



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет Машиностроителен

Катедра Автоматизация на дискретното производство

Маг. инж. Георги Петров Козлев

**АВТОМАТИЗИРАНЕ ПРОЕКТИРАНЕТО НА КРАЙНИ
ИЗПЪЛНИТЕЛНИ ЗВЕНА ЗА ПРОМИШЛЕНИ
РОБОТИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1. Машинно инженерство

Научна специалност: Автоматизация на производството

Научен ръководител: доц. д-р инж. Силиян Николов

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Автоматизация на дискретното производство“ към Факултет Машиностроителен на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 14.05.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 25.09.2018 г. от 13.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-204 / 14.06.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р Димчо Чакърски – председател
2. доц. д-р Силиян Николов – научен секретар
3. проф. д.т.н Христо Шехтов
4. проф. д-р Тодор Нешков
5. доц. д-р Гено Хаджикосев

Рецензенти:

1. проф. д.т.н Христо Шехтов
2. проф. д-р Димчо Чакърски

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет Машиностроителен на ТУ-София, блок №3, кабинет № 3242.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Автоматизация на дискретното производство“ на факултет Машиностроителен.

Автор: маг. инж. Георги Козлев

Заглавие: Автоматизиране проектирането на крайни изпълнителни звена за промишлени работи

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Съвременните промишлени работи се използват все повече в различни сфери на производството като: заваряване (електродъгово, плазмено, електро-съпротивително, лазерно, точково), подемно-транспортни дейности (палетизиране, пакетиране и опаковане, зареждане с материали, шприцоване, подреждане), лепене, запечатване, почистване, пробиване, боядисване, леене, шлайфане, фрезование, полиране, сглобяване и др.

Изпълняваните от тях различни операции, предполагат свързването към промишлените работи на различни крайни изпълнителни звена, подходящи за съответната дейност.

Независимо от многообразието на предлаганите на пазара хващачи и инструменти, използвани от промишлени работи, в редица случаи се налага разработването на нови такива или модифицирането на вече съществуващи.

Всичко това, наред с използването на промишлени работи, предлагани на пазара от различни производители, прави актуални въпросите, свързани с проектирането на крайни изпълнителни звена за промишлени работи, които са обект на настоящата работа.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е: „Разработване на система за автоматизиране проектирането на крайни изпълнителни звена за промишлени работи, работеща в CAD среда.“

За постигане на тази цел е необходимо да се решат следните основни задачи:

1. Създаване на класификация на различните крайни изпълнителни звена за промишлени работи и методиките за тяхното проектиране.
2. Анализ на прилаганите схеми за присъединяване на крайни изпълнителни звена към промишлени работи използвани от различни производители.
3. Разработване на алгоритъм за автоматизирано проектиране на крайни изпълнителни звена за промишлени работи в CAD среда.
4. Избиране на подходяща CAD среда за програмно реализиране на разработения алгоритъм.
5. Програмно реализиране на система за автоматизирано проектиране на крайни изпълнителни звена за промишлени работи.
6. Прилагане на разработената система при решаване на конкретни задачи и оценка на получените резултати.

Научна новост

- Разработена е методика за създаване на макроси с използване на API и VBA в CAD среда.
- Разработен е алгоритъм за автоматизиране създаването на 3D модели на крайни изпълнителни звена за промишлени работи.

- Създаден е макрос за автоматизиране проектирането на крайни изпълнителни звена за ПР, работещ в средата на CAD системата SolidWorks.

Практическа приложимост

1. Разработен е подход за автоматизиране генерирането на 3D модели на присъединителните повърхнини на ПР, които е приложен за ПР произвеждани от фирмите ABB, FANUC и Kawasaki, като събраните и анализирани данни са използвани при създаването на 3D модели на присъединителните повърхнини, за съответните типоразмери ПР.
2. Определени са областите на приложение на създадените с макроса 3D модели на крайни изпълнителни звена, които са: база за разработване на окончателната конструкция; база за разработване на изчислителни модели при различни инженерни анализи и при off-line програмиране на ПР.

