular testing.

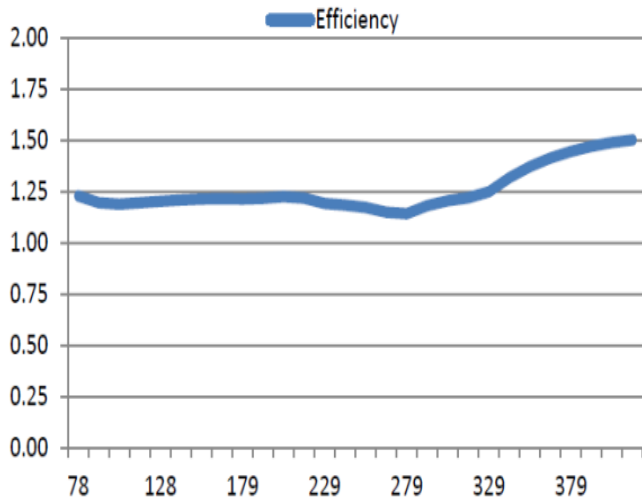


Fig. 2. Efficiency of the adaptive assessment over the averaged (expected) test information of the non-adaptive assessment [6]

The graph above compares the efficiency of two tests - the so-called PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies) adaptive test and a traditional linear test using the same literacy item set defined as the ratio of the two test information curves, shown on the vertical axis, while the horizontal axis shows the literacy scale.

In conclusion, the chart indicates that the adaptive test is 15 to 47% more efficient, meaning that the same amount of test information can be obtained from a regular test that is 15 to 47% longer.

V. CONCLUSIONS

It is safe to take the next step in using the adaptive testing model, featuring diverse tools for monitoring the examination process in more depth, including the individual's statistics related to basic skills and issues, and moving to the flaws in the education system. The innovations behind that project may also be used in other fields after being developed in the future.

ACKNOWLEDGMENT

The work presented in the paper is supported by the Bulgarian Ministry of Education and Science under the National Research Program "Young Scientists and Postdoctoral Students - 2023".

REFERENCES

- [1] Jelev G., Minkovska D., Minkova Y. - An Approach for Determining the Difficulty of Test Items for Assessment the Quality of Knowledge Mastering, Proceedings of the Technical University – Sofia, 2006, vol. 56, book 1, pp: 414 – 423-
- [2] Playford International College. (2019). Tailored Testing FAQ. Retrieved from <https://playford.sa.edu.au/wp-content/uploads/2019/03/tailored-testing-faq.pdf>
- [3] Khorikov, V. (2019). Unit Testing Principles, Practices, and Patterns. Manning Publications.
- [4] National Assessment Program. (2022). Tailored Tests. Retrieved from <https://www.nap.edu.au/naplan/understanding-online-assessment/tailored-tests>
- [5] Thissen, D., & Mislevy, R.J. (2000). Testing Algorithms. In Wainer, H. (Ed.) Computerized Adaptive Testing: A Primer. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [6] Tamassia, C. (2020). Adaptive Testing Trade-Offs.

ОБЗОР И АНАЛИЗ ЗА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА БРАЙЛОВОТО ПИСМО ЗА НЕЗРЯЩИ

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

Маргарита Томова
Факултет по науки за образованието
и изкуствата, Софийски Университет
„Св. Климент Охридски“
София, България
e-mail: mvenelinov@uni-sofia.bg

Мира Цветкова-Арсова
Факултет по науки за образованието
и изкуствата, Софийски Университет
„Св. Климент Охридски“
София, България
e-mail: mcvetkova@uni-sofia.bg

Николай Стоименов
Институт по информационни и
комуникационни технологии към
Българска Академия на Науките
София, България
e-mail: nikistoimenow@gmail.com

Резюме: В настоящата статия са разгледани методи за създаване на Брайлово съдържание. Обърнато е внимание на изследвания и методи за тактилните възприятия на различни групи хора. Тестове в насока на тактилно възприятие се извършват не само при незрящите, но и при други лица, страдащи от заболявания като диабет, паркинсон и др. Анализирани са сили, възникващи при тактилни възприятия и четене на Брайлово съдържание. Обсъдени са бъдещи стъпки за развитие и подобряване износостойчивостта на Брайлово съдържание.

Ключови думи: *Брайл, триене, пръсти, тактилно възприятие, скорост на плъзгане, контактна зона.*

I. ВЪВЕДЕНИЕ

По данни на Световната Здравна Организация (СЗО) около 284 милиона души по света страдат от зрителни затруднения в различна степен – пълна слепота или слабо зрение. За сравнение, през 1994 г. броят на зрително затруднените е бил 38 милиона слепи (напълно незрящи) и 110 милиона лица със слабо зрение. Статистиките сочат значително повишение в годините на лицата с нарушено зрение в световен мащаб [1]. Зрително затруднените хора изпитат трудности в много и различни житейски сфери и дейности, сред които в:

- ориентирането и мобилността си [2],
- изпълнението на редица всекидневни и битови задачи,
- множество учебни дейности, сред които: четене и писане,
- формиране на представи и понятия,
- социална адаптация,
- боравене с визуални материали и мн. др.

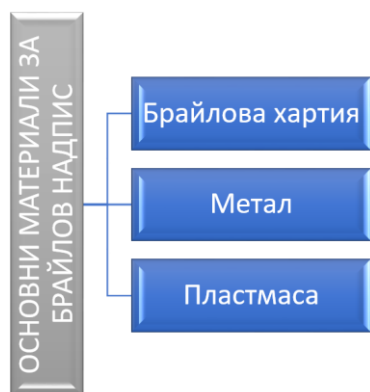
За всички тези затруднения съществуват подходящи и достъпни решения. По отношение на четенето и писането през 1825 г. е създадено Брайловото писмо за напълно слепите и лицата със силно намалено зрение (от Луи Брайл във Франция), което представя плоскопечатните

букви чрез комбинации от изпъкнали, релефни точки с цел тактилното им възприемане, както и уголеменият шрифт за лица с остатъчно зрение. За включването на нагледни материали в учебния процес и във всякакви други дейности, визуалните материали са заменени с релефни изображения, карти, схеми, графики и пр., които са достъпни за тактилно изследване [3].

В България в последните години присъствието на Брайловото писмо и Брайловото етиктиране на обществени места се засили. Брайлови надписи се поставят задължително върху лекарствени продукти съгласно изискванията на Европейския съюз за достъпни и разбираеми етикети за лица с нарушено зрение в страните-членки, като през последните години се наблюдава засилено Брайлово етиктиране на различни обществени места – в асансьори, туристически обекти, поставяне на Брайлови описателни табели и други.

Съответно се усили и поставянето на релефни или тактилни изображения в различни обществени сгради за нуждите на посетители с нарушено зрение, като например в множество галерии и музеи в страната (тук ще посочим само някои такива обекти, сред които Национална галерия и квадрат 500, Национален исторически музей, Софийска градска художествена галерия, регионален исторически музей-Пловдив и София, галерия Ракурси в София и мн. др.).

Съществуват разнообразни методи и средства за съставяне на Брайлови надписи. Някои методи използват различни материали, върху които се поставя Брайлов надпис, като най-често този материал е: Брайлова хартия, метал, пластмаса (фиг. 1) [4, 5]. По обществени сгради и забележителности най-разпространени са металните и пластмасови Брайлови надписи, като първите са скъпи за производство, а вторите са нетрайни вследствие на агресивната външна среда и влиянието на метеорологичните и климатични фактори. В тази насока се извършват изследвания, целящи да се открият оптималните варианти, спомагащи и улесняващи Брайловото етиктиране, насочено към потребители с нарушено зрение.



Фиг. 1. Основни материали, използвани при Брайлов надпис.

Един от основните фактори, влияещи върху издръжливостта на този тип надписи, поставени върху различни повърхности и материали, е износоустойчивостта. Това от своя страна налага запознаване с използването на тактилните възприятия. В разгледаните изследвания, основният механизъм за тактилно възприятие е чрез опипване с ръце или плъзгане на пръст върху повърхност с определена грапавост. Тактилното възприятие представлява процес на определяне на физически свойства, като се осъществява контакт с обектите за тактилно различаване, разпознаване, изследване, намиране. В следствие на този контакт се получават данни за обекта, като текстура на повърхността, грапавост, мекота, топлина и други. Скоростта на плъзгане влияе върху тактилното възприятие. За тази цел в настоящата публикация е извършено проучване на различни съществуващи и описани вече в литературата методи за изследване на тактилните възприятия и на факторите, оказващи влияние върху тях, като силата на натиск при хора от различна възраст, пол (мъже, жени) и т.н. [6, 7, 8, 9, 10].

II. МЕТОДИ ЗА СЪЗДАВАНЕ НА БРАЙЛОВО СЪДЪРЖАНИЕ

Основният и най-популярен начин за Брайлово писане е чрез използване на класическите Брайлови помагала – Брайлова плоча и шило, както и Брайлова машина. Те се прилагат в училищни условия с цел ограмотяване, както и за записване на всякаква информация за индивидуални нужди. Този метод е подходящ предимно за лична употреба и не е особено траен, тъй като Брайловото съдържание се записва върху хартия (Брайлова хартия с по-голяма дебелина от обикновената).

Друг метод за създаване на Брайлово съдържание за незрящи е ситопечатната техника, като изображението на Брайловите текстове или релефните диаграми се излага на матрицата за ситопечат. При този тип техника се наблюдава износване на материала с времето [11].

Микрокапсулната хартия е друго подходящо и популярно решение, позволяващо печат на Брайлов надпис и на релефни фигури. Този метод е разработен от Ивон Ериксон от Шведската библиотека на говорещата книга през 1993 г. Използва се специална хартия, съдържаща микрокапсули, вградени на повърхността ѝ. Хартията се състои от два слоя. Първият е носещият слой, докато вторият слой е шампован от микрокапсули.

Микрокапсулите правят релеф, когато хартията се постави в специална машина и се изложи на топлина от около 125 [°C] и на въздействието на инфрачервени лъчи, благодарение на което се получава изпъкнало/релефно изображение.

