

DELIVERABLE 4.4.2 COURSE EDUCATIONAL MATERIALS COLLABORATIVE ROBOTS

PROJECT "GREEK BULGARIAN BUSINESS PARTNERSHIP BY ASSISTANCE, SERVICES, SOLUTIONS TO PROMOTE OPEN REGIONS TEAM"

ACRONYM "GR BG BUSINESS PASSPORT"
INTERREG V-A COOPERATION PROGRAMME
GREECE - BULGARIA 2014 - 2020

THE PROJECT IS CO-FUNDED BY THE EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND (ERDF) AND BY NATIONAL FUNDS



АВТОР

ПРОФ. ТАНЬО ТАНЕВ

КОЛАБОРАТИВНИ РОБОТИ

01 ВЪВЕДЕНИЕ

Роботизираните системи преобрази индустриалното производство с появата си в началото на 60-те години на 20 век. Предизвикателството за създаването на гъвкави решения където производствените линии могат бързо да се пренастройват и адаптират з нови или променени продукти е важен и отворен проблем в настоящия момент. В близко бъдеще пълната автономност на роботите за изпълнение на сложни задачи в неструктурирана среда е все още трудна и непосилна цел, затова разработването на роботизирани колаборативни системи, при които човек-работник може да поеме сложни задачи, които са непосилни за робота са от голям интерес. По такъв начин човек и робот споделят общо работно пространство и извършват различни манипулационни задачи като работят съвместно (колаборативен подход). Способността за работа на роботите заедно с хората увеличава значението на колаборативните работи в автоматизация на индустрията, като тази уникалната функция е много необходимо свойство сред роботите в днешно време. Традиционните промишлени работи са устройства, които се програмират да работят върху специфични задачи. Обикновено те са затворени в производствени клетки с цел безопасност (Фигура 1 и Фигура 2). Най-често са в ярък цвят за да предупреждават околните работници за опасността, която представляват. За програмирането на промишлените работи да извършват определени задачи се изискват специализирани умения, знания и време за програмиране при променящи се задачи.

СЪДЪРЖАНИЕ:

01 Въведение

02 Статистически данни за приложение на работи

- 2.1. Инсталирани работи през периода 2011 г. -2020 г. в световен мащаб
- 2.2 Инсталирани работи по вид индустрия за годините 2018, 2019 и 2020.
- 2.3. Инсталирани колаборативни и традиционни работи за годините 2017, 2018, 2019 и 2020.

03 От традиционни към колаборативни работи

- 3.1. Кратка история на индустриалните работи
- 3.2. Връзки към видео клипове за приложение на индустриални работи
- 3.3. Класификация на работи
 - 3.3.1. Класификация според механичната конструкция
 - 3.3.2. Класификация на работи според тяхното приложение
 - 3.3.3. Класификация на работи според начина на движение
- 3.4. Преход от индустриални към колаборативни работи

04 Приложения на колаборативните работи

- 4.1. Основни приложения
- 4.2. Защо колаборативните работи са по-добър вариант за малкия бизнес?
- 4.3. Колаборативни работи и индустрия

05 Приложения на колаборативните работи

- 5.1. Колаборативни работи на фирмата ABB
 - 5.1.1. Еднорък робот YuMi®
 - 5.1.2. Двурък робот YuMi®
- 5.2. Колаборативни работи на фирмата UNIVERSAL ROBOTS
 - 5.2.1. Колаборативен робот UR3
 - 5.2.2. Колаборативен робот UR5
 - 5.2.3. Колаборативен робот UR10
- 5.3. Колаборативни работи на фирмата Rethink Robotics GmbH
- 5.4. Колаборативни работи на фирмата FANUC
- 5.5. Колаборативни работи Omron TM на фирмата Omron
- 5.6. Колаборативен робот Panda
 - 5.6.1. Програмиране и управление на робот Panda

06 Заключение



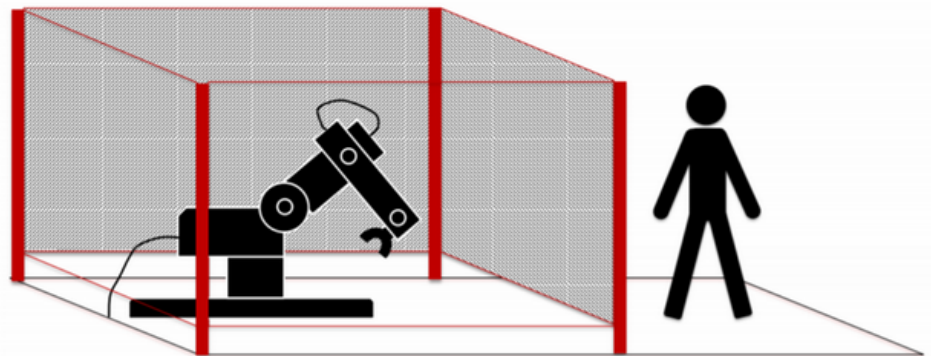
Фиг.[1].

Индустриален робот в производствена клетка (Prof. Paolo Rocco, Control of industrial robots - Collaborative robotics, Politecnico di Milano)

Фиг.[2].

Схема на работна клетка с индустриален робот – достъпът на работниците - оператори се ограничава с предпазни рамки (ria –Robotic Industrial Association)

Колаборативните роботи, от друга страна, са проектирани да работят с хора и се различават от традиционните индустриални роботи, които функционират отделно от работниците. Терминът „кобот“ се използва като наименование за колаборативни роботи. Коботите са проектирани за директно взаимодействие с работници - човеци, за справяне със споделени задачи и за безопасно функциониране без конвенционални предпазни клетки или подобни защитни мерки (Фигура 3).



При тях са вградени функции за безопасност като интегрирани сензори, пасивна податливост на ставите или откриване на свръхток. Вградените сензори ще почувстват

наличие на външна сила и, ако тази сила е твърде висока, роботът ще прекрати движението си. Пасивна податливост на ставите се осъществява от механични компоненти.

Фиг.[3].

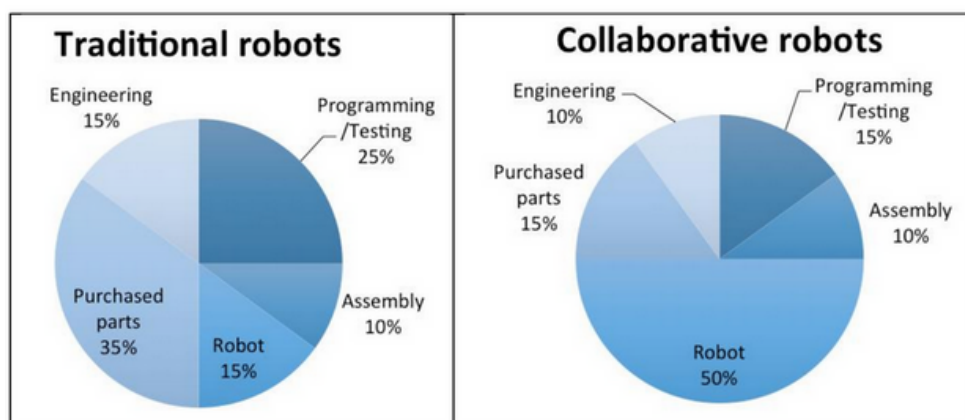
Колоборативен робот работещ съвместно с работник



Днес повечето компании очакват тази технология с нетърпение, тъй като тя спестява много пари, които се харчат за изграждане на отделни клетки и изолирани работни пространства за класически роботи [2]. Също така преносимостта и капацитетът за работа в преконфигурируем формат прави колаборативните роботи най-добрият избор за динамични компании, които трябва да променят своите поточни линии с постоянно нарастващите очаквания на клиентите. Отпадането на необходимостта на предпазни устройства намалява цената на използване на колаборативни роботи, като това ги прави привлекателни за малки и средни предприятия. На Фигура 4 е показана разбивка на разходите при използване на традиционни и съответно колаборативни роботи. Вижда се, че разходите за закупуване на самия традиционен робот е 15%, разходите за части, програмиране/тестване и поддръжка съставлява по-големия процент (85%). Докато при колаборативните роботи тези разходи са в съотношение 50%:50%. С други думи, използването на традиционните роботи се

оскъпява от програмиране/тестване, закупуване на части и поддръжка.

Fig.[4]. Разбивка за разходите за традиционните и съответно колаборативните роботи (Prof. Paolo Rocco, Control of industrial robots - Collaborative robotics, Politecnico di Milano)



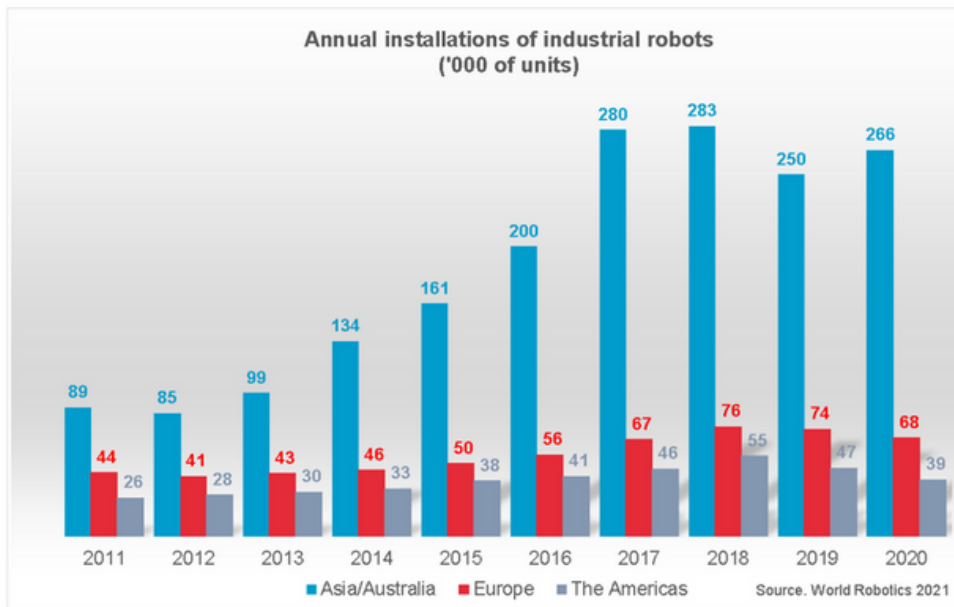
02 СТАТИСТИЧЕСКИ ДАННИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА РОБОТИ

В тази глава са посочени някои статистически данни за инсталиране и пускане в експлоатация на роботи, които данни са публикувани от Международната Федерация по Роботика (IFR).

2.1. Инсталирани работи през периода 2011 г. -2020 г. в световен мащаб

От 2010 г. търсенето на индустриални работи се е увеличило значително поради продължаващата тенденция

към автоматизация и продължаващите технологични иновации в индустриалната роботика. От 2015 до 2020 г. годишните инсталации се увеличават средно с 9% всяка година (CAGR). Между 2005 и 2008 г. средният годишен брой продадени работи е около 115 000 единици, преди глобалната икономическа и финансова криза да доведе до намаляване на броя на роботите до едва 60 000 единици през 2009 г., като много инвестиции бяха отложени.