Апробация

Извършена е проверка на работоспособността на разработения макрос при различни входни данни, показваща възможностите му за автоматизиране на отделни етапи от разработването на нови и избора на съществуващи крайни изпълнителни звена за ПР в средата на CAD системата SolidWorks.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 на брой научни публикации, от които 3 самостоятелни:

1. Nikolov St., G. Kozlev, An approach for design automation of end-effector connecting surface for industrial robots, CAx Technologies, брой 3 декември 2015 г., ISSN1314-9628, (32-36)

2. Козлев Г., Автоматизиране създаването на 3D модели на крайни изпълнителни звена за индустриални роботи в средата на SolidWorks, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXIV, бр. 14(200), юни 2016 г., ISSN-1310-3946, (193-199)

3. G. Kozlev, Macro for automating the design process of mechanical grippers for industrial robots in cad system SolidWorks, Българско списание за инженерно проектиране, брой 32, април 2017г ТУ-София. ISSN 1313-7530, (21-24)

4. Козлев Г., С. Николов, Автоматизиране създаването на 3D модели на вакуумни хващачи за индустриални роботи в средата на SolidWorks, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXV, бр. 2(217), юни 2017 г., ISSN-1310-3946, (388-393)

5. G. Kozlev, Automating the design process of vacuum and magnetic grippers for industrial robots in cad system SolidWorks, Българско списание за инженерно проектиране, брой 34, ноември 2017г ТУ-София. ISSN 1313-7530, (85-90)

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **157** страници, като включва увод, 6 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси,

списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **91** литературни източници, като **50** са на латиница и **33** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **188** фигури и **8** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ

1.1. Промислени работи

1.1.1. История на развитието на промишлените работи

Разгледано е историческото развитие на ПР, като значимите дати са дадени в таблица 1.1.

Таблица 1.1 Основните етапи от развитието на промишлените работи

Год.	Събитие
1930	Разработен е първият робот за равномерно боядисване от Уилард Полард Джуниър
1937	Първи програмируем робот от Грифит Тейлър
1949	Model 1 на CRL, използван при работа с радиоактивни продукти
1950	Грей Уолтър представя своите “костенурки”, Elmer и Elsie
1956	Основана е компанията Unimation, Едмънд С. Бъркли представя мобилния робот Squee
1961	Хайнрих Ернст от MIT конструира ръка-манипулатор, MN1 Джордж Девол създава Unimate, първият ПР с цифрово управление В Университета Джон Хопкинс е създадено "Животното на Хопкинс"
1962	AMF Corp. създава VERSATRAN - първият ПР с практическо промишлено използване,
1965	Виктор Шайнмън и Лари Лифър разработват пневматичната роботизирана ръка Ogm,
1966	В института ЭНИКмаш е разработен автоматичен манипулатор с циклово управление VFW-Фоккер произвежда робота “Трансфер аутомат”
1968	Kawasaki стартира производството на своите първи екземпляри на Unimate В Станфордския изследователски институт е завършен Shakey
1969	Виктор Шайнман изобретява ръката Stanford -
1970	Японската фирма Курода демонстрира в Европа своите работи Хи Мейт
1971	Създадени са първите образци на руски работи с позиционно управление UM1 Започва производството на роботите “Версатран” и ”Версатран НУ” на “VFW-Фоккер”
1973	Единбургския университет представя робота Фреди (Freddy) ABB Robotics и KUKA Robotics представят IRB 6
1974	Виктор Шайнман създава компанията Vicarm Inc
1984	Unimation е придобита от Westinghouse Electric Corp.
1990	Yaskawa Corp. представя MOTOMAN K6 ABB Robotics представя IRB6000
2009	Universal Robots пускат на пазара UR5

1.1.2. Видове промишлени работи

Класификацията на ПР може да се направи по много различни критерии

[3], [25], [26], като основните, които са разгледани в тази работа са: подвижност, координатна система, начин на изпълнение на управляващата програма. Други критерии за класифициране на ПР са: степени на свобода; подвижност; движение на ставите; размер; товароносимост; използван енергиен източник; геометрия; управление и др.

1.1.3. Области на приложение на промишлените роботи

Разгледани са основните области на приложение на ПР са за автоматизиране на технологични и спомагателни операции, като електродъгово и точково заваряване, манипулиране на материали, събиране, пакетиране и палетизиране, вземане и поставяне (pick and place), боядисване, сглобяване, лепене и уплътняване, механична обработка и довършителни операции и контрол на качеството. Характеризирани са положителните резултати от използването на ПР за всяко от изброените приложения.