Друг достъпен и известен метод е този на термична обработка или термоформиране. То се извършва с помощта на пластмасови листи и на термоформовъчна машина, често пъти с марка на American Thermoform Company (ATC), но и на други фирми производители [11, 12]. Методът на термоформиране включва две стъпки. Първата стъпка изисква подготовка на матрица или основа (най-често чрез апликиране на различни материали, които са достатъчно термоустойчиви, върху лист хартия – дърво, устойчива пластмаса, плат, различни видове хартия и пр.). След това тази матрица се поставя в термоформовъчната машина и се покрива с пластмасов лист, който при температура от около 300 [°C] се стопява върху основата и заема нейната форма и релеф [11, 13, 14].

III. МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТАКТИЛНИ ВЪЗПРИЯТИЯ

A. *Methodu von Frey*

Клиничните състояния, които включват увреждане на нервните структури, могат да променят тактилното усещане на пациентите и да имат сериозен ефект върху тяхната качествена информация. Оценка на невралното увреждане е важна и може да се извършва чрез различни техники, включително количествено сензорно изследване (QST), моторно – предизвикан потенциал / соматосензорно - предизвикан потенциал (MEP/ SSEP), двуточков дискриминационен тест или тест на von Frey filament (vF). Методът von Frey се използва за два вида тестове на тактилното възприемане (активен von Frey тест (AvF) и тест с нишка на von Frey (vF)), свързани с невралното състояние на хората.

Тъй като QST и MEP/SSEP са сложни и изискват скъпи устройства, те не се използват рутинно в клинични условия. Затова двуточковият дискриминационен тест и тестът с нишка на von Frey (vF) са най-широко използваните техники. Въпреки това, точността на vF теста зависи от множество фактори и включва празнина между съседни нива, което предотвратява откриването на леки промени. За да уеднакви скоростта и силата на тестване, е разработен полуавтоматизиран инструмент за оценка на механичната чувствителност – активен vF (AvF). Методът се позовава на плътността на тактилните рецептори. Точността му зависи от специфични фактори като скорост на докосване и сила на докосване.

При осъществяването на този тип тест се налага повторемост на изследваните пръсти (по 5 пъти на пръст). Авторите, осъществили тестове в [6] докладват, че сред изследваната от тях група, доминиращите пръсти показват по-високи стойности на AvF. Показалецът и петият пръст не се различават значително. Значителни разминавания на стойностите се наблюдават между жените и мъжете, което е доказателство за различни нива на натиск при хората [6].

В. Тактилно усещане за натиск при решетка с дълги влакна

Разпределената тактилна сензорна система, базирана на решетка с дълги влакна, е много полезно изобретение в областта на роботиката. Тази система може да бъде приложена за прецизно измерване и позициониране на сензор за докосване на манипулатор. Системата може да измерва както точкови, така и повърхностни контактни сили. С използването на този тип система, могат да бъдат отчетени фактори като триизмерна сила (в определени диапазони), време за реакция, деформация и други. При този тип изследвания е необходимо да бъдат отчетени позицията на допирна точка, дължина и размер на приложена сила върху сензора. Този метод има следните предимства: висока точност, висока гъвкавост и голям обхват на измерване. Може да следи в реално време позицията, силата и зоната на действие при хващане на обект [9].

Тактилното възприятие е процес на определяне на физически свойства чрез контакт с обекти. Информационното взаимодействие е основната характеристика на тактилните сензори. Тясното усещане за допир се отнася до усещането на кожата, причинено от вършен натиск, действащ върху тактилните рецептори. В този процес е необходимо да се възприемат позицията на допирната точка, дължината и размера на силата. Линеиността и чувствителността са важни показатели за оценка на работата на тактилните сензори за натиск. През последните години тактилният сензор с оптични влакна е широко изследван поради предимствата си на анти-електромагнитни смущения, адаптивност към околната среда, анти-електромагнитни смущения и висока чувствителност [9]. Тактилните усещания са един феномен в познавателното развитие на човека, за разлика от всички други възприятия, те единствени създават чувство за реалност. Тактилноста не е дистантен анализатор и кожата е пряк посредник между организма и околната среда. Формирането на тактилно-двигателните умения и навици може да се извърши на базата на многостранна тактилна подготовка, необходима в процеса на Брайлово четене [15]. Развитието на фината моторика, овладяване на тактилно разпознаване и различаване са заложили в предучилищната програма на зрително затруднените деца, които ще се ограмотят на Брайл [15, 16].

С. Трибологичен тест „пръст-шкурка“

Опитната установка на този тип тест се състои от задвижващата част, контролираща плъзгането на пробите, зареждащото устройство, осигуряващо нормалното сила върху пръстите, опората за пръсти и системата за събиране на данни [10]. При този тип тест се задават параметри, близки до трибологичните тестове от типа палец-диск, а именно скорост на плъзгане, грапавост на шкурка, промяна на контактна площ. При това изследване, на тествания обект (кожа на пръст) влияят сили на натиск и деформация на опън. Получава се стимулация на механорецептори, които произвеждат електрически сигнали към мозъчната кора от неврони. Следствие на тези стимулации, човек възприема грапавост, текстура, топлина, влажност и друга важна информация за тактилните възприятия на обектите [10].

Методиката в [10] описва, че всички участници почистват пръста си с алкохол преди всеки тест. Проведените тестове са в контролирана околна среда с температура около 25 [°C] и относителна влажност 60–70%. При измерването на триенето, в действителния контактен ъгъл между пръста и шкурка, авторите докладват измерени стойности за контакт между пръста от $15 \pm 1^\circ$ и $50 \pm 1^\circ$. Отчетеното нормално натоварване е $1,5 \pm 0,1$ [N], което представлява умерено докосване. Скоростта на плъзгане на масата за проби е зададена на 5 [mm/s] и 50 [mm/s] [10].

IV. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СИЛИ, ВЪЗНИКВАЩИ ПРИ ТАКТИЛНИ ВЪЗПРИЯТИЯ

Сред трибологичните параметри на контактите с пръсти, скоростта на плъзгане се счита за ключов фактор за повлияване на тактилното възприятие. По време на възприемането на тактилна информация чрез докосване, се осъществява триене между материала и пръстите. В процеса на триене се получават различни скорости на плъзгане на пръста, които се получават в следствие на различни повърхности [17]. Анализирани са сила на натиск при различни групи хора, както и използвани сили в трибологични изследвания на видове материали за Брайлово съдържание. Изследвания за оптимален тип хартия, показват, че най-предпочитаната хартия е 160-170 [g/m²]. По-тънките хартии (90-120 g/m²) се износват и изтъкват бързо, а при използването на по-дебели хартии (180-300 [g/m²]) се наблюдава недостатъчна височина на релефа. Изследването е осъществено сред 7 вида хартия, включително с покритие [11].

При изследвания за сила на натиск при докосване, освен силата на натиск, са разгледани и различни варианти на закръгление на точките (пъпките). От анализираното изследване, което е осъществено в различни възрастови групи (10-36 години) става ясно, че силата на натиск варира в диапазона 0,05-0,39 [N], независимо от пол и възраст. Изследванията са проведени в Тайланд сред хора, четящи Брайл върху пиезо-електрични Брайлови клетки [18].

Разгледано е изследване за различно износване на материали за Брайлово възприятие, включващо 8 материала (4 хартия, 2 текстил, полимер и алуминиево фолио). Авторите на изследването са използвали товар от 1,96 [N] и линейна скорост от 0,47 [m/s] с продължителност на измерването – 60 [min]. Данните от тестовете сочат за най-голямо е износването при хартията, с 45% намаляване на височината на Брайловата пъпка [19]. Разгледано е изследване за износване на материали за Брайлово съдържание. Авторите на изследването са използвали полимерни материали. За входни данни на износването е зададена сила от 1,96 N и линейна скорост от 0,47 [m/s], като авторите споменават, че силата е избрана на база натиск от незрящи в процес на четене [20].

В друго проведено изследване при четене на Брайл е измерена сила на натиск от 0,5 до 2,5 [N]. Авторите на изследването избягват сила на натиск над 2,5 [N], поради възможност за повреда на хартията. Разделят силата на натиск на 3 стадия - преди, по време и между символи за четене на Брайл. Измерен е и коефициент на триене [21].

V. БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Ще бъдат проведени изследвания в областта на 3D принтирани материали и тяхното приложение за незрящи от трибологична гледна точка. Предстои да бъдат направени трибологични анализи за износоустойчивост на 3D принтирани Брайлови надписи. За входни данни при изследванията ще бъдат използвани анализирани и описани тук проучвания и използваните параметри от тях.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените анализи на изследвания за тактилни възприятия, използвани за възприемане на Брайлово съдържание, става ясно, че силата, която упражняват незрящите, е в зависимост от критерии като (фиг. 2):

- възраст,
- пол,
- регион,
- височина на Брайлови елементи,
- материал и други.

Изследванията за упражняван натиск при четене на Брайл, най-често са в диапазона 0,5 – 2,5 [N]. Изследвания за износване на различни материали за създаване на Брайлово съдържание са с товар от 2 [N].

От направените анализи става ясно, че намаляването на височината на Брайловите надписи води до затруднения при усвояването на Брайловото съдържание. Поради тази причина, ако се предвижда използване на Брайлово съдържание на обществени места, е необходимо използваните материали да бъдат с добра износоустойчивост.



Фиг. 2. Критерии за определяне на износоустойчивост на Брайлово съдържание.