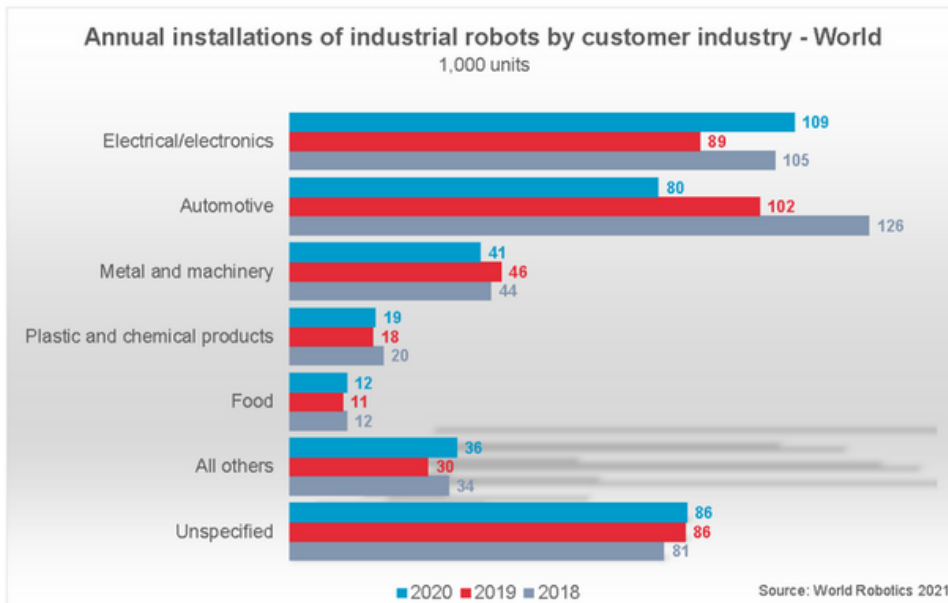


Фиг.[5]. Инсталирани работи през периода 2011 г. -2020 г.

2.2. Инсталирани работи по вид индустрия за годините 2018, 2019 и 2020.

Може да се отбележи, че електронната индустрия стана основен клиент на индустриални работи през 2020 г. Бяха инсталирани 109 315 работи в производството на домакински уреди, електрически машини, полупроводници, слънчеви панели, компютри, телекомуникационни устройства, видео и електронни развлекателни стоки. Това е с 23% повече от предходната година и е второто най-високо ниво, регистрирано някога, след пиковото ниво от 121 955 единици през 2017 г. От 2015 г. търсенето на работи от тази индустрия нараства средно с 11% годишно. През 2018 и 2019 г. глобалното търсене на

електронни устройства и компоненти намаля значително. Клиентите от тази индустрия бяха сред най-засегнатите предприятия, които постраднаха от търговския конфликт между Китай и САЩ, тъй като азиатските страни са лидери в производството на електронни продукти и компоненти. Въпреки това, търсенето на потребителска електроника скочи неимоверно по време на пандемията Covid-19, като електронните компоненти са решаващи във всички видове инженерингова дейност, включително автомобили и машини за промишлеността. Ограниченият производствен капацитет и смущенията във веригите за доставки поради пандемията показаха необходимостта от допълнителен производствен капацитет в електронната индустрия. Графиката на инсталираните работи по вид индустрия за годините 2018, 2019 и 2020 е показано на Фигура 6.



Фиг.[6].

Инсталирани работи по вид индустрия за 2018 г., 2019 г. и 2020 г.

2.3. Инсталирани работи по вид индустрия за годините 2018, 2019 и 2020.

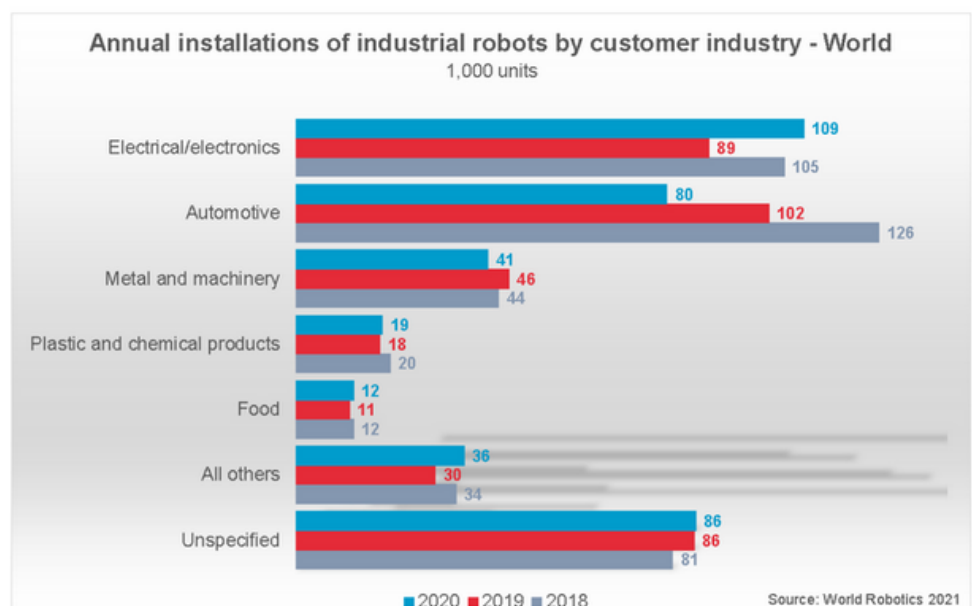
Сравнението за инсталираните колаборативни и традиционни работи за годините 2017, 2018, 2019 и 2020 години е показано на Фигура 7.

Колаборативните работи, известни също така с името „коботи“ сега отварят нови области на приложение, работещи заедно с хората в безопасна среда. Търсенето също се увеличава, защото коботите могат да

Фиг.[7].

Инсталирани колаборативни и традиционни работи

бъдат инсталирани директно в съществуваща производствена система, с по-малко пространство, отколкото конвенционалните работи.



ОЗ ОТ ТРАДИЦИОННИ КЪМ КОЛАБОРАТИВНИ РОБОТИ

Дефиниция за индустриален робот според ISO 8373:2012:

Автоматично управляван, препрограмируем, многофункционален манипулатор, програмируем в три или повече оси, които могат да работят във фиксирано място, или да бъдат мобилни за приложения в автоматизация на индустрията.

3.1. Кратка история на индустриалните роботи

Терминът „робот“ за пръв път се среща в пиесата „R.U.R.: Rossum’s Universal Robots“ на чешкия писател Карел Чапек (Karel Čapek 1890-1938). Друг термин, а именно „роботика (Robotics)“ е въведен от Исаак Азимов (1920-1992) в романа му „Runaround“ (1942).

Развитието на роботите се повлиява от разработването на транзистора, микропроцесора, компютъра, интегралните схеми, цифровото управление. Според [3] еволюцията на индустриалните роботи може да се класифицира в 4 категории:

- **Генерация 0: „Пре-роботи“ – до 1950 г. – пневматични или хидравлични манипулатори;**
- **Генерация 1: Първи манипулатори – 1950 г. - 1967 г. Роботът „UNIMATE“ (1961 г.)**

се смята за първия индустриален робот (Фигура 8. Роботът „UNIMATE“ Фигура 8).

Конструиран е от George Devol and Joe Engleberger, които две години по-рано основават първата компания за роботи Unimation (Universal Automation).

- **Генерация 2: Роботи снабдени със сензори (1968 г. – 1977 г.)**



Фиг.[8].
Роботът „UNIMATE“

Индустриалните роботи от втората генерация са програмируеми машини с ограничени възможности за самоадаптивно поведение и елементарни способности за разпознаване на околната среда. Тези роботи използват сервоконтролери, които им позволяват да извършват както движение от точка до точка, така и непрекъсната траектория. Тяхната система за управление се състои от микропроцесори или от програмируеми логически контролери (PLC), а те също могат да бъдат програмирани от оператор с помощта на устройство за обучение. Нивото им на гъвкавост обаче не е много високо, тъй като всеки робот има собствен софтуер, който е посветен на конкретна задача. В началото роботите се задвижват от хидравлични и пневматични актуатори, но след 1970 навлизат електрическите мотори, когато започват да се използват

микропроцесори и други електронни компоненти в управляващите системи.

Роботът Shakey на SRI (Stanford Research Institute) е първият мобилен робот, който може да взема решения как да се движи в заобикалящата го среда (Фигура 9). От тази генерация могат да се споменат роботите Famulus на KUKA Robot Group, T3 на Cincinnati Milacron (придобита от ABB през 1990 г.). Роботът T3 за първи път се управлява от микрокомпютър.

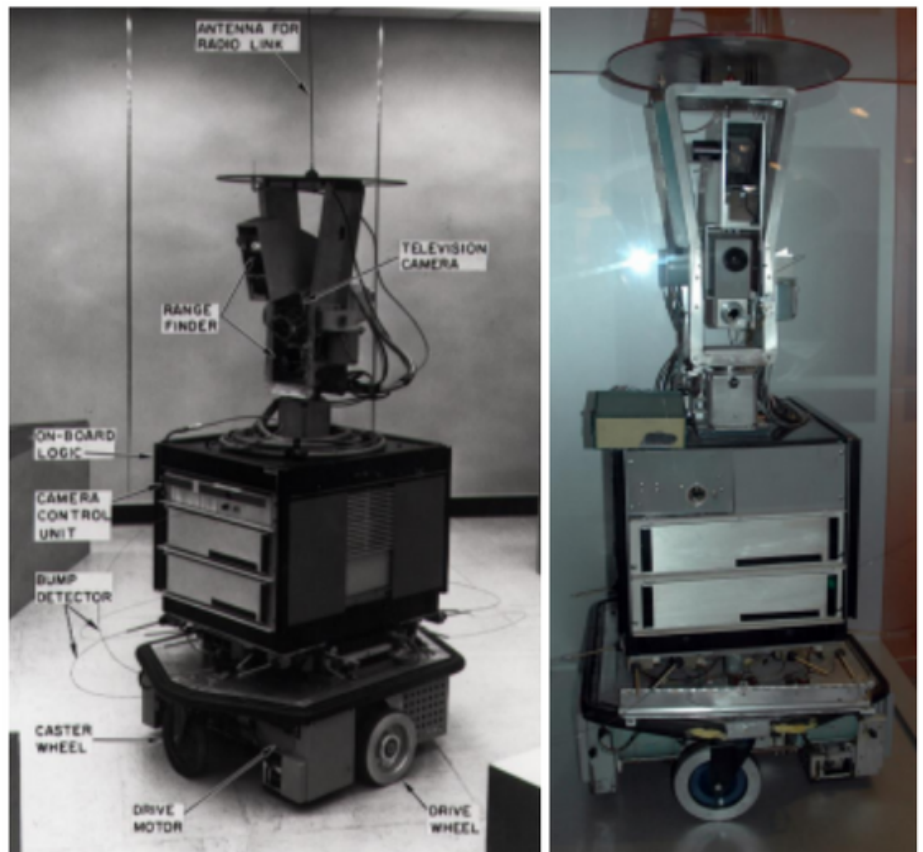
Към тази генерация може да се добави и робот PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly), Фигура 10, разработен от Unimation/Vicarm, USA, с подкрепата на General Motors (1978 г.).

- Генерация 3: Индустриални роботи (1978 г. -1999 г.)

След 1980 г. много компании търсят решения за автоматизация на производствени процеси, в резултат на което се инвестират доста средства за внедряване на работи в поточните линии на компаниите. Това е най-значимо в автомобилната индустрия, където роботите се използват за монтаж, заваръчни операции, боядисване и др. При автомобилната индустрия има значимо внедряване на работи, но далеч не е единствената през този период.

Много операции за асемблиране, пакетиране, заваряване и други използват работи.

При тази генерация роботите имат собствени контролери, разработват се нови езици за програмиране на работи - VAL(1979 г.), Karel (FANUC - 1988 г.), Rapid (ABB 1994 г.). Освен че могат да се репрограмират, те още се характеризират с появата на елементи на изкуствен интелект. Освен в индустрията, започват да се разработват и работи за развлекателни цели, за обучение и др. Например роботът - куче AIBO (Artificial Intelligence roBOt) на Sony се появява на пазара през 1999 г.