1.2. Основни компоненти на промишлените роботи

Представена е дефиницията за промишлен робот, като след това са разгледани основните му компоненти и връзките между тях: механичен манипулатор, захранване, контролер, сензори и крайни изпълнителни звена. Обърнато е основно внимание на крайните изпълнителни звена, като основен фокус на настоящата работа - те могат да бъдат хващачи или инструменти (фиг. 1.25).

Разгледани са основните функции на хващачите - вземане на заготовка от магазин-събирател, преориентиране и подаване на заготовката към работните позиции, снемане на обработените детайли и поставянето им върху съответни събиратели и др.

Разяснени са основните изисквания, предявявани към хващачите, както и признаците за тяхното класифициране: начин на хващането; подсигуряване на хващането; вид на задвижването; вид на използваната енергия; вид на елементи за хващане; траектория на движение на челюстите; маса на хващания обект; вид на обекта; широко обхватност и др. Обобщени са и основните данни, необходими при избора на хващач, за изпълнение на конкретна задача.

Разгледана е и дефиницията за инструмент, при използването му с ПР, като са дадени основните изисквания, предявявани към инструментите и нужните данни за избор на инструмент за определена технологична операция.



Фиг.1.25 Крайни изпълнителни звена на ПР

1.3. Приложение на компютърните технологии при автоматизиране на производството

1.3.1. CAD/CAM/CAE системи

Разгледани са историческото и технологично развитие, както и характеристиките на CAD, CAM и CAE системите, както и връзките между тях. Обърнато е и внимание на областите на тяхното приложение.

1.3.2. Автоматизиране работата на CAD системи

Представени са възможните методи за автоматизиране работата на CAD системите, като е разгледано използването на API (Application Programmable Interface). Приложният програмен интерфейс Application Programming Interface (API) е инструмент, който осигурява интеграция между различни приложения, като предоставя на потребителя възможност за използване на език за програмиране в рамките на друго приложение [70].

Основните подходи за автоматизиране работата на CAD системите са разгледани. Сред тях са:

➤ Самостоятелни приложения

Самостоятелните приложения, могат да работят самостоятелно и използват API, за импортване резултата от тяхната работа в различни CAD системи, като генерират съответните 3D модели [61], [67], [73].

➤ Надстроечни приложения

Надстроечните приложения, известни като добавен софтуер add software работят в средата на избрана CAD система. Те не могат да работят самостоятелно, като резултатът от тяхната работа е генериране на данни директно в CAD системата.

➤ Потребителски приложения и макроси

Те са разработвани от потребителите на CAD системите, които използват езици за програмиране поддържани от съответната CAD система и API. Тези приложения работят в средата на съответната CAD система. Създадените по този начин потребителски приложения и макроси могат да се споделят и използват от всички потребители на съответната CAD система.

1.4. Изводи

Направеният в глава 1 обзор и анализ на историята и използването на ПР и CAD системи позволява да се формулират следните изводи:

- ☐ От своето появяване до сега, промишлените работи намират все по-голямо приложение в различни области на индустрията, като с развитието на технологиите тази тенденция ще се запазва.
- ☐ Крайните изпълнителни звена (end-effectors), са този елемент от механичната част на ПР, които са в пряк контакт с обекта, който ПР манипулира и оказват съществено влияние върху типа и качеството на операциите, които той изпълнява.
- ☐ В настоящия момент, съществуват множество различни производители на ПР и крайни изпълнителни звена за тях, които предоставят на

потребителите възможност за комбиниране на тези компоненти по начин, отговарящ най-добре на техните нужди.

- ❑ CAD/CAM/CAE системите са част от цялостния цикъл на дигиталното развитие на продуктите, в рамките на процесите за управление на техния жизнения цикъл, без която в съвременния свят е немислимо разработването и пускането на пазара на ново изделие.
- ❑ Развитие на информационните технологии позволява разработването на множество инструменти за автоматизиране на процеса на конструиране с използване на CAD системи.
- ❑ Съвременните CAD системи, позволяват на потребителите да разработват собствени приложения за автоматизиране на процеса на проектиране, работещи в съответната среда, чрез използване приложният програмен интерфейс API.