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“, както и от Европейския съюз - NextGenerationEU, чрез Националния план за възстановяване и устойчивост на Република България, проект SUMMIT BG-RRP-2.004-0008-C01.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bulletin of the World Health Organization, 73 (1), 1995.
- [2] Tzvetkova-Arsova, Orientation and mobility, second expanded and supplemented edition, Sofia: University Publishing House "St. Cl. Ohridski", 2008 (in Bulgarian).
- [3] Tsvetkova-Arsova, M. Techniques for creating relief images for visually impaired children, Journal of Special Pedagogy, 1, pp. 68–80, 2000 (in Bulgarian).
- [4] Dimitrova R., Velkov A., Dimitrov S., Choosing a Movement for Automated Device for Printing Braille Letter, XXXI International Scientific and Technical Conference, ADP - 2022., Sozopol, Bulgaria., Publishing house of TU-Sofia ISSN – 2682-9584, Publisher Department “Automation of Discrete Production Engineering“ Mechanical Engineering Faculty, Technical University – Sofia, pp. 69-74, 2022
- [5] Dimitrov S., Dimitrova R., Stoimenov V., 3D Modeling of Automated Device for Printing Braille Letter, XXXI International Scientific and Technical Conference, ADP - 2022., Sozopol, Bulgaria., Publishing house of TU-Sofia ISSN – 2682-9584, Publisher Department “Automation of Discrete Production Engineering“ Mechanical Engineering Faculty, Technical University – Sofia, pp. 238-242, 2022
- [6] Kang J., Lee H., Lee J., Oh D., Kim J., Lee J., Jeon I., Choi Y., The active von Frey filament test: A new technique to evaluate hand tactile sensation in continuous variable units, Journal of Hand Surgery and Rehabilitation, Volume 41, Issue 1, ISSN 2468-1229, pp. 85-89, 2022.
- [7] J. Kim, B. -J. You and Y. Choi, "D'Arsonval Movement-Based Precise Milligram Force Control for Individual Touch Sense Assessment," Journal of IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 2, pp. 1534-1543, 2017.
- [8] Zhou X, Mo J., Li Y., Xu J., Zhang X., Cai S., Jin Z., Correlation between tactile perception and tribological and dynamical properties for human finger under different sliding speeds, Journal of Tribology International, Volume 123, ISSN 0301-679X, Pages 286-295, 2018.
- [9] Li K., Li H., Zhang Y., Wu Y., Zhu L., Long chirped fiber grating pressure tactile sensing, Journal of Optical Fiber Technology, Volume 72, 102939, ISSN 1068-5200, 2022.
- [10] Zhang M., Zhang S., Feng G., Su H., Zhu F., Ren M., Cai Z., Indoor airborne particle sources and outdoor haze days effect in urban office areas in Guangzhou, Environmental Research, Volume 154, ISSN 0013-9351, pp. 60-65, 2017.
- [11] Hayta P., Oktav M., Ozcan A., Analysis of the effect of paper grammage on the reading quality in braille printing, 8th International Symposium on Graphic Engineering and Design, University of Novi Sad, Serbia, pp. 37-46, 2016.
- [12] Axel, E. S., Levent N. S., Art beyond sight: A resource guide to art, creativity, and visual impairment., New York: AFB Press, 2012.
- [13] Kara, C., The book proposal with tactile and visible illustration for sight, partially sight and blind
- [14] Edman, P. Tactile Graphics, New York: AFB Press, 1992.
- [15] Radulov, V. Braille Literacy and Multiliteracy, Sofia: Printing House "Contrast" - Bogomilovo, 2009 (in Bulgarian).
- [16] Swenson, A. Beginning with braille. Firsthand experiences with a balanced approach to literacy – Second edition, AFB Press, 2016.
- [17] Tanaka Y, Bergmann Tiest WM, Kappers AML, Sano A Contact Force and Scanning Velocity during Active Roughness Perception. PLOS ONE 9(3): e93363, 2014.

- [18] Smithmaitrie P., Kanjantoe J., Tandayya P. Touching force response of the piezoelectric Braille cell, *Journal of Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* Volume 3, 2008 - Issue 6, pp. 360-365, 2009.
- [19] Venyte I., Kibirktis E., Mayik V., Dudok T., Vasylykiv Y., Investigation of Resistance to Mechanical Effect of Braille Formed on Different Materials, *Journal of Material Science, Polymers and Composites, Wood*, Vol. 20, Issue 2, Print ISSN: 1392-1320, pp. 183-188
- [20] Venyte I., Kibirktis E., Miliunas V., Vaitasius K., Stepanenko A., Ragulskis K., Ragulskis L. Evaluation of wear and physical qualities of traditional and biodegradable polymeric films with Braille under vibrations, *Journal of Vibroengineering*, Vol. 18, Issue 4, pp. 2102-2112, 2016.
- [21] Darden M.A., Schwartz C.J., Skin tribology phenomena associated with reading braille print: The influence of cell patterns and skin behavior on coefficient of friction, *Journal of Wear*, Volumes 332–333, pp. 734-741, ISSN 0043-1648, 2015.

OVERVIEW AND ANALYSIS OF WEAR RESISTANCE OF BRAILLE FOR THE BLIND

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

Margarita Tomova
Dept. of Special Education
Faculty of Educational Studies and Arts
Sofia University "St. Kliment
Ohridski"
Sofia, Bulgaria
e-mail: mvenelinov@uni-sofia.bg

Mira Tzvetkova-Arsova
Dept. of Special Education
Faculty of Educational Studies and Arts
Sofia University "St. Kliment Ohridski"
Sofia, Bulgaria
e-mail: mcvetkova@uni-sofia.bg

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

Abstract: This article discusses methods for creating Braille content. Attention is paid to research and methods on the tactile perceptions of different groups of people. Tests in the direction of tactile perception are performed not only for the blind but also for a number of other diseases such as diabetes, Parkinson's, etc. Forces arising in tactile perception and reading of Braille content are analyzed. Future steps to develop and improve the wear resistance of Braille content are discussed.

ИНОВАЦИОНЕН ЕВРОПЕЙСКИ ТЕХНОЛОГИЧЕН УНИВЕРСИТЕТ INNO EUt+

Валентин Миленов
Технически университет -София
София България
e-mail: valmil@tu-sofia.bg

Панчо Томов
Технически университет -София
София България
e-mail: pkt@tu-sofia.bg
ORCID 0000-0003-1649-6947

Маряна Митова
Технически университет -София
София България
e-mail: mariana_mitova@tu-sofia.bg

Димчо Димов
Технически университет -София
София България
e-mail: ddimov@tu-sofia.bg

Резюме: Целта на работата е да се разгледа подробно дейността на проект INNO EUt+, да бъдат представени партньорите по проекта и новият алианс, който е сформирани от 8 европейски университети под наименованието „Европейски технологичен университет“. Представени са получените резултати през първата година от двугодишния период на проекта. Подробно са разгледани извършените дейности по проекта и бъдещите инициативи и дейности. Разгледани са дейностите по укрепване на партньорствата между различните партньори по проекта..

Ключови думи: иновации, предприемачество, студентски инициативи, еко система.

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Технически Университет – София е партньор в INNO-EUt+, който е важен проект на новият Европейски университетски алианс озаглавен „Европейски технологичен университет“ (EUt+). Получените успешните резултати се представят в настоящата работа, както и постигнати успехи през периода на изпълнение на първата фаза на проекта.

Основната цел на проекта Inno-Eut+ е повишаване на капацитета за иновации и предприемачество на участващите висши учебни заведения, успешно се увеличава броя на амбициозните предприемачи и платформи за реализиране на бизнес идеи, благодарение на прилаганите съвместни предприемачески проучвания и механизми за подкрепа. Университетите се опитват да подобрят класическото техническо образование, получавано в университета, като открият студенти с иноваторско мислене и отворени към нови идеи за опазване на околната среда с имплементиране на нови технологии и методи за подобряване на обществото с цел опазване и превенция за намаляване на вредните емисии.

Стойността на проекта е €1.2 милиона евро, с помощта на това финансиране проекта има за цел да осигури формални и неформални образователни програми, които ще позволят на академичния и неакадемичния персонал да вдъхновява, наставлява и подкрепя амбициозни предприемачи сред широката група студенти и изследователи.

Европейския институт за иновации и технологии (EIT) има за цел да засили предприемаческия и иновационен капацитет на висшите учебни заведения (HEI).

Инициативата за HEI на EIT е ключова цел за EIT като част от новата му стратегия, Стратегическата програма за иновации на EIT 2021–2027. Инициативата има за цел да под-крепи висшите учебни заведения с експертен опит и обучение, достъп до иновационната екосистема на EIT и финансиране, което им позволява да разработват планове за действие за иновации, допълващи нуждите на отделните висши учебни заведения. Като част от своята пилотна фаза, инициативата осигури финансиране на 23 проекта, като следващата покана за предложения се очаква към края на 2022 г.

Заедно с нашите партньори извън висшето образование - Water Alliance (Нидерландия) и Chrysalis LEAP (Кипър), се създават перспективи за израства както на административния персонал, така и на студентите и докторантите.

Седемте партньори в EUt+ са:

- Кипърски технологичен университет (Кипър)
- Технически университет – София (България)
- Технологичен университет Троа (Франция)
- Технически университет Дъблин, (Ирландия)
- Технически университет Рига (Латвия)
- Технически университет Клуж-Напока (Румъния)
- Политехнически университет Картахена (Испания).

Техническият университет - София отговаря за пакет номер 7, който е за разпространение на резултатите и създаване на комуникационна мрежа между партньорите, подпомагащи работата между отделните пакети.

II. РАЗВИТИЕ НА ПРОЕКТА ПРЕЗ ПЪРВАТА ФАЗА

Първата стъпка за постигане на нашите цели, беше да обучим нашият състав, като преподаватели по климатично предприемачество, с което се заеха от Chrysalis LEAP, след което да предоставим на студентите

добре структурирана програма за развитие на идеи. Обучени бяха 100 човека академичен и неакадемичен персонал, което доведе до обучението на 571 студента, както и създаването на повече от 150 бизнес концепции общо в Inno-EU+ Alliance.

Обучението и наставничеството в Алианса беше с най голям приоритет, което имаше по време на проекта Inno-EU+. За да подобрим допълнително положителното въздействие на нашето обучение, внедрихме програмата Inno-EU+ Student DemoDays.

Непредсказуемата усложнена COVID-19 обстановка наложи провеждането на онлайн обучение в периода 15-26.11.2021 г. На 15 ноември е организиран Информационен ден. Всички заинтересовани студенти от това събитие имаха предварителна възможност да се запознаят с условията и изискванията на предстоящия Тренировъчно-състезателен ден по предприемачество.



Фиг. 1. Снимка от обучителния процес.

В Информационния ден се включиха 63 студенти. На 22 ноември в деня на обучение-то бяха сформирани 14 отбора от по 4ма студенти или общо 64 студенти, които взеха участие. През седмицата между Тренировъчния и Състезателния ден бяха проведени множество консултации с цел подобряване на предложената от тях бизнес идея с почти всички участници, използвайки уеб платформата Discord.