Фиг.[9]. Роботът „UNIMATE

През 1978 е разработена и нова конструкция на робот SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) от японския учен Hiroshi Makino (Фигура 12). Характеризира се с паралелни оси и лека податливост в X-Y направление и твърдост в Z направление. Робот SCARA се произвежда от много фирми и намира широко приложение - в асемблиращи клетки, завинтване, трансфер на детайли от един процес до друг, дозиране, 3D принтиране и др.



Фиг.[10]. Робот PUMA
(<https://ifr.org/robot-history>)

Освен т.н. серийни роботи (с последователно разположени оси), се разработват и паралелни роботи. През 1992 г. се появява роботът Delta, разработен от швейцарския учен Reymond Clavel в Ecole Poly-technique Fédérale de Lausanne (EPFL). Поради много леката му конструкция Delta може да оперира с много висока скорост. Намира широко приложение в различни области. Един такъв тип робот Delta на фирмата ABB е показан на Фигура 13.



Фиг.[11]. Роботът
– куче AIBO на Sony



Фиг.[12]. Фигура 12.
Един от първите
прототипи на
робот SCARA



Фиг.[13]. Фигура 13.
Робот Delta на
фирмата ABB

- **Генерация 4: Интелигентни работи (2000 г. – 2017 г.)** <https://www.youtube.com/watch?v=v5LСaE-7oR0> (хранителна индустрия – сортиране)

Тази генерация работи са снабдени с компютърни високи технологии. Тези компютри не само работят с данни, но също така могат да извършват логически разсъждения и да се учат. Също така започват да се използва и изкуствен интелект, усъвършенствани сензорни системи. Разработват се и сервизни и персонализирани работи.

3.2. Връзки към видео клипове за приложение на индустриални работи

- **Робот Delta:**

<https://www.youtube.com/watch?v=mz2Tdye6K0k&t=2s>

<https://www.youtube.com/watch?v=GcqtMTIzfU4&t=12s>

<https://www.youtube.com/watch?v=ocqYae93YuE&t=76s>

<https://www.youtube.com/watch?v=id1bsrgp9cg>

<https://www.youtube.com/watch?v=wg8YYuLLoM0> (сортиране на палачинки)

<https://www.youtube.com/watch?v=A3veyTZc-Q> (накетиране)

<https://www.youtube.com/watch?v=ciFym5XLCiU> (ABB FlexPicker Delta robot demo)

3.3. Класификация на работи

Роботите могат да се класифицират по различни признаци:

3.3.1. Класификация според механичната конструкция

- **Антропоморфни** – при тях всички стави са ротационни;
- **Декартови** - работи с три трансляционни стави и чиито оси са свързани с декартова координатна система;
- **Цилиндрични:** работи, чиито оси образуват цилиндрична координатна система
- **SCARA робот:** робот с три ротационни стави с

- успоредни оси, с което се осигурява известна податливост в хоризонталната равнина;
- Паралелни – работи, чиито две платформи са свързани с две или повече кинематични вериги;
- Други: Роботи, които не са обхванати от един от горните класове.

Горната класификация е илюстрирована на Фигура 14.

3.3.2. Класификация на работи според тяхното приложение


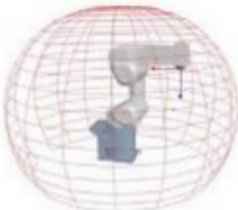


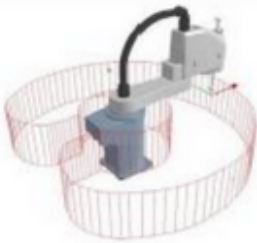

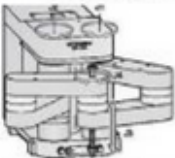
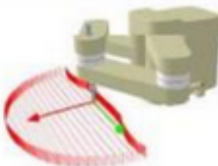







Според този критерий могат да се различат индустриални и неиндустриални работи [5]:

1. Индустриални работи – най-често са стационарни манипулатори за изпълнение на различни повтарящи се задачи в различна работна среда. Използват се за изпълнение на различни задачи като заваряване, боядисване, механична обработка, пробиване, обслужване на машини, сглобяване и др. Примери за подобни работи са показани на Фигура 12 и Фигура 13.

2. Неиндустриални работи - различни видове работи, които се използват за различни специални цели в различни сектори като медицина, космос, отбрана,

сигурност, развлечения, домакинство и др.

• **Медицински роботи:** тези роботи се използват в медицината за различни цели като извършване на операции, рехабилитация, обучение и др. Медицинските роботи не заместват хирурга, а работят като хирургически асистент при извършване на различни операции. Един от най-разпространените медицински роботи е Da Vinci (Фигура 15).

Principle	Kinematic Structure	Photo
Articulated Robot 		
SCARA Robot 		
SCARA Robot 		
Cartesian Robot 		
Parallel Robot 		

Фиг.[14]. Видове роботи според механичната конструкция (International Federation of Robotics)



Фиг.[15]. Медицински робот Da Vinci

- **Отбрана и сигурност:** различни роботи за сигурност се използват за обезвреждане на бомби, наблюдение с помощта на дронове, транспортиране и разузнаване и др. Роботите за отбрана имат различни сензори като инфрачервени сензори и др., което им позволява да реагират по-бързо от хората по време на извънредна ситуация. Роботи се използват за наблюдение и охрана на големи цивилни съоръжения, атомни електроцентрали, петролни рафинерии и др. Например NETRA UAV на DRDO (Фигура 16).

Грижещите се за възрастни хора също могат да получават известия при спешни случаи от робота чрез мрежата. Роботът събира информация за здравословното състояние на потребителите и обменя информация с облачна експертна система или лекари, за да улесни живота на възрастните хора, особено на тези с хронични заболявания. Пример за робот-асистент е Care-o-bot (Фигура 17), разработен в Германия.

- **Домакински работи:** домакинските работи се използват за изпълнение на различни ежедневни задачи у дома. Примерите за домакински работи включват роботизирана прахосмукачка (Фигура 18), роботизирана съдомиялна машина, роботизирана машина за почистване на прозорци, роботизирана кафемашина и др.



Фиг.[16]. Дрон NETRA



Фиг.[17]. Care-o-bot 3



Фиг.[18]. Роботи - прахосмукачки

- **Асистиращи работи** - те са в състояние да асistirат възрастните хора, например да предотвратят падането или помощ при спешни здравословни ситуации, като сърдечни заболявания.



- Космос:** Роботите са намерили своето приложение в различни космически изследвания и космически мисии. Роботизираните роувъри се използват за изучаване на различни небесни тела като планети, звезди и т.н. Примерите за използване на роботи при изследване на космоса включват Perseverance (Фигура 19б), Curiosity (Фигура 19а), Pioneer, Robonaut, RASSOR и др.



*Фиг.[19]. а) Curiosity б) Perseverance
Роботи за изследване на планети (Марс)*

- Забавление:** роботите също са използвани за развлекателни цели на различни места като увеселителни паркове, спортове и т.н. Примерите за роботи за забавление включват KUKA Robocoaster, Asimo на Honda, Aibo на Sony и др. (Фигура 20).

*Фиг.[20]. а) KUKA Robocoaster б) Asimo на Honda
Роботи за забавление*



- Домакински работи:** домакинските работи се използват за изпълнение на различни ежедневни задачи у дома. Примерите за домакински работи включват роботизирана прахосмукачка (Фигура 18), роботизирана съдомиялна машина, роботизирана машина за почистване на прозорци, роботизирана кафемашина и др.



3.3.3. Класификация на роботи според начина на движение

1. **Стационарни роботи** – най-вече с приложение в индустрията, където роботите работят в добре дефинирана среда. Роботите обикновено се монтират на стабилните основи. Позицията на грипера се определя въз основа на конфигурацията на работа.

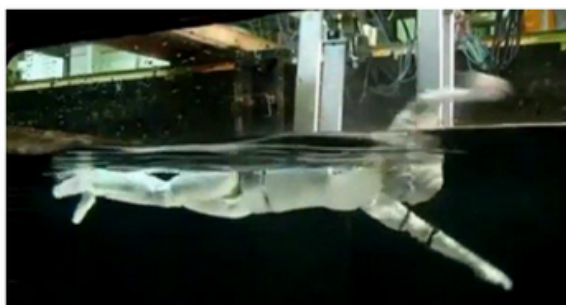
2. **Мобилни роботи** - тези работи не са фиксирани към повърхността и са в състояние да се движат свободно по повърхността. Мобилните работи могат да бъдат от различни видове, като крачещи, колесни работи на колела, плуващи работи и летящи работи и др.:

- Крачещи работи - Това са ходещи работи, които използват крайници за движение. Тези работи са трудни за проектиране и се използват главно за движение в силно неструктурирана среда. Роботите с крака са способни да се движат по всякакъв вид пътека и терен. Те могат да бъдат двукраки (Фигура 20б), триноги, четириноги (Фигура 21а) или хексаподи (Фигура 21б).

- Колесни работи - те имат колела за движение и могат да бъдат едноколесни, двуколесни, триколесни, четириколесни или многоколесни и др.

- **Плуващи и подводни работи** - използват за работа под вода и за подпомагане на навигацията при плуване. Пример за плуващи работи са PacX Wave Glider и Swumanoid робот (хуманоиден плуващ робот) (Фигура 22).

Фиг.[22]. а) Хуманоиден плуващ робот б) Подводен робот Плуващи и подводни работи



Фиг.[21]. а) Четириног робот на Boston Dynamics б) Крачец робот с шест крака (хексапод) Hector



- **Летящи работи** - могат да бъдат или микро работи, които имитират морфологията на насекомо, или по-големи безпилотни летателни апарати (дронове).

3.4. Преход от индустриални към колаборативни работи

При интелигентните индустриални работи започват да се използват изкуствен интелект, усъвършенствани сензорни системи и компютърни високи технологии. Колаборативни работи са снабдени с интелигентни функции като сензори за зрение и сила. Гъвкавостта на коботите означава, че те могат да изпълняват задачи като палетизиране, манипулиране на части, сглобяване, дъгово заваряване и др. Производителите, използващи коботи, особено тези, включващи зрение и системи за инспекция, не само виждат повишаване на качеството и ефективността, но и намаляване на изискването персоналът да работи в непосредствена близост един до друг.

Най-вече терминът „кобот“ се използва, когато говорим за работи с ограничена сила. Така че по принцип може да се каже, че робот с ограничена сила е кобот. Въпреки че индустриалният робот може да се използва за съвместни задачи, той обикновено не е ограничен по сила и тези видове работи се нуждаят от допълнителни устройства за наблюдение, за да могат безопасно да изпълняват задачи заедно с хората.

Определение за колаборативност е: Действието на работа с някого за производство или създаване на нещо. Това е и целта на колаборативните работи.

Колаборативен робот се определя не само от целта или използването на робота, а от неговата функционалност или по-точно как работи. Погрешно се смята, че колаборативният робот е робот, който се използва без ограда и който може да работи около хората. Това наистина го прави колаборативен, но не и колаборативен робот. **Има различни типове колаборативни работи и само един вид колаборативни работи може да се използва без никакви допълнителни функции за безопасност.**

Съгласно международните стандарти ISO 10218, част 1 и част 2, има четири типа колаборативни функции за работи [6]:

- **Безопасно следено спиране** - Този вид колаборативна функция се използва, когато роботът в повечето време работи без присъствието на човек и само рядко се налага човек да влезе в работното пространство на робота. Като пример може да се посочи определена операция от работник върху детайл, докато е в пространството на робота, т.е. роботът извършва тежка операция върху детайла и работник трябва да извърши вторична операция върху нея, докато роботът все още се справя с операцията си. По този начин човекът може да работи върху детайла и все още да бъде в пространството на робота. Ако човекът влезе в зоната с ограничен достъп в предварително определената зона за безопасност, роботът ще спре напълно движението си. В този случай, роботът не е изключен, но спиращките се задействат. Тези видове работи са най-ефективни, когато

хората работят предимно отделно от робота, но може да се приближат за малко време. В противен случай може да се загуби много време, тъй като роботът непрекъснато спира за операциите извършвани от работника.