Независимо, от описаните по-горе безспорни предимства от приложението в индустрията на ПР и свързаното с това използване на CAD системи, могат да се отбележат и следните проблеми:

- ❑ Различните производители на ПР и крайни изпълнителни звена за тях, предоставят на потребителите различна информация за техните изделия, която в редица случаи е недостатъчна за безпроблемното им свързване и изисква разработване на допълнителни преходници за осъществяване на това.
- ❑ Независимо от многообразието на предлаганите на пазара крайни изпълнителни звена, използвани от промишлените работи, в редица случаи се налага разработването на нови такива или модифицирането на вече съществуващи.
- ❑ Програмирането на ПР с помощта на CARC системи изисква разработване на 3D модели на ПР и заобикалящата го работна среда, неразделна част от които е и 3D модела на крайното изпълнително звено, който често не се предлага от производителя, което налага разработването му от потребителя с отчитане спецификата на процеса на програмиране.
- ❑ Въпреки наличието на голям брой методики свързани с проектирането на различни типове крайни изпълнителни звена, опитите за тяхното включване, при разработване на 3D модели на тези устройства са единични.
- ❑ В настоящият момент съществуват редица системи предлагащи възможност за автоматизирано проектиране в CAD среда, на различни детайли, възли и изделия, но никоя от тях не се занимава с автоматизираното проектиране на крайни изпълнителни звена за ПР.

ГЛАВА 2. КРАЙНИ ИЗПЪЛНИТЕЛНИ ЗВЕНА НА ПРОМИШЛЕНИТЕ РОБОТИ

За целите на настоящата работа е разработена класификация на крайните изпълнителни звена (фиг. 2.1), в която са разгледани областите на приложе-

нието им, методите на въздействие върху манипулираните обекти и техните конструктивни особености. Други показатели, по които могат да се класифицират крайните изпълнителни звена, но които не са обект на настоящата работа са:

- **Задвижваща енергия** – електрически, пневматични, хидравлични, механични и комбинирани;
- **Сфера на използване** – машиностроене, автомобилостроене, дървообработване, медицина, отбрана и др.;
- **Метод на контакт с обекта** – контактни и безконтактни;
- **Наличие на обратна връзка** - с обратна връзка и без обратна връзка.



Фиг.2.1 Класификация на крайни изпълнителни звена

2.1. Хващачи за промишлени работи

Разгледани за различните области на приложение на хващачите за промишлени работи, методите им на въздействие с детайла и техните конструктивни особености.

Според метода на въздействие те се разделят на притискащи, при които чрез силите на триене и формата на челюстите се осигурява задържането на детайла, проникващи, които използват игли или кукички за задържане на обекта, и прилепващи, които задържат обекта с помощта на всмукателни сили, приложени към повърхността на обекта.

На база на разгледаните различни типове според метода им на действие

хващачи, съгласно предложената на фиг. 2.1 класификация, най-подходящи за целите на настоящата работа са определени челюстните притискащи хващачи; вакуумните прилепващи хващачи и магнитните прилепващи хващачи.

2.1.1. Конструктивни особености и изчислителни схеми на челюстните хващачи

Обобщени са конструктивните схеми на челюстните хващачи, като са разгледани различни механизми за тяхното задвижване. Разгледани са етапите на проектирането им, както и методики за пресмятането на усилията в тях. Обърнато е внимание на влиянието на формата на челюстите и посоката на движение при изчисляването на усилията, нужни за задържане на детайла.

2.1.2. Конструктивни особености и изчислителни схеми на вакуумните хващачи

Разгледани са конструктивните особености на вакуумните хващачи, основните типове вакуумни вендузи, етапите в проектирането на вакуумни вендузи и пресмятането на усилията в тях. Обърнато е внимание и на случаи, при които центъра на тежестта на обекта не съвпада с центъра на вендузата.

2.1.3. Конструктивни особености и изчислителни схеми на магнитни хващачи

Определени са конструктивните особености на магнитните хващачи, както и техните предимства и недостатъци спрямо използването им вместо вакуумни. Описан е принципът им на действие, като състоянието им зависи от позицията на електромагнита в тялото на хващача.