Състезателният ден се проведе на 26 ноември, ръководен и контролиран от жури от четирима души – Димов, Митова, Миленов и доц. Балин Балинов – професионален експерт по ЕКО-мениджмънт и климатични промени. В състезанието взеха участие общо 11 отбора. Всеки отбор се представи според изискванията на състезанието и предварително утвърден регламент и предварително определен график. Всички участници получиха сертификати за участие, като първите три отбора получи сертификати за съответните призови места.

Началото на Inno-EU+ „Student Demo Day“ беше проведен в Испания, (Картахена) в началото на 2022 г., като най-добрият екип от студенти от всеки университет, представи своята идея, създадена по време на програмата за обучение по предприемачество в областта на климата. Второто събитие Inno-EU+ Student DemoDay, включващо студенти от партньорските университети, се проведе в Рига в през юли 2022.

В Рига студентите имаха удоволствието да участват в сесията „Dirty Prototyping“ за да могат визуално да си представят своята идея.



Фиг. 2. Студентските отбори в „Student Demo Day“ Испания, (Картахена).

През месец октомври студентите от партньорските университети формираха смесени интернационални отбори с цел развитие на възможностите за екипна работа по зададени от организаторите базови теми.



Фиг. 3. Студентските отбори в „Student Demo Day“ Кипър, (Лимасол).

III. НАСЪРЧАВАНЕ НА АНГАЖИРАНОСТТА И ИНСТИТУЦИОНАЛНАТА ПРОМЯНА

В допълнение, през първата година на Inno-EU+, 62ма преподаватели и служители бяха обучени от колегите от университета в Рига, чрез обучителния модул „Change Agents“ за да могат да предадат получените знания в областта на иновациите и предприемачеството, както и да намерят иновативни решения за съществуващите проблеми в техните организации.

Друг важен резултат е написването на учебното помагало „Educator“ за курсове по предприемачество във висшето образование, което беше преведено на седем езика: Български, Английски, Испански, Френски, Гръцки, Латвийски и Румънски. Този наръчник може да се използва като ръководство може да се използва за обучение университетски преподаватели за създаване на курсове по предприемачество на специфични групи хора (жени, млади хора, възрастни хора, безработни, имигранти и хора с увреждания). Наръчникът се фокусира върху два основни подхода: Универсален метод за учене и инструктори които напътстват и имат желание да участват в различни видове предприемачески



инициативи, както и подпомагане на специфични категории от слабо представени групи.

За да подкрепим нашите местни иновационни екосистеми, беше създадена персонализирана менторска програма, която беше предоставена на няколко предварително избрани стартиращи фирми по схемата за подкрепа на стартиращи компании Inno-Eut+. Тази програма подкрепи десет вече регистрирани зелени технологични компании, предложенията бяха много различни от решения за пречистване на водата до различни инициативи за подобряване на използването на възобновяема енергия.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://www.univ-tech.eu/the-inno-eut-toolbox-is-now-available>
- [2] <https://innoeut.utcluj.ro/2022/10/14/eut-limassol-week/>.
- [3] <https://www.univ-tech.eu/technical-university-of-sofia-1>.

INNOVATIVE EUROPEAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (INNO-EU+)

Valentin Milenov
Technical University
Sofia, Bulgaria
e-mail: valmil@tu-sofia.bg

Pancho Tomov
Technical University
Sofia, Bulgaria
e-mail: pkt@tu-sofia.bg
ORCID 0000-0003-1649-69475

Mariana Mitova
Technical University
Sofia, Bulgaria
e-mail: mariana_mitova@tu-sofia.bg

Dimcho Dimov
Technical University
Sofia, Bulgaria
e-mail: ddimov@tu-sofia.bg

Abstract: The purpose of the work is to examine in detail the activities of the INNO EU+ project, to present the project partners and the new alliance, which was formed by 8 European universities under the name "European University of Technology". The results obtained during the first year of the two-year period of the project are presented. The completed project activities and future initiatives and activities are examined in detail. Activities to strengthen partnerships between the various project partners were discussed.

МОДЕЛИРАНЕ НА СТРУКТУРАТА НА МНОГООПЕРАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МАШИНИ, ИЗГРАЖДАНИ НА МОДУЛЕН ПРИНЦИП

Михаела Топалова
Технически университет – София
Инженернопедагогически факултет – Сливен
Сливен, България
email: m_topalova@tusofia.bg

Мария Хаджиева
Технически университет – София
Инженернопедагогически факултет – Сливен
Сливен, България
email: maria.hadjieva@hotmail.com

Резюме: В статията е представен подход за моделиране на многооперационни технологични машини, изградени на модулени принципи, на етапа на вариантното им структурно проектиране. Предложени са признаци за типизиране, модулна система и концептуални конструктивни решения на базови модули за структурното им проектиране в CAD среда. Развит е графов математичен модел за синтезиране на структурни варианти, удовлетворяващи конкретни технологични изисквания. Приложението на подхода за моделиране е илюстрирано чрез генериране на структурни варианти на многооперационни технологични машини за удовлетворяване на конкретни потребителски изисквания.

Ключови думи: модулен принцип, многооперационни технологични машини, обработващи центри, графов математичен модел.

I. Увод

В съвременното машиностроене една от водещите тенденции е изграждането на технологичните машини на модулен принцип. Този подход способства производителите по-лесно да се адаптират към изискванията на потребителите и по-бързо да реагират на пазарното търсене.

Прилагането на модулния принцип при изграждане на технологични машини е обвързано със създаване на модулни системи. Съставящите ги модули обикновено се разработват в обосновани в технико-икономическо отношение параметрични редове, удовлетворяващи изискванията на различни по предназначение типови машини и обработки. Модулите се развиват и в размерни редове, обвързани с дължината на работните ходове, респективно с размерите на присъединителните им елементи.

Проведено проучване показва, че всички водещи фирми прилагат модулния принцип при проектиране и изграждане на многооперационни машини с различно технологично предназначение. Примери за това са модулната система за обработващи центри CORCOM [1] на тайванския конгломерат Fair Friend Group (FFG), приложена в SPECHT серията на фирма MAG [2] и в VDM серията на фирма HESSAPP [3], модулната система VDF Sx на BOEHRINGER [4] за стругови и струговофрезови машини, както и други модулни системи.

Важно значение за проектиране на многооперационните технологични машини (МТМ) на модулен принцип имат възможностите на съвременните CAD системи.

Богатият им инструментариум за прилагане на готови, както и за генериране на нови 3D инженерни решения, ускорява процеса на проектиране и производство на технологични машини, удовлетворяващи конкретни потребителски потребности.

Ключов момент в процеса на проектиране на технологичните машини е структурното им изграждане. Обект на настоящата публикация са възможности за вариантно структурно проектиране на МТМ на модулен принцип в CAD среда.

II. ТИПОВИ СТРУКТУРИ НА МНОГООПЕРАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МАШИНИ

За рационализиране на процеса на структурно проектиране се възприе МТМ да се типизират по признаците ориентация на оста на вретеното, разположение на ротационните оси в кинематичната структура и размер на работната повърхнина на масата на машината.

A. Ориентация на оста на вретеното

МТМ се изграждат, както с хоризонтална, така и с вертикална ориентация на оста на вретеното.

При хоризонталните МТМ най-разпространена е Тобразната компоновка [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Прилага се предимно при машините от среден типоразмер, като в отделни случаи се използва и при долния сегмент на големия типоразмер.

Предпочита се от гледна точка на условията, които предлага за осъществяване на автоматичната смяна на инструмента и на заготовката.

При вертикалните МТМ най-често използвани са едноколонните компоновки с подвижна или неподвижна колона.

Използват се за обработване на заготовки в много широк типоразмерен диапазон, заемат малка производствена площ и имат сравнително високи динамични показатели.

Характерно за вертикалните МТМ с неподвижна колона [11, 12] е, че работните органи, носещи заготовката, изпълняват подавателните и установъчните движения по осите X и Y в хоризонталната равнина, а вертикалното движение по ос Z се изпълнява от вретенната кутия. При вертикалните МТМ с подвижна колона трите транслационни движения се изпълняват от колоната [13, 14, 15].

Б. Разположение на ротационните оси в кинематичната структура

МТМ се изграждат с до пет едновременно управлявани (три транслационни и две ротационни) оси. Прилагат се следните варианти на разполагане на ротационните оси в кинематичната структура машините:

- По едно ротационно движение в кинематичните вериги на инструмента и на заготовката, които се реализират обикновено чрез въртяща се вретенна глава и въртяща се маса.

Тази компоновка се среща най-често при вертикалните МТМ, предназначени за обработване на заготовки с по-голяма маса. Тъй като четири от подавателните движения се осъществяват над заготовката, режещият инструмент може да бъде с по-малка дължина. По-дълги режещи инструменти се използват само, когато въртящата се маса трябва да се накланя на по-голям ъгъл.

- Две ротационни движения в кинематичната верига на инструмента, които се осъществяват от вретенната глава.

МТМ с такава компоновка се прилагат за обработване на детайли с големи габаритни размери и сложна форма. При тях в конструктивно отношение се усложнява задвижването на вретенната глава.

- Две ротационни движения в кинематичната верига на заготовката, изпълнявани от въртяща се и накланяща се маси.

При такъв тип структура размерът на заготовката се ограничава от размерите на работната повърхнина на масата. Затова тези МТМ се използват предимно за обработване на заготовки с по-малка маса.

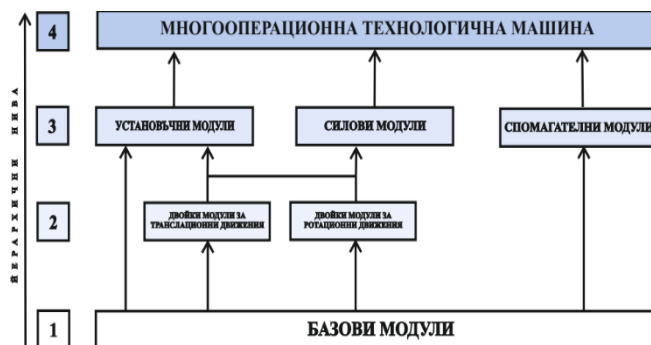
Тъй като ъглите на завъртане на двете маси са по-големи, отколкото на въртяща се вретенна глава, такава компоновка осигурява по-добър достъп на режещия инструмент до подлежащите на обработване повърхнини.