- **Ръчно водене и обучение**

- Този тип колаборативно приложение се използва за ръчно насочване или обучение на траекторията. При този тип колаборативност се използват обикновени промишлени работи, но оборудвани с устройство, което „усеща“ силите, които работникът прилага върху робота. Най-използваното устройство за постигане на такова колаборация е сензор за сила и въртящ момент. Този тип колаборация се прилага за робота, само докато изпълнява тази конкретна функция, което означава, че когато роботът функционира в другите си режими ще трябва да има защитни устройства.

- **Мониторинг на скоростта на робота и движението на хората** - Работното пространство на робота се следи от лазери или система за зрение, която проследява позицията на

работниците. Роботът ще действа в рамките на функциите на зоните за безопасност, които са предварително проектирани за него. Ако човекът е в определена зона на безопасност, роботът ще реагира с определени скорости (обикновено бавни) и ще спре, когато работникът се приближи твърде близо. Така че, когато работниците се приближават до робота, той забавя, когато работниците се приближават още по-близо, роботът забавя още повече или спира. На следващия линк може да се наблюдава подобна функция на колаборативен робот: <https://www.youtube.com/watch?v=4JNJ1LHSAwA&t=48s>.

- **Ограничаване на мощността и силата** -

Основната характеристика на тези работи е способността им да следят силите в ставите си. Това им позволява да откриват кога върху тях се прилагат необичайни сили в процеса на изпълнение на дадена операция. В тези ситуации те могат да бъдат програмирани да спират или понякога да се движат в посока противоположна на

първоначалния контакт. Това означава, че те могат да реагират незабавно, ако влязат в контакт с човек и може би да разсеят част от енергията, прехвърлена от удара. Този вид функция дава най-пълно описание на коботите. Най-често конструкцията на колаборативните работи е компактна и със закръглени ергономични форми.

04 ПРИЛОЖЕНИЯ НА КОЛАБОРАТИВНИТЕ РОБОТИ

Хората и коботите могат да работят заедно, като тази колаборация може да се класифицира в следните видове [7]:

- **Съвместно съжителство** - човекът оператор и коботът са в една и съща среда, но като цяло не взаимодействат един с друг.
- **Синхронизирано**, когато човекът-оператор и коботът работят в едно и също работно пространство, но по различно време.
- **Сътрудничество**, когато човекът-оператор и коботът работят в едно и също работно пространство по едно и също време, въпреки че всеки се фокусира върху отделни задачи
- **Колаборация**, когато човекът-оператор и коботът трябва да изпълнят дадена задача заедно. В този случай действието на единия води до непосредствени последици за другия, благодарение на специални сензори и системи за зрение.

- Традиционните индустриални роботизирани системи изискват специализирани ограждения за работната област за осигуряване на безопасност, което намалява гъвкавостта, като същевременно увеличава разходите и необходимото пространство. Настоящият пазар обаче изисква намаляване на производственото време и масово персонализиране, като по този начин налага гъвкави и многофункционални роботизирани системи за осъществяване на определени операции. Тези нужди са особено често срещани за малките и средните предприятия. По тази причина коботите могат да отговорят на тези нужди и изисквания на малките и средните предприятия при реализиране на производствени операции. Тези коботи физически взаимодействат с хората в споделено работно пространство.

Освен това те са проектирани да бъдат лесно препрограмирани дори от неексперти, за да се използват гъвкаво за различни роли в непрекъснато развиващ се работен процес. Сътрудничеството между хора и коботи се разглежда като обещаващ начин за постигане на повишаване на производителността, като същевременно се намаляват производствените разходи, тъй като се съчетават способността на човек да преценява, реагира и планира с повторемостта и силата на робот.

Успешното внедряване на коботите изисква ясно разбиране на техните предимства, както и техните ограничения. Понастоящем приложения с по-бавна продължителност на цикъла, операции с по-ниски скорости на обработка и по-ниска повторемост, са добър избор, както и приложения, при които инструментите на работа са безопасни или могат да бъдат направени безопасни с известна

модификация. Коботите също са подходящи за приложения с ръчни производствени процеси, където пространството е ограничено. Обещаващите приложения включват обслужване на машини, инспекция, сортиране, опаковане, сглобяване, дозиране, шлайфане, полиране и завинтване.

4.1. Основни приложения:

- **Преместване, сортиране, опаковане, палетизиране**

В приложенията за манипулиране на материали артикулите се преместват от една позиция в друга – често наричани операция „Взemi и постави“. Задачата за вземане и поставяне е тази, при която роботът трябва да вземе детайл и да го постави на друго място и/или ориентация. Тук оперирането на детайла е ключовото действие, а не всеки друг процес, който се извършва върху него. В зависимост от нуждите, роботът може да работи редом с работниците, прехвърляйки или сортирайки артикули, или може да извършва опаковане, палетизиране или други процеси.



Фигура 23. Робот извършва пакетиране

- **Обслужване на машини (CNC, преси и др.)**

Обслужване на машината може да бъде скучна и опасна работа, която изисква високо ниво на последователност – дори след много часове работа. Автоматизирането на обслужването на машини повишава безопасността за работниците и ги освобождава за задачи от по-високо ниво. Също така се увеличава производителността и позволява производството да продължи, след като операторите напуснат цеха, което означава, че могат да се поемат по-големи задачи.

- **Премахване на материал (почистване, шлайфане, полиране, пробиване, фрезование)**

Всяка повърхност има малки вариации, така че за да се постигне равномерен завършек на повърхността, шлайфмашината трябва да се срещне с повърхността с

постоянна сила и да се движи с еднаква скорост.

- **Качествен контрол (измерване, тестване, инспекция)**

Лабораториите за качествен контрол обикновено са с малък размер и затова използването на колаборативни роботи за измерване, тестване и инспекция е от съществено значение. Това е особено приложимо за малки и средни предприятия работещи в областта на качествения контрол.

- **Асемблиране (поставяне, монтаж, позициониране, завинтване)**

Когато се автоматизират операциите по сглобяване при колаборативна работа, се увеличава скоростта и качеството на производството, като същевременно се намаляват разходите. Коботът може да

работи безопасно до работниците и да поеме повтарящи се задачи, за да освободи персонала за работа с по-голяма стойност



Фиг.[24].
Обслужване на
обработваща машина от
колаборативен робот



Фиг.[25].
Колаборативен робот
извършващ полираща
операция



Фиг.[26].
Робот за инспекция

- **Асемблиране (поставяне, монтаж, позициониране, завинтване)**

Когато се автоматизират операциите по сглобяване при колаборативна работа, се увеличава скоростта и качеството на производството, като същевременно се намаляват разходите. Коботът може да работи безопасно до работниците и да поеме повтарящи се задачи, за да освободи персонала за работа с по-голяма стойност.

Достъпността, гъвкавостта и лекотата на използване на колаборативни работи отвориха възможности за автоматизиране на малкия бизнес. Следователно колаборативни работи са по-добър вариант за малкия бизнес, който може да няма същия бюджет като големите предприятия. Използването на колаборативните работи намалява разходите за производителите, независимо от размера на бизнеса. В допълнение,



Фиг.[27].

Операция по сглобяване с участие на колаборативен робот

4.2. Защо колаборативните работи са по-добър вариант за малкия бизнес?

Има три основни причини, които трябва да се имат предвид, когато се използват колаборативни работи:

- **достъпни;**
- **лесни за използване;**
- **лесна работа с хора.**

те са лесни за обучение, инсталиране и придвижване, следователно алтернатива за собствениците на малък бизнес, които искат да увеличат производителността, без да наемат допълнителни служители. Малките предприятия се възползват от повишаване на производителността, като същевременно позволяват на служителите да се съсредоточат върху задачи с по-висока стойност. Колаборативните работи са подходящ вариант за малкия бизнес, тъй като няма добавени функции за безопасност, което позволява да се намалят разходите за внедряването им.

Те работят заедно с хората, а не вместо тях. Компаниите могат да освободят персонала си за работа в творчески и иновативни области, като автоматизират рутинните задачи. В резултат на това те им помагат да станат по-продуктивни и печеливши. С използването на традиционните индустриални работи малките предприятия инвестираха огромни суми пари и ресурси в производствения процес. Освен това техните резервни части бяха скъпи и идваха със сложен програмен код, който изискваше квалифициран оператор. Новото поколение колаборативни работи са лесни за програмиране и работят безопасно до хора без защитно оборудване или предпазни клетки, което значително намалява производствените разходи. Колаборативни работи позволяват да се автоматизира производството без ограничения, тъй като техните технологии за разпознаване на сила им позволяват да работят безопасно с хора в едно и също пространство. В допълнение, тяхната лекота на използване означава, че те са бързи за внедряване и лесни за преконфигуриране, когато възникне нужда.

4.3. Колаборативни работи и индустрия 4.0

Тъй като глобалната производствена индустрия навлиза в своята четвърта революция, иновациите като роботика, автоматизация и изкуствен интелект (AI) ще играят все по-голяма роля. Броят на активните индустриални работи в световен мащаб се увеличава с приблизително 14% на годишна база, а автоматизацията продължава да създава нови видове работи с подобрени функционалност и качества. Фабриците на бъдещето вероятно ще включват работи и хора, работещи рамо до рамо, за да отговорят на потребителското търсене – нов свят, за който собствениците на бизнес трябва да бъдат подготвени.

Предимствата на по-гъвкавите и по-евтини колаборативни работи от промишлен клас предоставят чудесен вариант за производителите, които имат трудности да инвестират големи суми капитал в цялостни решения за автоматизация.

Стратегическият напредък на

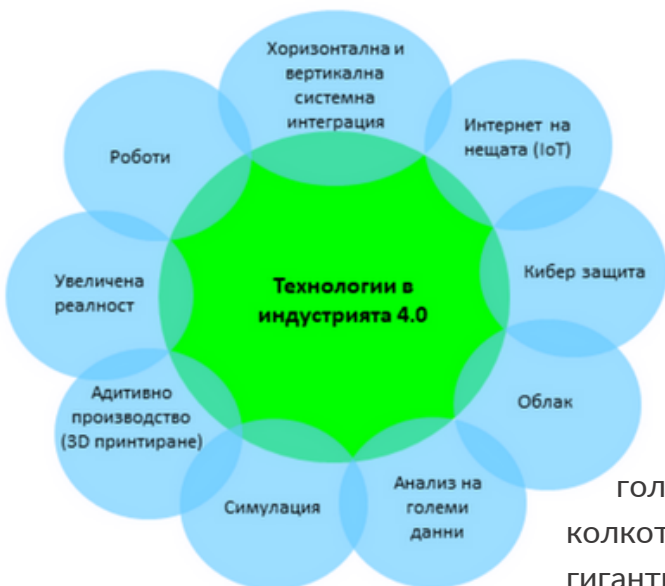
5G, облачната роботика и AI ще направи предпочитано приложение на множество колаборативни системи. Повечето коботи са напълно съвместими с принципите на проектиране на Индустрия 4.0. Оборудвани с мощни бордови компютри, те са оперативно съвместими и лесно могат да се присъединят към Интернет на нещата (IoT) във всяка индустриална среда. Индустрия 4.0, интелигентните фабрики, внедряването за работи и дигитализация вече промениха производствените процеси по целия свят.