2.2. Избор на хващач за промишлен робот

Разгледани са факторите за избор на хващач за промишлен робот: свойства на обекта за манипулиране, маса, форма и нейното изменение в процеса на обработване, вид на работната зона, вид на приспособленията за базиране и закрепване, време на хващане, точност на хващане и др. Обърнато е внимание и на допълнителни данни, които оказват решаващо влияние върху конструкцията: данни за обекта за хващане, данни за ПР, данни за приемащото устройство и данни за технологичния процес.

2.3. Инструменти за промишлени работи

Обобщени са различните видове инструменти, които могат да се използват с промишлени работи, като са определени предимствата и недостатъците на всеки тип.

2.4. Комбинирани крайни изпълнителни звена

Разгледани са възможностите за използването на комбинирани крайни изпълнителни звена за ПР, като хващач и система за техническо зрение,

хващач и инструмент, инструмент и контролна система, сканиращи устройства и др.

2.5. Изводи

Чрез извършения в глава 2, преглед и анализ на конструкцията на различни типове крайни изпълнителни звена за ПР, са решени следните задачи:

- ☐ Разработена е класификация на крайните изпълнителни звена за ПР, в която са разгледани областите на приложението им, методите на въздействие върху манипулираните обекти и техните конструктивни особености.
- ☐ Определени са най-подходящите за целта на работата хващачи:
 - челюстни притискащи хващачи;
 - вакуумни прилепващи хващачи;
 - магнитни прилепващи хващачи.
- ☐ Разгледани са конструктивните особености и изчислителните схеми на избраните за автоматизираното проектиране хващачи.
- ☐ Разгледани са конструктивните особености и областите на приложение на инструментите използвани като крайни изпълнителни звена за ПР.
- ☐ Отчитайки голямото разнообразие на използваните като крайни изпълнителни звена инструменти, за целите на настоящата работа е прието да се автоматизира проектирането на преходник, позволяващ безпроблемното свързване на избраният от потребителя инструмент към определения ПР.

ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗИРАНЕ НА ПРОЕКТИРАНЕТО С CAD СИСТЕМАТА SOLIDWORKS ЧРЕЗ МАКРОСИ

3.1. CAD системата SolidWorks

Отчитайки направения в **глава 1** обзор на използваните в индустрията съвременни CAD системи, за целите на настоящата разработка е избрана CAD системата SolidWorks. Някои от фактите в подкрепа на този избор са последователността на работа със система и възможностите, които тя предоставя на потребителите за автоматизиране на процеса на проектиране при работа с нея са разгледани в тази глава.

Разгледани са конструктивните особености на вакуумните хващачи, основните типове вакуумни вендузи, етапите в проектирането на вакуумни

3.1.1. Общи характеристики на системата

Разгледани са характеристики на системата като историята на нейното развитие, пазарният ѝ дял и методът ѝ на моделиране

3.1.2. Последователност на работа със системата

Създаването на модел на отделен детайл със CAD система протича съгласно дадената в [18] методика.

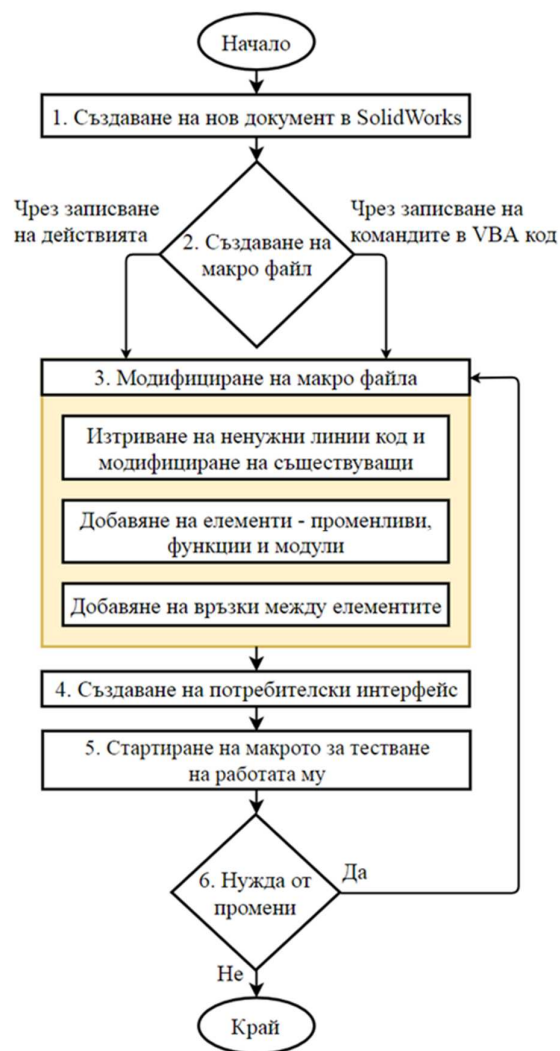
3.2. Автоматизиране на проектирането в SolidWorks чрез макроси