В. Размер на работната повърхнина на масата

Работната повърхнина на масата на машините е обвързана с размерите и масата на обработваните заготовки. За заготовки с малки габаритни размери и маса обработването на заготовки от среден тип-размер най-са предпочитани компоновките с въртяща се и накланяща се маси, като по-често използвани са вертикалните МТМ. Често се осъществява на хоризонтални МТМ с въртяща вретенна глава и въртяща се маса. Докато за голямо-габаритни заготовки се използват портален тип компоновки с неподвижна маса.

III. МОДУЛНА СИСТЕМА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА МНОГООПЕРАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МАШИНИ

За структурното изграждане на МТМ е предложена модулна система с йерархична структура (Фиг. 1), включваща четири йерархични нива. Модулите от по-ниските нива са част от по-високите или участват непосредствено в структурата на най-високото йерархично ниво – многооперационната технологична машина. Модулната система е с отворена структура, позволяваща нейното разширяване и развитие по брой и съдържание на йерархичните нива.



Фиг. 1. Структура на модулна система за изграждане на многооперационни технологични машини

Базовите модули от 1во йерархично ниво са определени по функционален признак [16, 17, 18, 19]. Те могат да се съчетават в двойки модули за изпълнение на транслационни или ротационни движения (2ро йерархично ниво) или да участват непосредствено в 3то йерархично ниво. В това ниво модулите се причисляват към силовата или установъчната подсистема, според мястото им в кинематичната структура на МТМ. Силовата подсистема е свързана с режещия инструмент, а установъчната – със заготовката. Спомагателните модули са свързващи модули, необходими за цялостното изграждане на компоновката на една МТМ. Чрез подходящо съчетаване на модули от трите йерархични нива е възможно да се изградят МТМ с различна структура (4то йерархично ниво).

На Фиг. 2 да представени част от разработени концептуални конструктивни решения на базови модули.

IV. ГРАФОВ МОДЕЛ ЗА СИНТЕЗИРАНЕ НА СТРУКТУРИ НА МНОГООПЕРАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МАШИНИ

За формализирано описание на множеството структурни варианти на МТМ, които могат да се синтезират от предложените по-горе базови модули, е построен графов математичен модел (Фиг. 3).

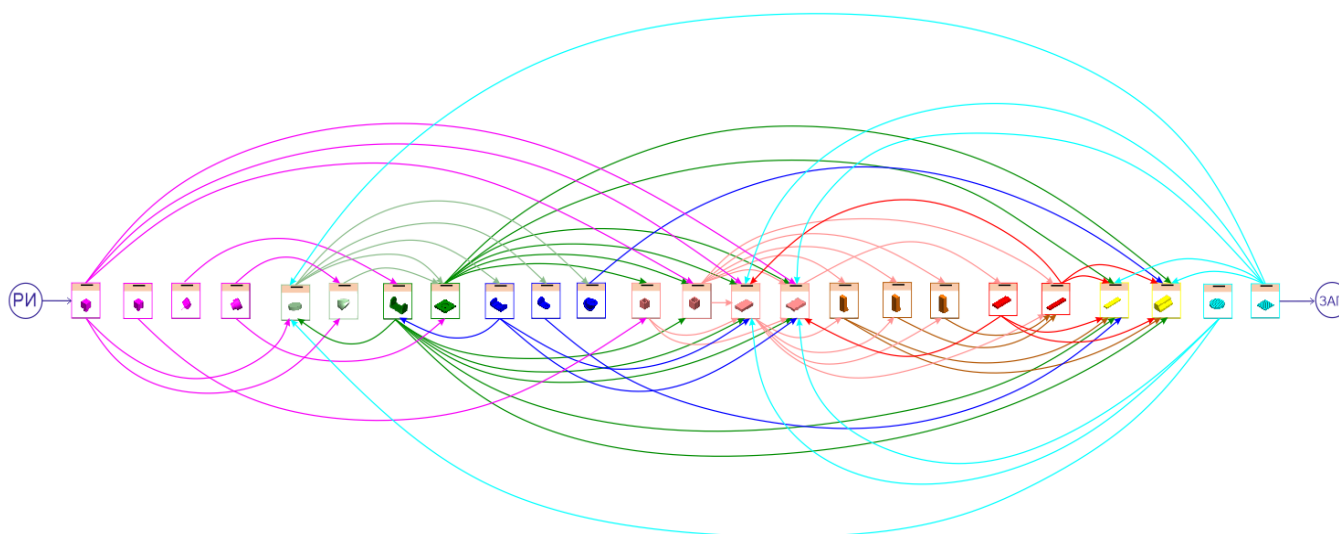
Възлите в графа съответстват на отделните модули от модулната система, а дъгите изразяват възможните връзки между тях.

Наличието на повече от две връзки между част от модулите се дължи на възможността някои модули да се използват повече пъти в една компоновка.

Подсистема	СИЛОВА														
Наименование	Вретенни глави				Шейни				Колони				Направляващи		
Код	01_01	01_02	01_03	01_04	02_01	02_02	02_03	02_04	03_01	03_02	03_03	03_...	04_01	04_02	04_...
Обозначение на модула															

Подсистема	УСТАНОВЪЧНА												СПОМАГАТЕЛНИ МОДУЛИ				
Наименование	Тела				Люлки				Маси								
Код	20_01	20_02	20_...	20_...	21_01	21_02	21_03	21_...	22_01	22_02	22_...	22_...	Код	30_01	30_02	31_01	31_02
Обозначение на модула													Обозначение на модула				

Фиг. 2. 3D модели на базови модули за изграждане на многооперационни технологични машини



Фиг. 3. Верижен мултиграф на възможните връзки между базовите модули

Графовият модел изразява възможността за съчетаване на отделните модули помежду им, като се отчитат структурните и функционалните ограничения при свързването им. Това способства за отхвърляне на неудачни и технически безсмислени структурни варианти.

За генериране от верижния мултиграф на множеството от възможни компоновки на MTM е необходимо да се проследят всички ориентирани пътища, водещи от корена „РИ“ (режещ инструмент) до листото „ЗАГ“ (заготовка). Изборът на най-удачна компоновка за решаване на конкретна технологична задача се осъществява като полученото множество се подложи на многокритериален анализ.

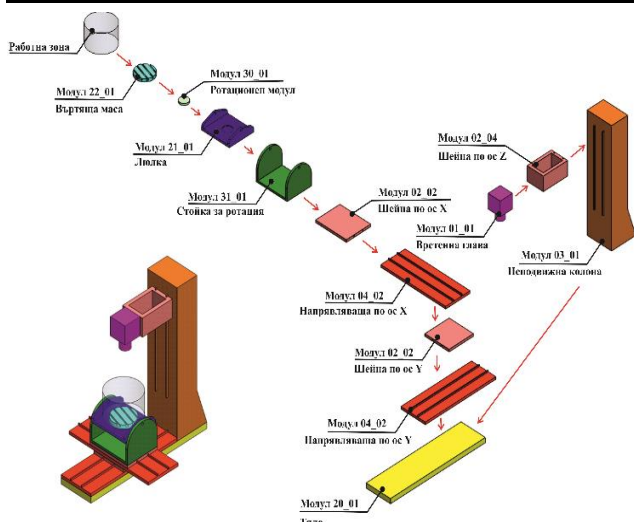
V. ГЕНЕРИРАНЕ НА КОМПОНОВКИ НА МНОГООПЕРАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИЧНИ МАШИНИ В CAD СРЕДА

Модулният принцип и предлаганият от CAD системите богат проектантски инструментариум, способстват за рационализиране на процедурите при генериране на нови и модифицирани компоновки на MTM.

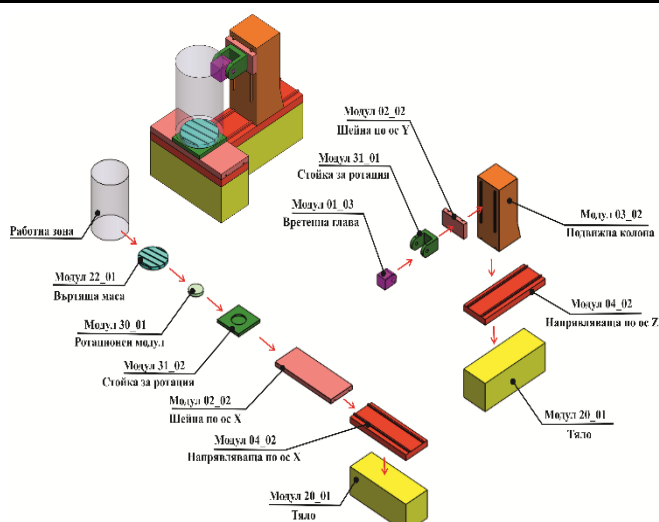
В този аспект са разработени концептуални 3D модели на базовите модули (Фиг. 2), като е приложена конструктивна параметризация.

Генерирането на конкретни компоновки на MTM в CAD среда е илюстрирано като са ползвани данни от фирмени каталози [20, 21, 22]. На Фиг. 4 е представена компоновка с вертикална ориентация на оста на вретеното и неподвижна колона, като двете ротационни движения се изпълняват от заготовката. За аналог на тази компоновка е използван обработващ център на фирма DOOSAN – DNM200/5AX.

Показаната на Фиг. 5 компоновка е аналог на хоризонталния обработващ център HU100TS на фирма MITSUI SEIKI. Тази MTM е с подвижна колона, а ротационните движения са разпределени в кинематичните вериги на заготовката и инструмента.