Какво представлява Индустрия 4.0?

Човечеството е преживяло колективно три индустриални революции от 1800 г. насам. Всяка революция се характеризира с вълнуваща нова технология, която подобрява производството и процесите към по-добро. Парната машина, поточната линия и компютърът са били катализатор за предишни революции. Индустрия 4.0 се отнася до настоящата индустриална революция, в която се намираме, водена от еволюцията на роботиката, автоматизацията и интернет на нещата (IoT). Индустрия

4.0 предвещава ерата на „умни“ системи и цифрова интеграция.

Технологиите, които са свързани с индустрия 4.0 са показани на Фигура 28.



Фиг.[28].

Технологии, свързани с индустрия 4.0

Нововъзникващите технологии на Индустрия 4.0 могат да повлияят положително на производството поради:

- **Приложението на колаборативни работи може да подобри производителността.**

Въпреки че някои може да разглеждат роботиката и AI като инструменти за заместване на хора-работници, Международната федерация по роботика смята, че по-малко от 10% от работните места могат да бъдат напълно автоматизирани; роботите обикновено са проектирани

да поемат повтарящи се задачи и позволяват на работниците да се съсредоточат върху по-креативни дейности.

Ефективното роботизирано изпълнение на някои задачи може да бъде особено полезно за собствениците на малък бизнес. Малките предприятия обикновено не могат да наемат толкова голяма работна сила, колкото производствените гиганти. Така че автоматизацията може да помогне за изравняване на конкурентно способността. С развитието на Индустрия 4.0, колаборативните работи и автоматизираните мобилни работи (AMR) ще играят все по-важна роля в интелигентните фабрики.

- **Автоматизацията може да намали режимните разходи.**

Въпреки че първоначалната цена при внедряване на колаборативни работи може да е значителна, възвръщаемостта на инвестицията може да бъде бърза. Собствениците на бизнес може да открият, че някои работни позиции вече не са необходими, след като се използва AI, което спестява

разходи незабавно.

Обикновено колаборативните работи изискват само малко пространство за работа и могат безопасно да работят заедно с хора на поточни линии. Потенциалното намаляване на необходимото пространство означава, че компаниите също могат да намалят размера си до повечини работни места и фабрики.

- **Интелигентната технология може да намали човешката грешка.**

Човешката грешка е фактор, който всеки бизнес трябва да планира, а време и енергия се изразходват за отстраняване на проблемите, когато възникнат. Особено когато става въпрос за много повтарящи се или сложни задачи, автоматизацията би могла да се справи с тях с много по-ниска грешка в сравнение с хората – работници. Ако един бизнес има значителни операции с малък марж на грешка, автоматизацията може да е добро място за начало.

В заключение може да се отбележи, че се очаква четвъртата индустриална революция да има далечни последици за бизнеса и хората по целия свят. Бизнесът си струва да

анализира текущите си операции и да прегледа къде може да има възможности за използване на автоматизация или роботика. Бъдещето на производството вероятно ще включва хора, работещи безпроблемно заедно с различни изкуствени интелекти и роботи. Подготовката за внедряване на роботизирани операции може да помогне на даден бизнес да излезе пред конкуренцията и да повиши крайния си резултат.

5.1. Колаборативни роботи на фирмата ABB

ABB е един от най-големите производители на роботи, които произвеждат и колаборативни роботи. Тяхната гама колаборативни роботи включва еднорък и двурък робот YuMi.

изисквани от процесите на сглобяване на малки части, включително потребителска електроника, потребителски стоки и малки и средни предприятия.

Фиг.[29].
Еднорък робот YuMi



05 ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КОМЕРСИАЛНИ КОЛАБОРАТИВНИ РОБОТИ

Както вече беше казано коботите са колаборативни роботи, които имат конструктивни и оперативни механизми, за да се квалифицират като безопасни спътници за съвместна работа с хора-оператори. Присъщите функции за безопасност, ограничената скорост и сила, както и виртуалните ограничения за безопасност ги правят идеален избор за много индустриални операции.

В тази глава са представени характеристики на някои разпространени колаборативни роботи

5.1.1. Еднорък робот YuMi®

• Универсална инсталация за удобно използване

Едноръкият робот YuMi [8] е компактен и лек (9,5 кг) и може да се монтира във всяка посока, включително монтаж на таван, маса и стена, за да се побере в съществуващите производствени линии. Ултралеката магнезиева ръка поддържа ротации по седем оси, за да имитира човешки движения и е с по-голяма гъвкавост в сравнение с 6-осовите роботи. Роботът е специално проектиран да отговори на гъвкавите производствени нужди,

• Лесен за програмиране чрез водене

Едноръкият робот YuMi разполага със същото интуитивно, лесно за използване програмиране чрез водене както двуръкият колаборативен робот YuMi, което означава, че работниците могат да обучават движенията и позициите на работа лесно и бързо, което значително опростява програмирането на работа.

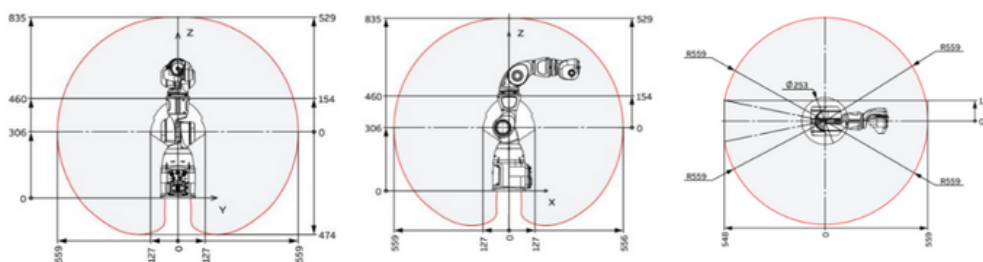
Изключително гъвкаво, семейството роботи YuMi може да се комбинира в множество конфигурации.

Например едноръкият YuMi може да се използва за подаване на детайли към двуръкия YuMi, за да се увеличи гъвкавостта, или добавен като допълнителна ръка за по сложни задачи за сглобяване, изискващи повече от две ръце на работи.

Управляващата система е с име OmniCore. Също така е възможно да се програмира чрез графичен интерфейс (Wizard). Само няколко минути след инсталацията операторите могат да управляват робота YuMi - не се изисква специализирано обучение или умения за програмиране.

• **Основни характеристики:**

1. 7 степени на подвижност;
2. Номинален полезен товар - 500 g;
3. Тегло - 9.5 кг;
4. Размери в основата - 160 × 160 mm;
5. Повторяемост на позицията - 0.02 mm;
6. Достижимост - 559 mm;
7. Размери на работната област са дадени на Фигура 30.



Фиг.[30].

Работната област на еднорък робот YuMi

5.1.2. Двурък робот YuMi®

Това е робот с две ръце, т.е. два едноръки робота YuMi са съединени и притежават едно общо тяло подобно на човек с две ръце (Фигура 31). Той е в състояние да извършва движенията, необходими при сглобяването на малки части в много малко пространство, като същевременно поддържа обхват, подобен на човешкия. Това е от решаващо значение за минимизиране на пространството върху фабричния под и също така прави възможно инсталирането на YuMi® в работните станции, използвани в момента само от хора. YuMi® е колаборативен робот за сглобяване на малки части с две ръце, който включва гъвкави ръце, системи за подаване на детайли, локализиране на детайлите чрез камера и най осъвременено управление на робота. Той може да си сътрудничи, рамо до рамо, с хора в нормална производствена среда, което

позволява на компаниите да извлекат най-доброто от хората и роботите заедно. Една от уникалните характеристики на YuMi® е неговият „безопасен по своята същност“ дизайн, който му позволява да работи заедно с хората, като същевременно намалява рисковете до приемливи нива на безопасност.



Фиг.[31].

Двурък робот YuMi

Ако YuMi усети неочаквано въздействие или промяна в околната среда, като например сблъсък с работник, той може да спре движението си в рамките на милисекунди, за да предотврати нараняване, и движението може да бъде рестартирано отново толкова лесно, колкото натискането

на play на дистанционното управление. YuMi е много прецизен и бърз, връщайки се в една и съща точка в пространството отново и отново с точност до 0,02 мм и се движи с максимална скорост от 1500 мм/сек. Това гарантира безопасността на работниците на производствените линии. ABB също така разработва софтуер и произвежда хардуер, периферно оборудване, технологично оборудване и модулни производствени клетки.

Спецификация на двурък робот YuMi	
Достижимост (мм)	559
Полезен товар (гр)	500
Брой оси	14
Защита	Стандарт IP30 и чиста стая
Монтиране	Маса
Контролер	Интегриран IRC5
Захранване	24V/1A
Интегрирано захранване с въздух	1 за всяка ръка на работния инструмент (4 Bar)

Характеристики на двурък робот YuMi	
Максимална скорост на работния инструмент	1.5m/s
Максимално ускорение на работния инструмент (нормално движение и номинално натоварване)	39.1 m/s ²
Време за ускорение 0–1m/s	0.12s
Повтаряемост	0.02mm

Ползи от внедряването на YuMi:

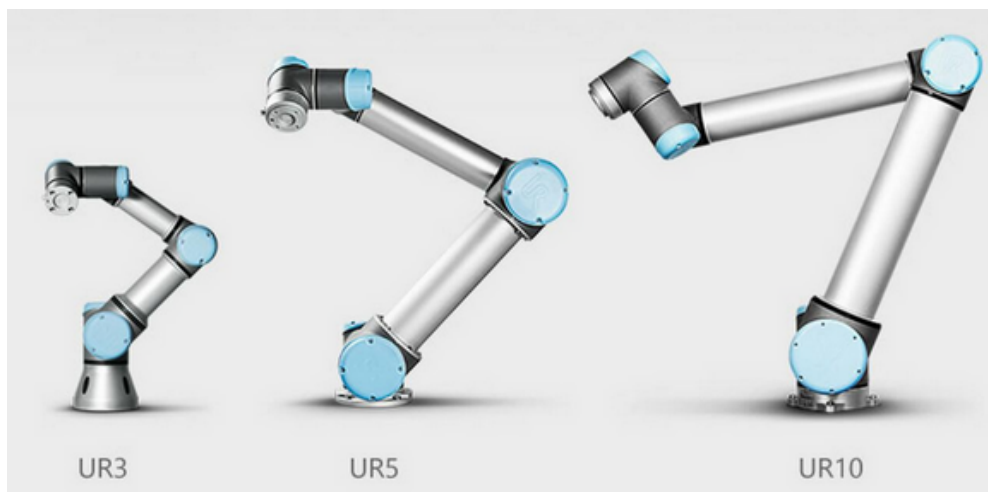
- Може да работи еднакво ефективно рамо до рамо или лице в лице с работници; – Серво гриперите („ръцете“) включват опции за вградени камери;
- Алгоритмите в реално време задават траектория без колизия за всяко рамо, персонализирано за необходимата задача.

5.2. Колаборативни работи на фирмата UNIVERSAL ROBOTS

Universal Robots е лидер в света на колаборативните работи. Малката компания се разраства и сега е най-големият производител на колаборативните работи в света. Фамилията от колаборативни работи на UNIVERSAL ROBOTS включва роботите UR3, UR5, UR10 (Фигура 32).