3.2.1. Общи приложения

Направен е сравнителен анализ на различните методи за автоматизиране работата със системата:

- DriveWorksXpress
- Бързи бутони
- SolidWorks макроси
- Връзки към Microsoft® VBA
- Вграден програмен интерфейс (API)

На база на направените сравнения в тази част, като подходящ метод за автоматизиране е избран последният - Вграден програмен интерфейс (API).



Фиг.3.2 Методика за създаване на API макрос в средата на SolidWorks

3.2.2. Използване на VBA за създаване на макроси

Разгледани са различните програмни езици, които SolidWorks поддържа, и са определени предимствата, които VBA има пред останалите. Разгледани са различни приложения, за които той може да бъде използван.

Дефинирани са понятията за алгоритъм, структурно програмиране, разликите между проект, модул и подпрограма. Обобщено е понятието за обект и спецификата за обектно ориентиране. Разгледани са и други аспекти на езика VBA, като азбука, лексеми, правила за образуването на думи, типовете данни и логическите операции. Разгледана е и структурата на VBA програма.

3.3. Методика за създаване на макрос с използване на API в средата на SolidWorks

При създаване на макро файл, в средата на SolidWorks може да се подходи по различни начини. За целите на настоящата работа е разработена методика за създаване на макрос с използване на API в средата на SolidWorks, показана на фиг. 3.2.

3.4. Изводи

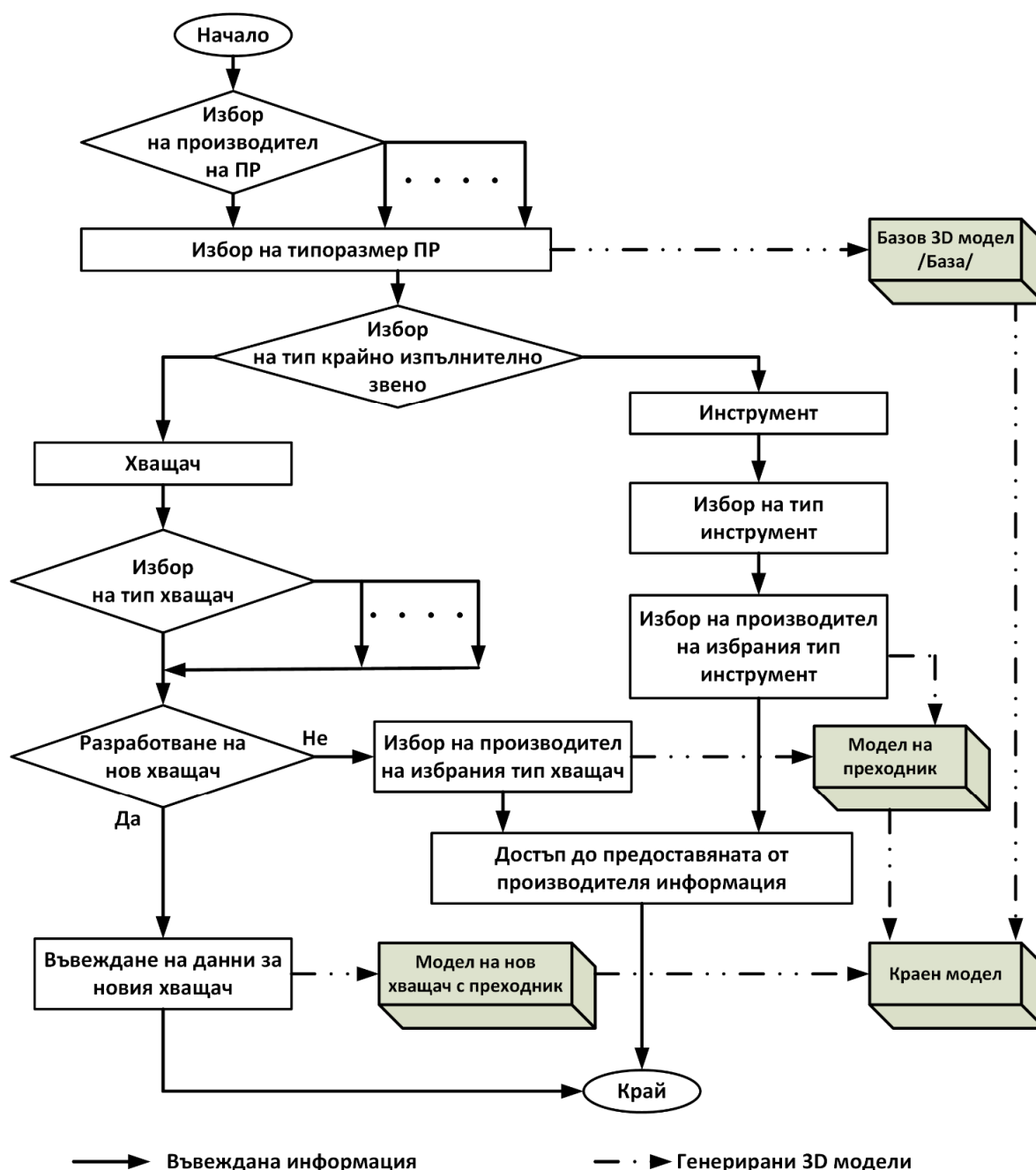
На база на разгледаната в **глава 3** информация, могат да бъдат обобщени следните изводи:

- ☐ CAD системата SolidWorks е избрана като среда за автоматизирано проектиране на крайни изпълнителни звена за ПР.
- ☐ Разгледани са основните характеристики на CAD системата SolidWorks и възможностите за автоматизиране на проектирането при работа с нея.
- ☐ За автоматизиране на работата на CAD системата SolidWorks е избран, подържаният от системата, език за програмиране от високо ниво VBA, който е подходящ за решаване на комплексни задачи.
- ☐ Разгледани са основните елементи на езика за програмиране VBA и структурата на създаваните с него програми.
- ☐ Разработена е методика за създаване на макроси с използване на API и VBA в средата на SolidWorks.
- ☐ Дадени са препоръки за работа при използване на създадената методика.
- ☐ Разработената методика, може да се използва при работа с различни CAD системи и програмни езици, като се отчитат техните функционални особености.

ГЛАВА 4. АВТОМАТИЗИРАНЕ ПРОЕКТИРАНЕТО НА КРАЙНИ ИЗПЪЛНИТЕЛНИ ЗВЕНА ЗА ПРОМИШЛЕНИ РОБОТИ В СРЕДАТА НА CAD СИСТЕМАТА SOLIDWORKS

4.1. Алгоритъм за създаване на 3D модели на крайни изпълнителни звена за промишлени роботи

За постигане на преследваните с настоящата работа цели, е разработен показания на фиг. 4.1 алгоритъм. Той описва последователност от стъпки за създаване на крайни изпълнителни звена за ПР.



Фиг.4.1 Алгоритъм за създаване на 3D модели на КИЗ за ПР

Основните етапи, необходими за проектиране на крайното изпълнително звено, описани в алгоритъма са [10]: избор на производител и типоразмер промишлен робот, избор на типа на крайното изпълнително устройство.

Освен избор на вече съществуващ, създаденият алгоритъм предлага и възможност за създаването на нов хващач от избрания тип. При избиране на тази опция на следващия етап трябва да се въведат параметрите, които ще се използват за генериране на 3D модела на хващача. За всеки тип хващач, параметрите са различни, като те се определят съгласно разгледаните в **глава 2** методики за изчисляването на различните типове хващачи.