Фиг. 4. Босна вертикална многооперационна технологична машина



Фиг. 5. Босна хоризонтална многооперационна технологична машина

VI. ЗАКЛУЧЕНИЕ

Предложен е подход за моделиране на многооперационни технологични машини, изградени на модулен принцип, който се основава на структурната им типизация по кинематични и конструктивно-технологични признаци. Създадени са структура на модулна система и концептуални базови модули за синтезиране на алтернативни варианти на МТМ. Развит е инструментариум за формализирано описание на възможността за съчетаване на базовите модули, който позволява дигитализация на процеса на генериране на структурни варианти, удовлетворяващи конкретни потребителски изисквания, и определяне на оптималния от тях. За рационализиране на проектните процедури в САД среда са разработени параметрични 3D модели на концептуалните базови модули

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://ffgea.com/en/companies/corcom>
- [2] MAG, SPECHT® MACHINE SERIES, Brochure.
- [3] Hespap VDM Series, Brochure.
- [4] Boehringer VDF 221/226 Cx Series, Brochure.
- [5] <https://www.starrag.com/enus/machine/heckertathleticseries/63>
- [6] Okuma, 5Axis Horizontal Machining Center, Universal center MU10000H, Brochure.
- [7] https://www.youtube.com/watch?v=ekT0_u8XFoM
- [8] Doosan DHF 8000, Brochure.
- [9] Hyundai HS II 6300/8000, Horizontal Machining Center, Brochure.
- [10] FPT Castel Terus 250, Brochure.
- [11] Hurco 5axis machiningcenters, Highpowerseries/Moving coloumnseries/ Highspeedseries, Brochure.
- [12] https://www.pinnaclemc.com/en/products_overview.html
- [13] Eumach TVMC Series, Brochure.
- [14] YCM, TCV Series, Brochure.
- [15] Hyundai HiMold Series, Brochure.
- [16] O. I. Averyanov, Modular Approach for CNC Machine Tools Design, Mashinostroenie, 1987, pp. 229.
- [17] I. Yoshimi, Modular Design for Machine Tools, McGrawHill Companies Inc., 2008, pp. 504.
- [18] H. Shinno and Y. Ito, "Computer Aided Concept Design for Structural Configuration of Machine Tools. Variant Design Using Directed Graph," Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, vol. 109, Issue 3, pp. 372376, 1987.
- [19] M. Topalova M. and I. Stanev, "Modular system in the design of mobile machines for mechanical processing of largesized workpieces," Proceedings of Int. Sc. Conf. "70 years FIT", pp. 427431, September 2015, Bulgaria.
- [20] Doosan DNM 200/5AX, Brochure.
- [21] Mitsui Seiki, 5 Axis Simultaneous Control Machining Center Series, Catalog.
- [22] <https://www.mitsuseiki.com/products/hu100ts.asp>

STRUCTURED MODELING OF MULTIOPERATION TECHNOLOGICAL MACHINES BUILT ON THE MODULAR APPROACH

Mihaela Topalova
Faculty of Engineering and Pedagogy – Sliven
Technical University – Sofia
Sliven, Bulgaria
email: m_topalova@tusofia.bg

Maria Hadjieva
Faculty of Engineering and Pedagogy – Sliven
Technical University – Sofia
Sliven, Bulgaria
email: lacones@abv.bg

Abstract: This paper presents an approach to modeling multioperation machine tools structured on a modular principle at the stage of their variant design. Signs for typification, a modular system and conceptual solutions of base modules for their design with CAD systems are proposed. Furthermore, a graph mathematical model is developed to generate structural variants that fulfill specific technological requirements. To demonstrate the application of this modeling approach, a structural variants of a multioperation machine tools is generated to satisfy specific user requirements.

ТРИБОЛОГИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ФИЛАМЕНТИ ОТПЕЧАТАНИ ЧРЕЗ 3D ПЕЧАТ АНАЛИЗ

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: nikistoimenow@gmail.com

Любен Клочков

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

Резюме: В настоящата статия е разгледана трибологията като наука. Обърнато е внимание на трибологичното поведение и поведението на триене на 3D отпечатани проби. Направен е обзор и анализ на експериментални данни, получени чрез използване на най-разпространените материали за 3D печат (ABS и PLA термопласти) в 3D принтери

Ключови думи: анализ, трибология, 3D филamenti, 3D принтиране.

I. УВОД

Инженерните пластмаси придобиват все по-голямо значение за различни приложения, базирани на съвременните нуждите. Навлизането и развитието на техниките за адитивно производство, производството на пластмасови части чрез 3D печат постепенно стават все по-популярни. Износоустойчивостта е от изключително значение за производството, затова се налага анализ на трибологичните процеси настъпващи в 3D отпечатани проби и детайли.

Механичните свойства на материалите като якост, пластичност, деформиране и др. изразяват способността на материалите да се съпротивляват срещу деформиране и разрушаване в процеса на експлоатация на изделията, изработени от тях, или в лабораторни условия. В лабораторни условия се получава комплекс от показатели, характеризиращ механичните свойства на даден материал [1].

II. ТРИБОЛОГИЯТА КАТО НАУКА И ИСТОРИЧЕСКО РАЗВИТИЕ

Трибологията е изучаването на науката и инженерството на взаимодействащите повърхности в относително движение и включва изучаването и прилагането на принципите на триене, смазване и износване. Думата произлиза от гръцкия термин *tribos*, означаващ триене, така че буквалното значение би било "науката за триенето".

Първият, който заявява двата закона на триенето, регулиращи движението на правоъгълен блок, плъзгащ се по плоска повърхност, е Леонардо да Винчи, но работата му остава непубликувана и научните изследвания на износването се развиват много малко до XX век. От началото на XX век обаче знанията във всички области на трибологията се разширяват значително, поради огромния индустриален растеж, което доведе до търсенето на изработки от 3D печат [2].

Трибологията е сравнително нова дисциплина (нейното признаване започва през 1966 г. [3]), която съчетава анализа на триенето, износването и смазването на взаимодействащи повърхности в относително движение в определена среда [4, 5, 6, 7, 8].

Износването може да се определи като процес, при който взаимодействието между две повърхности или гранични повърхности на твърди вещества в работната среда води до загуба на размери на едно твърдо вещество, със или без действително отделяне и загуба на материал.

Трибоматериалознанието е основно направление в съвременната трибология, което се фокусира върху изследването и разработването на материали и покрития с повишена антифрикционни и противоизносни свойства. Многобройните усилия на изследователите са фокусиран върху композитни материали и покрития с метална матрица, модифицирана с различни по естество керамични микро- и/или наноразмерни частици и нанесени с различни технологии. [9].

III. ТРИБОЛОГИЯТА ПРИ МАТЕРИАЛИ ЗА 3D ПЕЧАТ

Използване на 3D принтиране за единични части, прототипиране, използване за отливки и други води до намаляване на производствените разходи. Адитивната технология има няколко предимства по отношение на строителните детайли. Няма операции, които отнемат време като струговане, фрезование, леене и др.

Дебелината на слоя за отлагане на материала, ъгълът на запълване, шаблонът за запълване и ориентацията на отлагането са основни параметри за печат [10].

3D печатът, известен също като FDM процес, е един от доминиращите адитивни производствени процеси, които използват 3D модел, базиран на компютърно проектиране (CAD), за да изработят всеки сложен контур, включително много тънки секции. За разлика от конвенционалната механична обработка, този процес се основава на отлагане на материал слой след слой. От 90-те години на миналия век 3D принтинга се използва прогресивно като инструмент за обучение и за генериране на функционални части, което създава необходимостта от по-добро разбиране на механичното поведение на 3D отпечатаните части и разработването на аналитични модели и параметри на дизайна за инженерите.

Отлагането слой по слой на нагрят термопласт е в основата на този процес [11,12, 13].

А. Материали за 3D печат

Има два основни вида пластмаси, използвани при 3D печат:

- Материалите за 3D печат (термопластмасите) са най-често използваният вид пластмаса [14]. Основната характеристика, която ги отличава от термореактивните, е способността им да преминават през множество цикли на топене и втвърдяване. Термопластмасите могат да се нагряват и оформят в желаната форма. Процесът е обратим, тъй като не се извършва химическо свързване, което прави възможно рециклирането или топенето и повторното използване на термопласти. Често срещана аналогия за термопластиците е маслото, което може да се разтопи, да се втвърди отново и да се разтопи отново. След всеки цикъл на топене свойствата леко се променят.
- Термореактивните пластмаси (наричани още термореактивни) остават в постоянно твърдо състояние след втвърдяване. Полимерите в термореактивните материали се омрежават по време на процес на втвърдяване, който се индуцира от топлина, светлина или подходящо лъчение. Термореактивните пластмаси се разлагат при нагряване, а не при топене, и няма да се деформират при охлаждане. Рециклирането на термореактивни материали или връщането на материала обратно в неговите основни съставки не е възможно.

Б. Пластмасови процеси за 3D печат

Трите най-утвърдени процеса на пластмасов 3D печат днес са следните:

- 3D принтерите за моделиране на отлагане, или още познати като Fused Deposition Modelling (FDM) се топят и екструдират термопластични нишки, които дюзата на принтера отлага слой по слой в областта на изграждане.
- Стереолитографията (SLA) 3D принтерите използват лазер за втвърдяване на термореактивни течни смоли в втвърдена пластмаса в процес, наречен фотополимеризация.
- Селективното лазерно синтероване (SLS) 3D принтерите използват мощен лазер за сливане на малки частици термопластичен прах.

IV. ВИДОВЕ ФИЛАМЕНТИ ЗА 3D ПЕЧАТ

3D печатът дава възможност да се създадат прототипи и да се произведат части за широк спектър от приложения бързо и рентабилно. Изборът на правилен процес на 3D печат е само едната страна на монетата. До голяма степен този процес зависи от вложените материали, които позволят създаването на модели и части с желани механични свойства, функционални характеристики или външен вид [15].

А. PLA

PLA[(C₃H₄O₂)_n] е лесен за печат и се среща в сферата на потребителския 3D печат полимлечната киселина (PLA) е най- разпространеният вид филамент. Има пониска температура на печат от ABS и не се деформира толкова лесно, което означава, че не е задължително нагревателно легло, въпреки че определено помага.

Предимство на използването на PLA е, че няма неприятна миризма по време на печат (за разлика от ABS). Счита се за нишка без мирис, но в някои случаи има сладък мирис, в зависимост от вида на PLA. Привлекателен аспект е, че се предлага в голямо изобилие от цветове и стилове. PLA до известна степен е по-екологично чист филамент от много други нишки за 3D печат. Биоразградим е при определени търговски постижими условия.

В сравнение с други видове нишки за 3D принтери, PLA е крехък, затова се избягва при създаване на предмети, които могат да бъдат огънати, усукани или многократно изпускани, като калъфи за телефони, играчки, които се износват, или дръжки за инструменти. Избягва се и при моделиране на предмети, които трябва да издържат на по-високи температури, тъй като PLA има тенденция да се деформира при температури от около 60 градуса или по-високи. За всички други приложения PLA прави добър цялостен избор на нишки за 3D принтер.