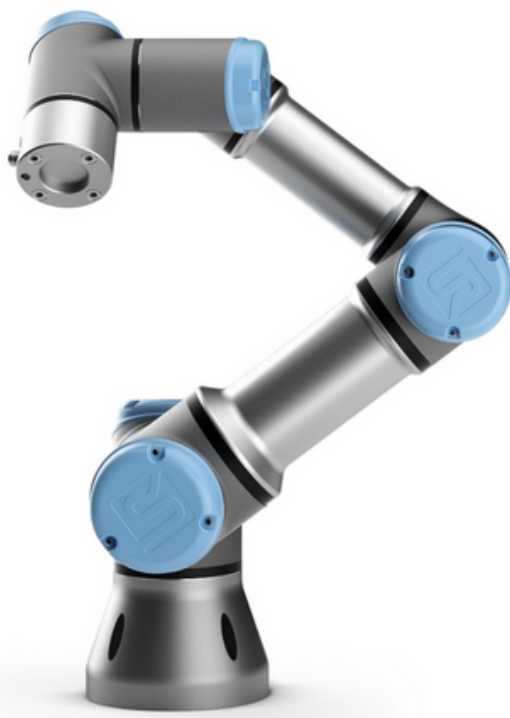
Фиг.[32].

Фамилията от колаборативни работи на UNIVERSAL ROBOTS



5.2.1. Колаборативен робот UR3

UR3 (Фигура 33) е най-малката платформа на компанията. Тъй като роботът е доста малък и има лек полезен товар, той е идеално подходящ за леки приложения за сглобяване или дозиране. Забележете, че UR3 е единствената ръка на робот от продуктова линия Universal Robots, която има безкрайно въртене на китката.



Фиг. [33].

Колаборативен робот UR3

Колаборативният робот UR3 е оптимален помощник при сглобяване, полиране, лепене и завинтване, изискващи еднородно качество на продукта. Колаборативният робот за маса може да се използва и в отделна работна станция, монтирана

на масата, сглобяване и поставяне на детайли в оптимизирани производствени потоци. Поради компактната му форма и лесното програмиране той бързо превключва между задачи, за да отговори на нуждите от гъвкаво производство, което води до ниска обща цена на придобиване и свръхбърз период на изплащане.

Колаборативен робот UR3	
Степени на свобода	6
Полезен товар	3 kg
Тегло	11 kg
Повторяемост	+/- 0.1 mm
Достижимост	500 mm

5.2.2. Колаборативен робот UR5

UR5 е междинната платформа на Universal Robots и към днешна дата е най-продаваният на компанията. Това рамо е направено за всички видове приложения. Всъщност, с толкова голям полезен товар и обхват, роботът може да отговаря на много различни „човекоподобни“ приложения.

Колаборативен робот UR5	
Степени на свобода	6
Полезен товар	5 kg
Тегло	18.4 kg
Повторяемост	+/- 0.1 mm
Достижимост	850 mm

5.2.3. Колаборативен робот UR10

UR10, която е най-голямата платформа, направена от компанията, до голяма степен се използва в по-тежки приложения или приложения, които изискват по-голям обхват. UR10 има същите характеристики като по-леките братя по отношение на програмирането.

За контролиране на такъв голям робот, това е наистина лесен за използване интерфейс.

Колаборативен робот UR10	
Степени на свобода	6
Полезен товар	10 kg
Тегло	28.9 kg
Повторяемост	+/- 0.1 mm
Достижимост	1300 mm

5.3. Колаборативни роботи на фирмата Rethink Robotics GmbH

Като пионер в областта на съвместните роботизирани решения, Rethink Robotics GmbH е силен и надежден партньор, който подкрепя производители от всякакъв размер и всяка индустрия при автоматизирането с иновативна и усъвършенствана комбинация от хардуер и софтуер.

Sawyer (Фигура 34) е гъвкав, лесен за използване, високопроизводителен лек робот, който е разработен специално за поемане на прецизни задачи с вградена система Cognex Vision. Той се контролира от неговия специално разработен софтуер и операционна система Intera, която междувременно е налична във версия 5 и продължава да се актуализира.

Благодарение на безопасния си дизайн и интуитивния начин за обучение, Sawyer е много добре приет от служителите.

Sawyer идва като цялостно решение, включващо софтуера Intera и две интегрирани вградени системи за зрение. Софтуерът Intera дава на Sawyer своя уникален потребителски интерфейс: роботът може да бъде обучен за нови задачи, като се направлява ръката свободно и демонстрира движенията на задачата. Ръката се управлява с помощта на интегрирани бутони. Това позволява директно въвеждане на настройки и функции. Роботът е готов да работи, за да изпълни задача в рамките на няколко минути.

Вградената система за зрение на Sawyer – заедно със софтуера Intera – позволява на системата за позициониране на робота да

осигури динамична и гъвкава преориентация и приспособяване към околната среда. В комбинация с лесните за настройване ориентири,

Sawyer може бързо да бъде разположен на различни позиции, да се адаптира след преместване и да насърчава бърза и гъвкава оперативна готовност.



Фиг.[34]. Колаборативен робот Sawyer

Sawyer постоянно контролира въртящия момент и позицията на ставите си едновременно. Чрез наблюдение на двете променливи, Sawyer контролира и усеща количеството сила, която прилага в различни посоки, по същия начин, по който хората правят, когато изпълняват задачи, без да е необходимо да добавят сензори или допълнителен хардуер.

Коботът Sawyer може да се използва с различни системи за захващане в много области на приложение. Click Smart прави смяната на комплектите за захващане полесна и по-удобна. С байонетно закопчаване, гиперите могат да се сменят за секунди, без да се използват никакви инструменти. Съхранява се информация за продукти и програми. Така Sawyer разпознава незабавно комплектите за захващане и зарежда съответните програми и процеси. Това орави Sawyer готов за работа незабавно след смяна на системата за захващане.

Intera е високопроизводителна платформа за управление. Софтуерът е основата за незабавна оперативна готовност на колаборативни

роботи в рамките на прости и сложни задачи. Интуитивният софтуер предоставя интелигентен и гъвкав интерфейс на Sawyer, може да се управлява през екрана и може да се управлява от служители без опит в програмирането.

Следователно, намаляване на времето за интеграция и разходите за внедряване.

и,10iA/L. Всички роботи са с 6 степени на свобода, но се различават по големина, тегло, достижимост и полезен товар. Цифрата в мето на робота показва товароносимост (полезен товар), например CR-4iA е с товароносимост от 4 kg, а CRX-10iA е с товароносимост от 10 kg. Коботите CRX са „значително по-леки“ от

Спецификации на Колаборативен робот Sawyer	
Степени на свобода	7
Полезен товар	4 kg
Тегло	19 kg
Повторяемост	+/- 0.1 mm
Достижимост	1260 mm

5.4. Колаборативни роботи на фирмата FANUC

Колаборативните роботи на фирмата FANUC са от две серии CR и CRX. Серията CR включва роботите CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L, CR-14iA/L, CR-15iA, CRX-10iA, CRX 10iA/L, CRX-20iA/L и CR-35iA, докато серията CRX включва роботите CRX-10iA и CRX

серията CR. Тъй като са по-леки, коботите CRX са полесни за инсталиране, включително за целите на мобилни приложения. Линията CRX е предназначена за манипулиране на детайли, сглобяване и приложения за електродъгово заваряване.



Фиг.[35]. Колаборативни роботи от фамилията CRX на фирмата FANUC

Сравнение на характеристиките на колаборативните роботи на фирмата FANUC е дадено на следната таблица:

функционално движение, за да вземе детайл от масата и да го постави в друга позиция с едно-единствено

РОБОТ	БРОЙ ОСИ	ПОЛЕЗЕН ТОВАР (KG)	ДОСТИЖИМОСТ (MM)	ПОВТАРЯЕМОСТ (MM)	ТЕГЛО (KG)
CRX-10iA	6	10	1249	±0.04	39
CRX-10iA/L	6	10	1418	±0.04	39
CR-4iA	6	4	550	±0.01	48
CR-7iA	6	7	717	±0.01	53
CR-7iA/L	6	7	911	±0.01	55
CR-14iA/L	6	14	911	±0.01	55
CR-15iA	6	15	1441	±0.02	255
CR-35iA	6	35	1813	±0.03	990

Тук са разгледани два модела на роботи от серията CRX, които са по-леки от серията CR и са по-подходящи за малки и средни предприятия.

плавно движение. Двата модела са почти с еднакви характеристики, но CRX-10iA/L е по-голяма достижимост. Защитени са срещу прах и изтичане на

Спецификации на колаборативни роботи от фамилията CRX		
	CRX-10iA	CRX-10iA/L
Степени на свобода	6	6
Полезен товар	10 kg	10 kg
Тегло	39 kg	39 kg
Повторяемост	± 0.04 mm	± 0.04 mm
Достижимост	1249 mm	1418 mm

Колаборативните роботи от серията CRX (CRX-10iA и CRX-10iA/L) на фирмата FANUC са с олекотена конструкция и лесно се програмират (Фигура 35). И двете разновидности са с тегло само 39 килограма, ръката е гладко проектирана и лъскава и може да извърши изключително

масло, често срещани в промишлени среди и напълно отговаря на стандартите за безопасност ISO 10218-1. Поради много ниското си тегло, CRX може лесно да бъде инсталиран в широк спектър от приложения, като например автоматизирани управлявани превозни средства (AGV).

CRX разполага със същите надеждни функции за безопасност като другите колаборативни роботи: сензорите му са чувствителни и задействат незабавно безопасно спиране при докосване на човешко тяло.

Тези роботи използват софтуер, позволяващ на потребителите лесно да инсталират интерфейс за периферно оборудване.

Лесни са за програмиране чрез ръчно насочвано обучение. Роботът се води до желаната позиция и тя се запаметява на таблета, като се използват функцията drag & drop. Интерфейсът от серията CRX на FANUC позволява лесно свързване на периферни устройства като грипери, камера и много други. Той също така предлага лесна инсталация на софтуер за периферното устройство, което позволява бърз старт.

5.5. Колаборативни роботи Omron TM на фирмата Omron

Коботите Omron TM са насочени към производители, които се стремят да увеличат производството и да намалят умората на служителите чрез автоматизиране на повтарящи се задачи като обслужване на машини, товарене и разтоварване, сглобяване, завинтване, лепене, тестване или запояване. Независимо дали работите в автомобилостроенето, полупроводниците, вторични опаковки за храни, пластмаси или машинни инструменти, колаборативният робот Omron TM е проектиран да се адаптира към почти всяка индустрия.



Фиг.[36].
Колаборативен Omron TM

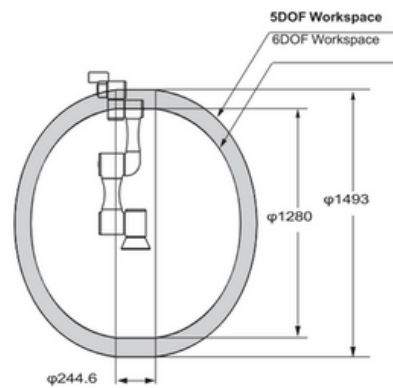
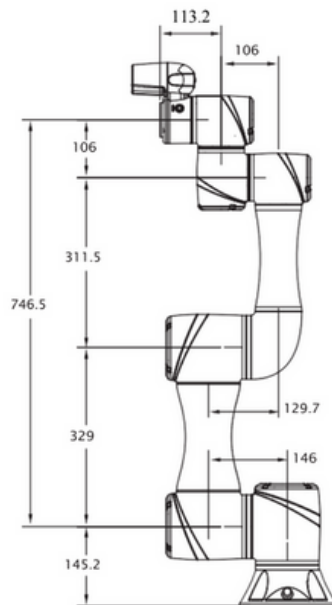
Основни характеристики:

- Проектиран да насърчава безопасно и хармонично работно място между хората и машини;
- Лесна за използване графична среда за програмиране за бързо стартиране и работа; – Вграденото управление на работа, базирано на зрението, позволява визуално обслужване, проверка и измерване;
- Възможността за интегриране с мобилни роботи позволява напълно автономни приложения за обслужване на машини и логистика.

Колаборативни роботи Omron са разделени в две основни групи - TM5 (Фигура 37) и TM12/ TM14 (Фигура 40) и съответните гама от продуктови наименования.



Фиг.[37].
Колаборативни роботи
Omron от гамата TM5



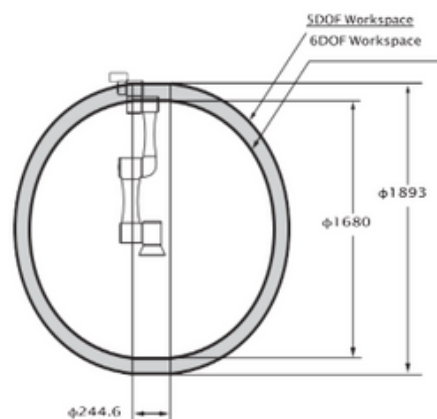
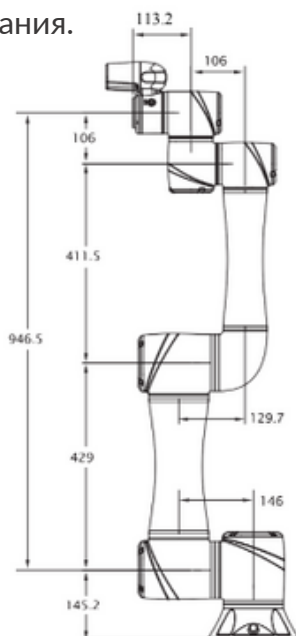
Фиг.[38].
Размери и работно
пространство на робот
TM5-700

Размерите и работното пространство на робот TM5-700 са дадени на Фигура 38, а за робот TM5-900 на Фигура 39.

Размерите и работното пространство на робот TM5-700 са дадени на Фигура 38, а за робот TM5-900 на Фигура 39.

Колаборативни роботи Omron са разделени в две основни групи - TM5 (Фигура 37) и TM12/ TM14 (Фигура 40) и съответните гама от продуктови наименования.

Колаборативни роботи Omron са разделени в две основни групи - TM5 (Фигура 37) и TM12/ TM14 (Фигура 40) и съответните гама от продуктови наименования.



Фиг.[39].
Размери и работно
пространство на робот
TM5-900

Спецификации на колаборативни работи Omron TM5 са представени в следващата таблица:

Спецификации на колаборативни работи Omron TM5						
Робот	TM5					
Наименование	TM5-700	TM5M-700	TM5M-700 SEMI	TM5-900	TM5M-900	TM5M-900 SEMI
Степени на свобода	6					
Плезен товар (kg)	6			4		
Тегло (kg)	22.1			22.6		
Повторяемост	±0.05					
Достижимост (mm)	700			900		
Скорост (m/s)	1.1			1.4		
Захранване	100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC	100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC
Монтиране	Стена, маса, таван					
Интегрирана камера	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color

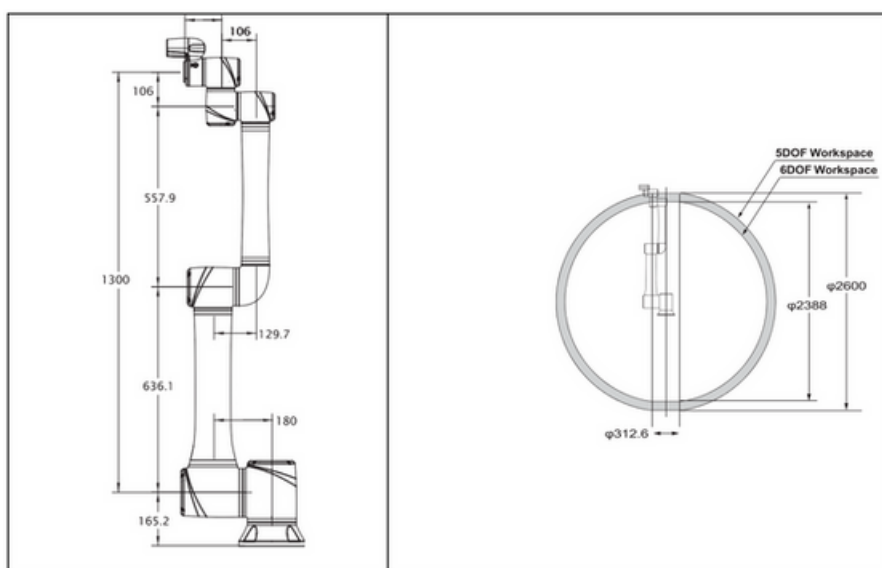


TM12

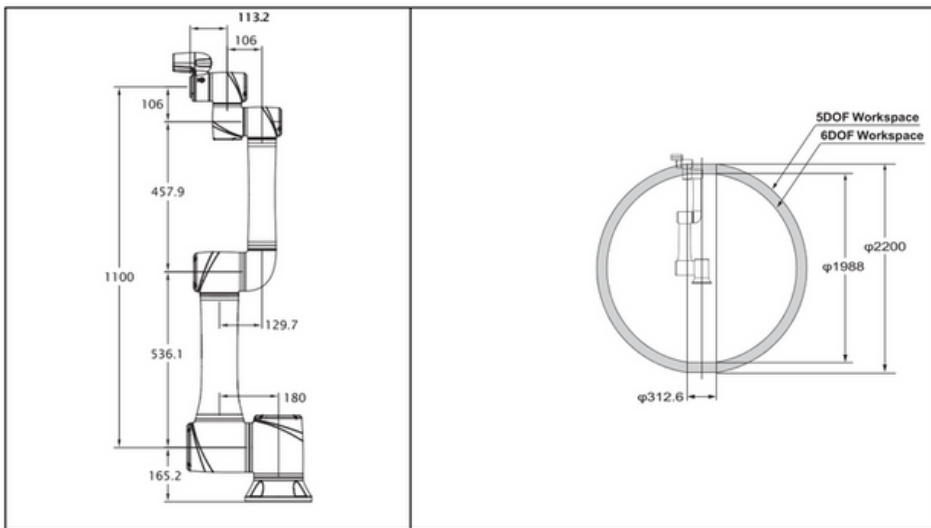


TM14

Фиг. [40].
Колаборативни работи Omron от гамата TM12/TM14



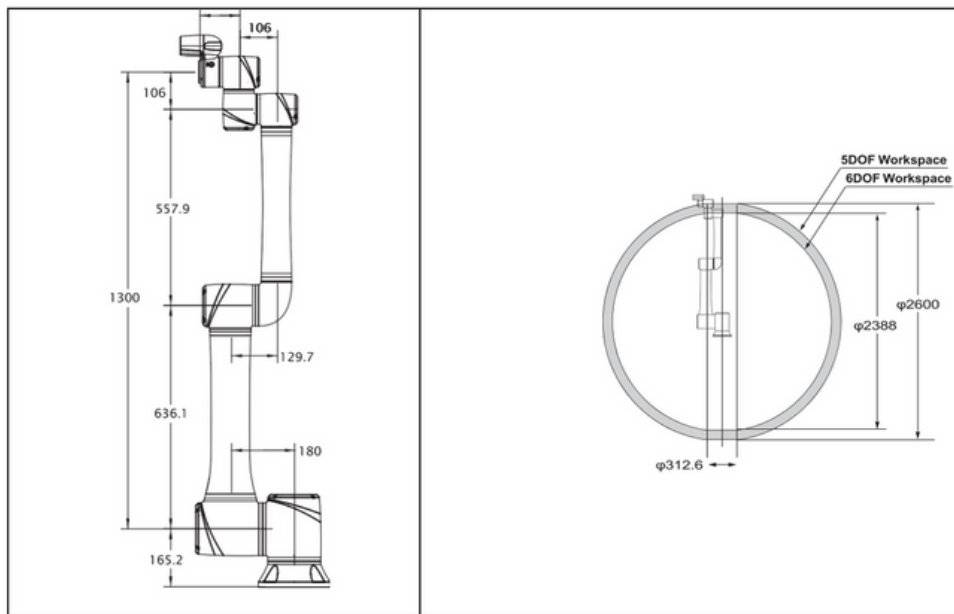
Фиг. [41].
Размери и работно пространство на робот TM12



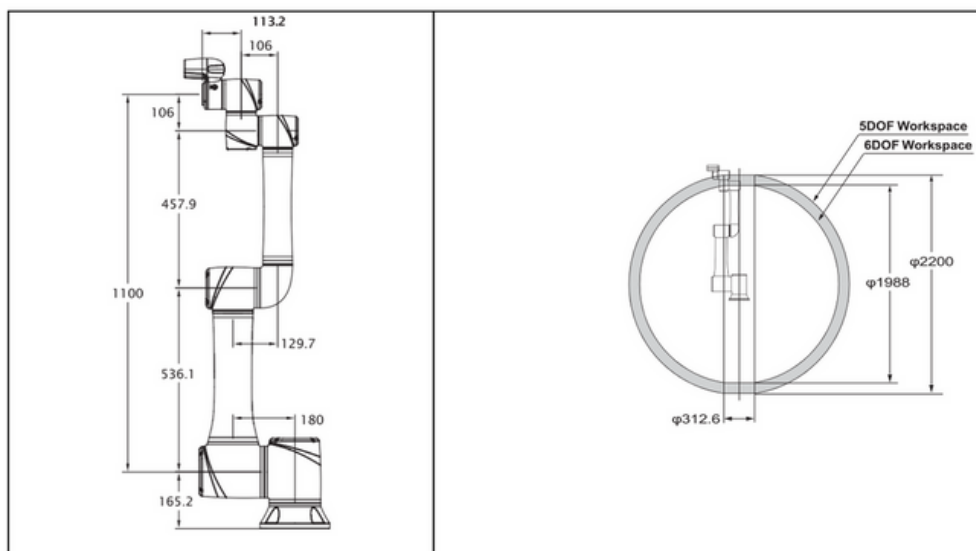
Спецификации на колаборативни работи Omron TM5 са представени следващата таблица:

Фиг.[42].
/Размери и работно пространство на робот TM14

Спецификации на колаборативни работи Omron TM12/ TM14						
Робот	TM12			TM14		
Наименование	TM12	TM12M	TM12M SEMI	TM14	TM14M	TM14M SEMI
Степени на свобода	6					
Полезен товар (kg)	12			14		
Тегло (kg)	33.3			32.6		
Повторяемост	±0.1					
Достижимост (mm)	1300			1100		
Скорост (m/s)	1.3			1.1		
Захранване	100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC	100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC
Монтиране	Стена, маса, таван					
Интегрирана камера	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color



Фиг.[44].
Размери и работно пространство на робот TM12



Фиг.[45].
Размери и работно пространство на робот TM14

Спецификации на колаборативни роботи Omron TM12/ TM14 са представени в следващата таблица:

Спецификации на колаборативни роботи Omron TM12/ TM14						
Робот	TM12			TM14		
Наименование	TM12	TM12M	TM12M SEMI	TM14	TM14M	TM14M SEMI
Степени на свобода	6					
Полезен товар (kg)	12			14		
Тегло (kg)	33.3			32.6		
Повторяемост	±0.1					
Достижимост (mm)	1300			1100		
Скорост (m/s)	1.3			1.1		
Захранване	100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC	100-240 VAC, 50-60 Hz	22-60 VDC	22-60 VDC
Монтиране	Стена, маса, таван					
Интегрирана камера	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color	5M pixels, color

Роботите от гамата TM12/ TM14 са по-големи, по-тежки, с по-голяма достижимост и по-голям полезен товар в сравнение с гамата TM5. Естествено при това положение, повторемостта на TM5 с по-добра от TM12/ TM14 - ± 0.05 mm и съответно ± 0.1 mm.