Б. ABS

Акрилонитрил бутадиен стирен (ABS [(C₈H₈.C₄H₆.C₃H₃N)_n]) е по-малко популярен от PLA за ежедневен 3D печат. По отношение на свойствата на материала обаче, ABS всъщност е умерено по-добър от PLA, въпреки че е малко по-труден за печат – той е склонен към изкривяване без гореща печатна основа и лепило за легло.

Често използван при леене под налягане, ABS се намира в много произведени стоки за бита и потребителски стоки, включително LEGO тухли и каски за велосипеди. Продуктите, изработени от ABS, имат висока издръжливост и капацитет да издържат на високи температури, но любителите на 3D принтери трябва да имат предвид високата температура на печат на нишката, склонността да се деформират по време на охлаждане и интензивните, потенциално опасни изпарения.

Печати се с отопляемо легло и в добре проветриво пространство. ABS е здрав - издържа на висок стрес и температура. Освен това е умерено гъвкав, въпреки че със сигурност има по-добри опции за това по-надолу в този списък.

Заедно тези свойства правят ABS добра нишка за 3D принтер с общо предназначение, но това, където тя наистина блести, е с предмети, които често се боравят, изпускат или нагряват (калъфи за телефони, играчки, които се износват, дръжки за инструменти, компоненти за автомобилни тапицерии и електрически кутии и др.). Свойствата на ABS и PLA полимери са дадени в таблица 1.

ТАБЛИЦА 1 Свойства на ABS и PLA полимер

Свойства	ABS	PLA
Якост	27 МПа	37 МПа
Удължение	3.5–50%	6%
Гъвкав модул	2.1–7.6 GPa	4 GPa
Плътност	1.0–1.4 g/cm ³	1.3 g/cm ³
Топене	Аморфен	173 °C
Биоразградими	Не	Да
Температура на встъпяване	105 °C	60 °C

В. PETG

Полиетилен терефталатът (PET) е една от най-често използваните пластмаси в света. Най-известен като полимер, използван в бутилки с вода, той се намира и във влакна на дрехи и контейнери за храна. Докато "суровият" PET рядко се използва в 3D печат, неговият вариант PETG е все по-популярна нишка за 3D принтер. „G“ в PETG означава „гликол“. Като материал за 3D печат, той е естествено по-чист, по-малко крехък и най-важното, по-лесен за печат от основната му форма. Поради тази причина PETG често се смята за добра средна позиция между ABS и PLA, два други често използвани типа нишки за 3D принтери – той е по-гъвкав и издръжлив от PLA и по-лесен за печат от ABS.

Полиетилен котриметилен терефталат (PETT) е друг вариант на PET. Малко по-твърда от PETG, тази нишка за 3D принтер е популярна със своята прозрачност.

Три неща, които ентузиастите на 3D принтери трябва да имат предвид, когато използват PETG:

- PETG е хигроскопичен, което означава, че абсорбира влагата от въздуха. Това има отрицателен ефект върху печатаемостта на материала, така че не забравяйте да съхранявате нишката на 3D принтера на хладно и сухо място и, ако е необходимо, да я изсушите преди употреба.
- PETG е лепкав при отпечатване, което прави тази нишка за 3D принтер лош избор за поддържащи структури, но добър за адхезия на слоя.
- Въпреки че не е крехък, PETG се надрасква по-лесно от ABS.

PETG е добър универсален продукт, но се отличава от много други видове нишки за 3D принтер поради своята гъвкавост, здравина и устойчивост на висока температура и удар. Това го прави идеална нишка за 3D принтер за използване за функционални обекти, които могат да изпитат продължително или внезапно напрежение, като механични части, части за принтер и защитни компоненти.

Г. TPE, TPU, TPC

Както подсказва името, термопластичните еластомери (TPE) по същество са пластмаси с качества, подобни на каучук, което ги прави изключително гъвкави и издръжливи. Като такъв, TPE обикновено се използва за производство на автомобилни части, домакински уреди и медицински консумативи.

В действителност TPE е широк клас съполимери (и полимерни смеси), но въпреки това се използва за етикетиране на много налични в търговската мрежа видове нишки за 3D принтер. Меки и разтегливи, тези нишки могат да издържат на физическото наказание, което нито ABS, нито PLA могат да понесат. От друга страна, печатането не винаги е лесно, тъй като TPE може да бъде труден за екструдирание.

Термопластичният полиуретан (TPU) е особена разновидност на TPE и е популярна нишка за 3D принтер. В сравнение с обикновения TPE, TPU е малко по-твърд – което го прави по-лесен за печат. Освен това е малко по-издръжлив и може по-добре да запази еластичността си на студ.

Термопластичният кополиестер (TPC) е друга разновидност на TPE, макар и не толкова често използван като TPU. Подобно в повечето отношения на TPE, основното предимство на TPC е неговата по-висока устойчивост на химическо и UV излагане, както и на топлина (до 150 градуса). Използвайте TPE или TPU, когато създавате обекти, които трябва да понесат много износване. Ако вашата 3D отпечатана част се огъва, разтяга или компресира, тези нишки за 3D принтер трябва да са готови за задачата. Примерните разпечатки могат да включват играчки, калъфи за телефони или устройства за носене (като ленти за китки). TPC може да се използва за подобни приложения, но се справя особено добре в по-сурови среди, като на открито.

Д. Найлон

Найлонът, популярно семейство синтетични полимери, използвани в много промишлени приложения, е предпочитан метод за прахово сливане на 3D печат. Като нишка за 3D печат, той се отличава там, където здравината, гъвкавостта и издръжливостта са ключови изисквания. Друга уникална характеристика на тази нишка за 3D принтер е, че можете да я боядисате преди или след процеса на печат. Отрицателната страна на това е, че найлонът, подобно на PETG, е хигроскопичен, което означава, че абсорбира влагата, така че не забравяйте да го съхранявате на хладно и сухо място, за да поддържате нишката в отлично състояние, осигурявайки по-добро качество на отпечатъците. Възползвайки се от здравината, гъвкавостта и издръжливостта на найлона, този тип нишки за 3D принтер може да се използва за създаване на инструменти, функционални прототипи или механични части (като панти, катарамии или зъбни колела).

Е. PC (ПОЛИКАРБОНАТ)

Поликарбонатът (PC), освен че е един от най-здравите нишки за 3D принтер е изключително издръжлив и устойчив както на физическо въздействие, така и на топлина, способен да издържи на температури до 110 градуса. Освен това е естествено прозрачен, което обяснява използването му в търговски артикули като бронеустойчиво стъкло, водолазни маски и електронни дисплеи. За разлика от акрил и плексиглас материала, компютърът е умерено гъвкав (макар и не толкова, колкото найлона, например), което му позволява да се огъва, докато в крайна сметка се деформира.

Нажежаемата нишка за PC 3D принтер е хигроскопична, абсорбира вода от въздуха, така че трябва да се съхранява на хладно и сухо място, за да се осигури по-добро качество на разпечатките.

Поради своите физически свойства, поликарбонатът е идеална нишка за 3D принтер за части, които трябва да запазят своята здравина, здравина и форма в среда с висока температура, като електрически, механични или автомобилни компоненти.

V. ЕКЗОТИЧНИ ВИДОВЕ НИШКИ ЗА 3D ПРИНТЕР

Тези нишки са особено популярни при използване на 3D принтери за развлечения. В тази категория попадат: Пълнени с дърво, Пълнени с метал, Биоразградим, Проводими, Магнитни, Глина/керамика, Въглеродни влакна, Стъклени влакна.

VI. БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ

Напоследък технологията се усъвършенства сравнително бързо поради появата на различни подобрения и сливания на различни области на инженерството, както и разработването на материали. Излишно е да се споменава, че времето на производствения цикъл и включените капиталови разходи са сравнително по-малко при конвенционалните производствени процеси като леене под налягане, леене, машинна обработка с минимално генериране на скрап и други подобни, но адитивното производство има гъвкавостта при проектирането. Сложни геометрии на части също могат да бъдат произведени с намалено оборудване и много по-голяма точност

3D принтиращите технологии тепърва ще търпят развитие както и влагащите филаментите –материалите в създаване на нови и принципно нови продукти.

Все още липсват трибологични изследвания при 3D материалите. Друг фактор за трибологичните свойства е зададените параметри при 3D печат, които могат да варират. Предстои да се изследват трибологичните свойства на 3D принтирани материали при различни режими на 3D печат, както и от различни производители.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пластичният поток в контактната зона на инструмента – работна зона увеличава коефициента на триене. Температурата в зоната на контакт може също да надвишава точката на топене на материала. Поръзността на отпечатаните части също играе важна роля върху трибологичните процеси като триене и износване. При избора на материал за 3D печат е важно той да бъде съобразен с желания изходен продукт (детайл). Най-често влияещите фактори при избора на материал за 3D печат са: сила, гъвкавост, издръжливост, изкривяване, температура на печат, безопасност. Потребителски параметри като гъвкавост, издръжливост, температура на печат и други са показани в таблица 2.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването в настоящата статия е осъществено с подкрепата на Националната програма на МОН „Млади учени и пост-докторанти 2“ одобрена с РМС 206/07.04.2022 г. и от 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“.