5.6. Колаборативен робот Panda

Колаборативният робот Panda (Фигура 46) на фирмата FRANKA EMIKA GmbH е интелигентен и готов за индустрията, позволяващ автоматизация за всеки, навсякъде и по всяко време. Чувствителната и гъвкава ръка разполага със 7 степени на свобода, със сензори за въртящ момент на всяка става, което позволява регулируема коравина/податливост и усъвършенстван контрол на въртящия момент. Роботът предлага полезен товар от 3 кг, обхват от 855 mm и покритие на работното пространство от 94,5%. Panda е проектирана да бъде лека и се произвежда в големи количества. Вдъхновена от човешкото усещане за допир, Panda е оборудвана със сензори за въртящ момент във всичките 7 оси. Ставите на робота Panda са сложни мехатронни системи,

Фиг.[46].

Размери и работно пространство на робот TM14

способни да контролират позицията и въртящия момент. Изключителната разделителна способност, точност и повторемост позволяват на робота динамично да усеща заобикалящата среда, дори надвишавайки производителността на повечето специално създадени сензори за сила. Panda е толкова лесна за използване, обучението се извършва лесно за студенти, деца, възрастни хора и идеално за работа в образователна среда. Със своята силно колаборативна природа, сензори за обратна връзка за сила и лесна интеграция с инструменти за крайното звено на ръката и системи за зрение, роботът Panda е идеален за образователни приложения. Panda включва характеристиките на класически индустриален робот с повторемост на позата от ± 0.1 mm и незначително отклонение на пътя дори при високи скорости до 2 m/s. Това позволява прецизно и бързо изпълнение на производствените процеси.



Спецификации на колаборативния робот Panda са представени в следващата таблица:

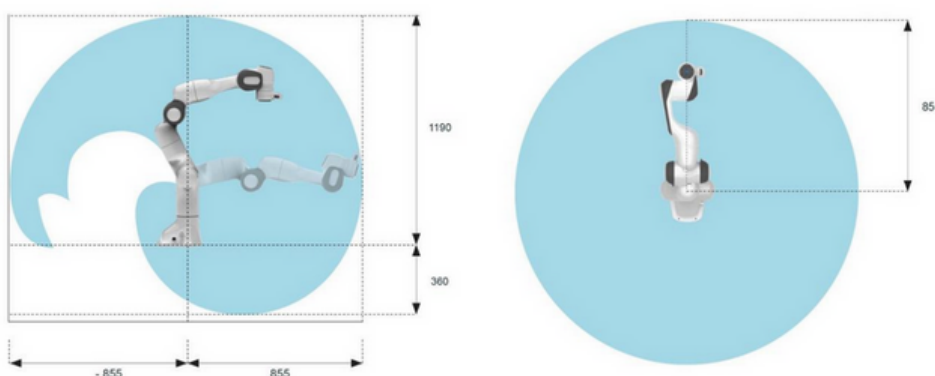
обменяни на всяка милисекунда - това е интерфейсът за управление на Franka (FCI).

Спецификации на Колаборативен робот Panda	
Степени на свобода	7
Полезен товар	3 kg
Тегло	~ 17.8 kg
Повторяемост	< +/- 0.1 mm (ISO 9283)
Достижимост	855 mm
Отклонение от траектория	< +/- 1.25 mm
Скорост на крайното звено	до 2 m/s

Тъй като този робот освен за индустриални приложения е предназначен и за обучение и за изследователски цели, той може да се програмира чрез:

- **Графичен интерфейс**

Работното пространство на робота е дадено на Фигура 46.



Фиг.[46].

Работно пространство на робот Panda

5.2.1. Колаборативен робот UR3

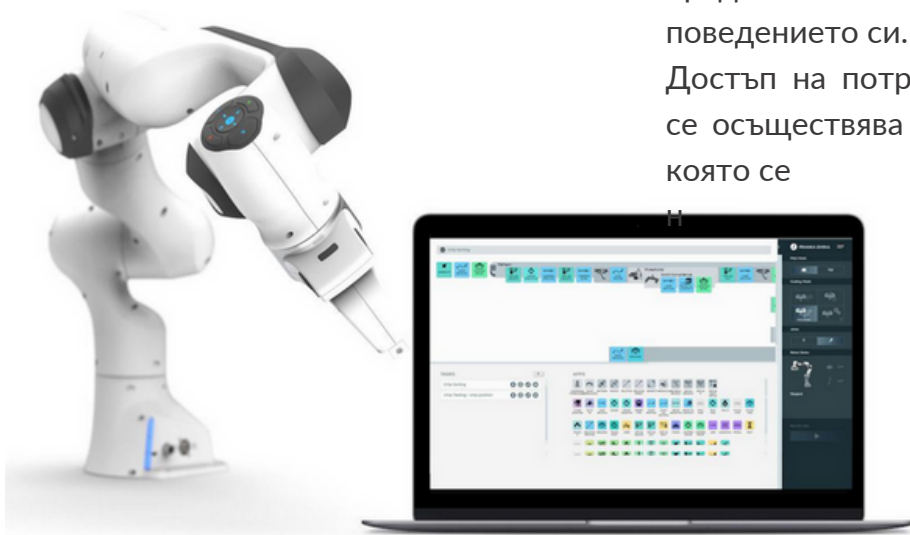
Роботът е свързан към управляващото устройство, което има два мрежови порта.

Единият се свързва с интернет и позволява на робота да бъде програмиран с помощта на графичен интерфейс за програмиране. Другият (10Gbps ethernet) може да се свърже с

компютъра на потребителя и да изпълнява код за управление на робота в реално време, използвайки UDP съобщения,

Panda има потребителски интерфейс, базиран на браузър, приложенията могат да бъдат подредени за създаване на цели задачи за кратко време. Panda се програмира с помощта на уеб приложението Desk (Фигура 45). Desk позволява да се създават задачи. Задачите са програмни последователности и се състоят от хронологична последователност от приложения. Приложенията са градивните елементи на задачата и описват основните възможности на Panda, като „хващане“, „поставяне“, „натисни бутон“. Тези

задачи могат да бъдат адаптирани, възобновени или разгърнати на един или множество роботи, за да се намалят значително разходите за настройка. Системата разполага с интерфейс, базиран на приложения – капсулирани програми за роботи. Приложенията се поддредват последователно и робота се обучава чрез демонстрация, като се настройват параметрите. Бутонът за режим на насочване се намира в горната част на китката. С този бутон или директно в Desk могат да се избират различни режими на насочване. Кой режим е избран в момента е посочено в страничната лента на Desk. Режимът на насочване ограничава определени движения на рамото, за да улесни лесната работа.



Фиг.[47].
Графичен интерфейс на робот Panda

- **Franka Control Interface (FCI).**

Panda е идеалната платформа за провеждане на изследвания и тестове, напр. алгоритми за управление и движение, стратегии за хващане, сценарии на взаимодействие и машинно обучение, тъй като включва Franka Control Interface (FCI). FCI позволява бърза двупосочна връзка на ниско ниво към ръката на робота. Тъй като Panda за изследователи с активиран FCI интерфейс позволява достъп до сигналите на сензора и задвижващия механизъм на Panda за ниско ниво, операторът трябва да бъде висококвалифициран. Той/тя трябва да могат да използват своите знания и опит, за да разберат всички рискове, които роботизираната система може да представлява, и да бъдат адекватно предпазливи в поведението си. Достъп на потребителски код до FCI се осъществява чрез C++ библиотека, която се

арича libfranka, като ефективно позволява на потребителския код да се изпълнява на сервото на работа със скорост от 1000Hz. Това е уникален и потенциално много мощен начин за управление на високопроизводителна ръка робот. Libfranka включва i) Генератор на движение (motion generator) и ii) Контролер (controller). Генераторът на движение описва траектория в пространството. Поддържат се четири типа генератори на движение: ставна позиция (joint position), ставна скорост (joint velocity), Декартова позиция на крайното звено (Cartesian position of end-effector), Декартова позиция на крайното звено (Cartesian position of end-effector) плюс скоростта на лакътя. Контролер, който изпраща команди за въртящ момент към ставите. Контролерът по подразбиране кара ставите да следват пътя, даден от генератора на движение, но може да бъде осигурен външен контролер, който потенциално може да игнорира генератора на движение. Съществуват 4 контролери: ставна скорост, вътрешен импеданс на ставата, вътрешен декартов импеданс, външен или потребителски дефиниран контролер.

- В тази глава са представени характеристики на някои колаборативни роботи, като не са обхванати всички съществуващи такива. Поради нарастващия интерес за внедряване на
 - колаборативни работи в индустриални процеси, непрекъснато се появяват нови работи или
- се усъвършенстват вече съществуващите.

ОБ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въвеждането в експлоатация на робот в едно предприятие със сигурност е голяма стъпка за бизнеса. Внедряването на колаборативен робот ще помогне за увеличаване на производителността, за предотвратяване на наранявания и може да допринесе за много повече предимства. Използването на колаборативните работи намалява разходите за производителите, независимо от размера на бизнеса. Те са лесни за обучение, инсталиране и придвижване, следователно алтернатива за собствениците на малък бизнес, които искат да увеличат производителността, без да наемат допълнителни служители. Закупуването на робот е само една

част от роботизираната интеграция. Следва намирането на правилните приложения, правилните специалисти да го инсталират и въведат в експлоатация, които също са част от внедряването. След като се идентифицират задачите, които могат да се роботизират е необходимо да се подбере подходящ робот със съответните характеристики – полезен товар, степени на свобода, достижимост, скорост и други. В тази връзка настоящия курс по колаборативни работи може да е в помощ на специалисти и инженери от индустрията при запознаването с тях и основните характеристики на роботите. Освен самия робот е необходимо да се предвидят и подходящи грипери и инструменти, които да могат да се монтират на избрания робот. Някои от предлаганите работи използват собствени грипери и инструменти или такива на други фирми, но съвместими с дадения робот. За целта е необходимо да се проучат предлаганите съвместими инструменти преди да се придобие и самият робот.

При внедряване на колаборативните работи трябва да се направи оценка на риска и по-специално във връзка с непосредствената близост на робот и човек да се предвидят необходими предпазни мерки.

Цитирани източници и хипервръзки:

1. Matthias, S. Kock, H. Jerregard, M. Kallman, I. Lundberg and R. Mellander, "Safety of collaborative industrial robots: Certification possibilities for a collaborative assembly robot concept," 2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM), 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISAM.2011.5942307.
2. Waurzyniak, P., "Fast, lightweight robots help factories go faster." Manufacturing Engineering. Vol. 154(3),- ." 2015. 55-.
3. Zamalloa, I., Kojcev, R., Hernandez, A., Muguruza, I., Usategui, L., Bilbao, A., & Mayoral, V.. "Dissecting Robotics—Historical Overview and Future Perspectives." arXiv preprint arXiv:1704.08617, 2017.
4. Aibos History, <https://www.sony-aibo.com/aibos-history/>
5. Classification of Robots, <https://neostencil.com/upsc-science-tech-classification-of-robots> , последно посетена на 20.01.2022 г.
6. Bélanger-Barrette M. What Does Collaborative Robot Mean, <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean> , последно посетена на 07.03.2022 г.
7. Müller, R., Vette, M., Geenen, A. Skill-based dynamic task allocation in Human-Robot-Cooperation with the example of welding application. Procedia Manuf. 2017, 11, 13–21.
8. IRB 14050 Single-arm YuMi® Collaborative Robot, <https://new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/irb-14050-single-arm-yumi> , последно посетена на 14.03.2022 г.