ТАБЛИЦА 2 ПОТРЕБИТЕЛСКИ ПАРАМЕТРИ НА ПОЛИМЕРИ ЗА 3D ПЕЧАТ

Вид	Сила	Гъвкавост	Издръжливост	Трудност при използване	Температура на печат	Температура на леглото за печат	Изкривяване	Разтворимост	Безопасност за храните
PLA	Висока	Ниска	Средна	Ниска	180°-230°	20°-60°	Минимално	Не	Указания на потребителя
ABS	Висока	Средна	Висока	Средна	210°-250°	80°-110°	Значително	В естери, кетони и ацетон	Не
PETG	Висока	Средна	Висока	Ниска	220°-250°	50°-75°	Минимално	Не	Указания на потребителя
TPE, TPU, TPC	Средно	Много висока	Много висока	Среден (TPE, TPC); Ниско (TPU)	210°-230°	30° – 60°	Минимално	Не	Не
НАЙЛО Н	Висока	Висока	Висока	Средна	240°-260°	70°-100°	Значително	Не	Указания на потребителя
PC	Много висока	средна	Много висока	Средна	270° – 310°	90°-110°	Значително	Не	Не

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Buchkov D., Kunev M., Material science, editor Buchkov D., Publisher Technics, Sofia, 2007 (in Bulgarian).
- [2] A. Paterlini a b, A. Stamboulis a, V. Turq c, R. Laloo c, M. Schwentenwein d, D. Brouczek d, M. Piccinini b, G. Bertrand
- [3] H.Peter Jost, Tribology — Origin and future, Wear, Volume 136, Issue 1, February 1990, Pages 1-17
- [4] S. Affatato, L.Grillini, Topography in bio-tribocorrosion, Bio-Tribocorrosion Biomater. Med. Implant, Woodhead Publishing
- [5] G. Lenard, Tribology, Prim. Flat Roll (second ed.) (2014), pp. 193-266,
- [6] Z. Jin, J. Fisher, Tribology in joint replacement, Jt. Replace. Technol (2008), pp. 31-55,
- [7] Assenova, E Kandeва, M, State and Outlooks of Bulgarian Tribology, Journal of the Balkan Tribological Association, 6th International Conference on Tribology (BALKANTRIB 08), JUN 12-14, pp. 274-283, 2008
- [8] Kandeва, M., The Interdisciplinary Paradigm of Tribology, Journal of the Balkan Tribological Association, ISSN 1310-4772, Vol 14, Issue 4, pp. 421-430, 2008
- [9] M. Kandeва, N. Stoimenov, G. Kotseva, Abrasive Wear of Polymeric Composite Materials Obtained With 3D Print Technology. Part II Composite Polymer Materials Composite Polymer Materials Journal of the Balkan Tribology Association Vol. 28, Issue 4, pp. 469-480, 2022, ISSN: 1310-4772
- [10] Rahul Roy, Abhijit Mukhopadhyay, Tribological studies of 3D printed ABS and PLA plastic parts, Volume 41, Part 4, 2021, Pages 856-862
- [11] Dhakal N., Wang X., Espejo C., Morina A., Emami N., Impact of processing defects on microstructure, surface quality, and tribological performance in 3D printed polymers, Journal of Materials Research and Technology, Volume 23, 2023, pp. 1252-1272, ISSN 2238-7854
- [12] M. Mani, K.W. Lyons, S.K. Gupta, Sustainability characterization for additive manufacturing, J Res Natl Inst Stand Technol, 119 (2014), pp. 419-428, 10.6028/jres.119.016
- [13] Nikolov S., Dimitrova R., Dimitrov S. Using of 3D printing technologies in the manufacture of mechatronic products, 13th National Conference with International Participation ELECTRONICA 2022
- [14] Popov B., Paneva M., Stoimenov N., Klochkov L., Survey and analysis of materials for 3d printing, 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. 218-221
- [15] https://formlabs.com/eu/blog/3d-printing-materials/?fbclid=IwAR1oVxn8Z-nWnr4ruI5p4wXm5TsCeJ93eIwCvbw_wJd1AgsmVckEUBWaulQ, last accessed May 2023

TRIBOLOGICAL STUDIES OF 3D PRINTED FILAMENTS. AN OVERVIEW

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: nikistoimenow@gmail.com

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

Abstract: This article discusses tribology science. Attention is paid to the tribological behavior and friction behavior of 3D printed samples. Experimental data obtained using the most common 3D printing materials (ABS and PLA thermoplastics) in 3D printers are reviewed and analyzed.



ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
A. Boneva	44
A. Genchev	72, 78
D. Minkovska	131
E. Antonova	131, 135
G. Karlovski	82, 86
I. Vrublevsky	128
K. Chernyakova	128
M. Bunevich	128
N. Lushpa	128
N. Valchkova	34, 40
O. Nakov	131
P. Minkovska	135
P. Raykov	34
R. Calovska	72, 78
R. Zahariev	34, 40
S. Biliderov	72, 78
S. Ivanov	44
V. Ivanova	44
V. Tsvetkov	40
Y. Doshev	44
А. Лазарова	21, 113
Б. Бахчеванов	21, 113
Б. Георгиев	14, 17
В. Бояджиев	8, 11
В. Миленов	143
Г. Коцева	138, 150
Г. Павлова	56
Г. Цветанов	3, 14, 17, 62, 101, 105
Д. Авишай	56
Д. Василев	118
Д. Димов	143



ФАМИЛИЯ АВТОР	СТРАНИЦА ОТ СБОРНИКА
Д. Илиева	91, 96
Д. Тотев	124
Е. Петров	68
И. Мицев	21, 113
И. Пеева	51
И. Радкова	109
К. Камбушев	91, 96
Л. Клочков	150
М. Камбушев	91
М. Митова	143
М. Томова	138
М. Топалова	146
М. Хаджиева	146
М. Цветкова-Арсова	138
Н. Петров	101, 105
Н. Стоименов	138, 150
П. Райков	68
П. Рачев	3, 62
П. Томов	143
Р. Димитрова	21, 27, 113
С. Димитров	21, 113, 118
С. Къртунов	3, 14, 17, 62
С. Николов	27
С. Цолов	21, 27, 113
Т. Андонова-Вакарелска	109
Ч. Костадинов	51

Организационният комитет благодари на нашите спонсори



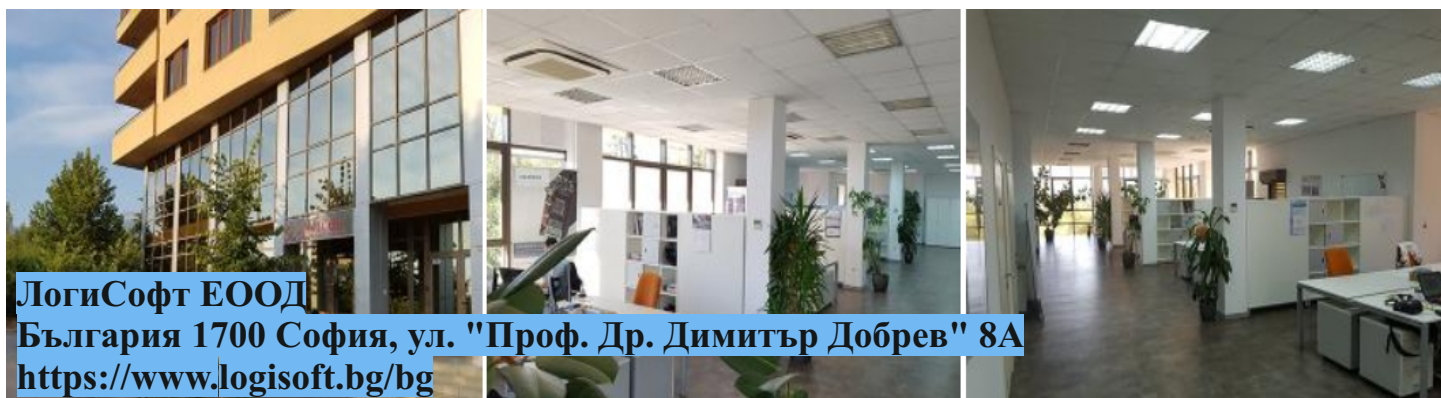
Ванико ООД
България 2700 Благоевград, ул. "Черни връх" № 3
<https://www.vaniko.com>



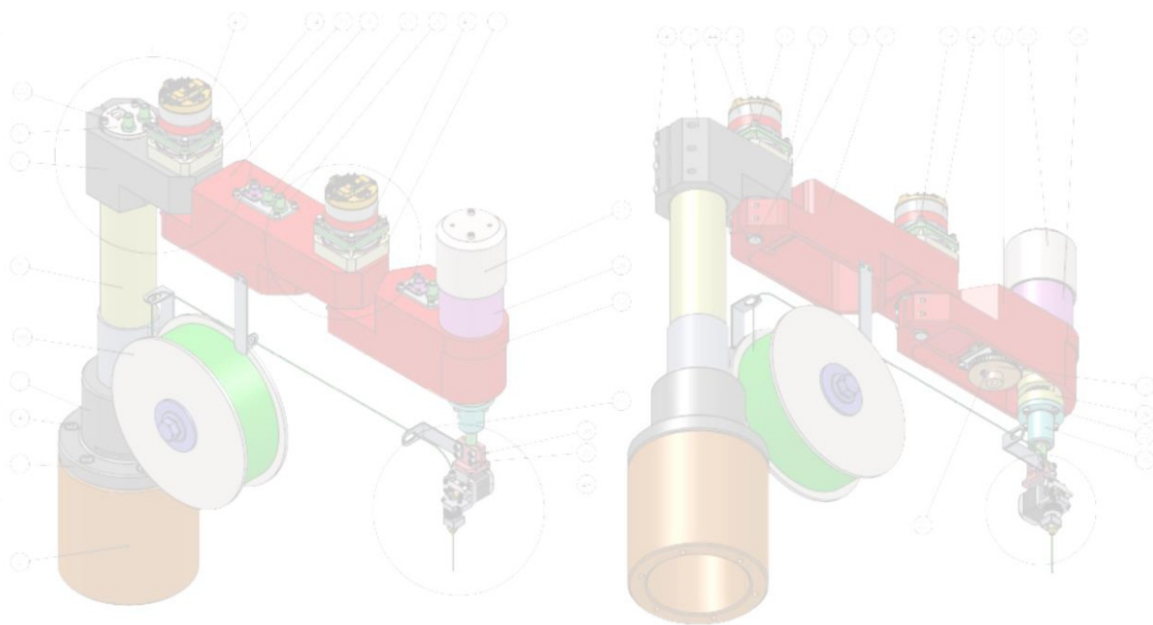
КМС ИНЖЕНЕРИНГ ООД
България 4000 Пловдив, ул. Беласица № 59
<http://www.kms-e.de>



ФЕСТО ЕООД
България 1592 София, ул. "Христофор Колумб" 9
<https://www.festo.com/bg>



ЛогиСофт ЕООД
България 1700 София, ул. "Проф. Др. Димитър Добрев" 8А
<https://www.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.