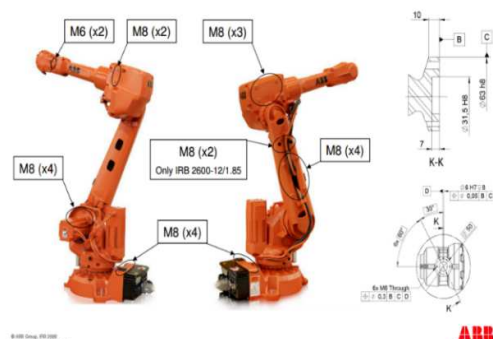
4.2. Макрос за автоматизиране на проектирането

Изпълнението на стъпките описани в създадения алгоритъм, ще бъде автоматизирано, чрез създаване на макрос работещ в средата на избраната в **глава 3** CAD системата SolidWorks. Показано е създаването на нов бутон в системата, от който той ще бъде стартиран, както и нужните допълнителни настройки.

4.3. Автоматизиране проектирането на базовия 3D модел

Предлаганият в тази работа подход за автоматизиране генерирането на 3D модели на присъединителните повърхнини на ПР (базов 3D модел), използва възможността задаването в процеса на работа размери и ограничения да се управляват с помощта на математически изчисления, логически функции и таблични данни. Той включва следните стъпки: анализ на изходните данни (фиг. 4.4), подготовка на табличните данни (фиг. 4.7), генериране на конфигурациите (фиг. 4.8).

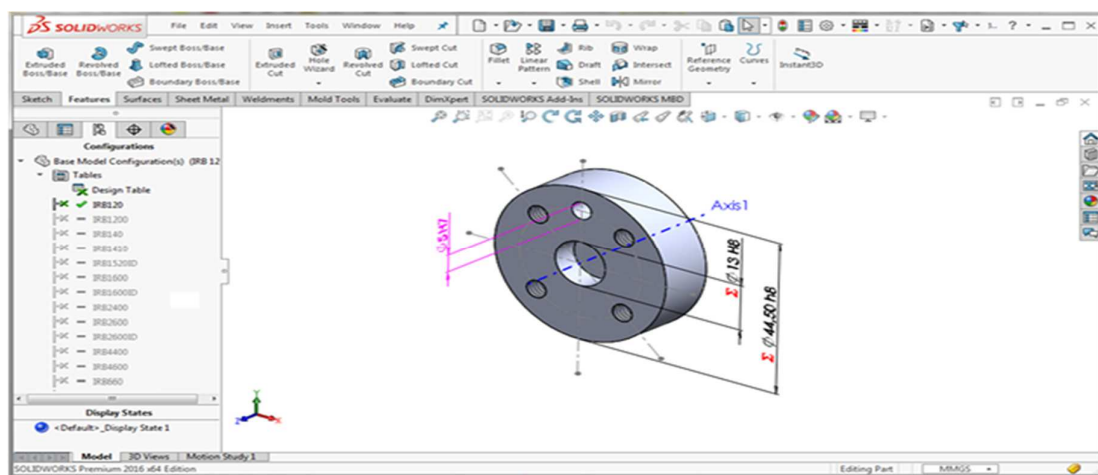
Easy to integrate
Mechanical mounting interfaces



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Design Table for: Base Model										
2			D1@Sketch1	D2@Sketch1	D3@CrvPattern1	D1@CrvPattern1	Hole Dia.@Sketch4	Hole Depth@Sketch4	D2@Hole Thread1	D1@Hole Thread1	Tap Drill Depth@Sketch7
3			50	30	360	6	6	8	6	12	15
4	IRB 2600	31,50	45	360			5	7	5	6	8

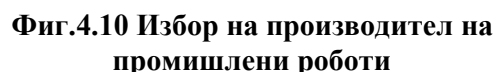
Фиг.4.7 Дизайн таблица

Фиг.4.4 Техническа документация за ПР



**Фиг.4.8 Разработен 3D модел на присъединителните повърхнини за
ПР IRB120 на фирмата ABB Robotics**

След създаването на нужните конфигурации на 3D моделите на избрани производители на ПР, отговарящи на съответни типоразмери, те могат да бъдат използвани от макро файла. Стартирането на файла става от описаният бутон за бърз достъп. Това показва на потребителя прозореца на фиг. 4.10.



При избор на производител, в паметта на SolidWorks се зарежда съответният модел. След това трябва да бъде посочена конфигурация на модела, която съответства на типоразмер ПР. Като резултат от тези стъпки базовият модел е генериран в SolidWorks. На фиг. 4.15 са показани две конфигурации, съпоставени с техните чертежи.

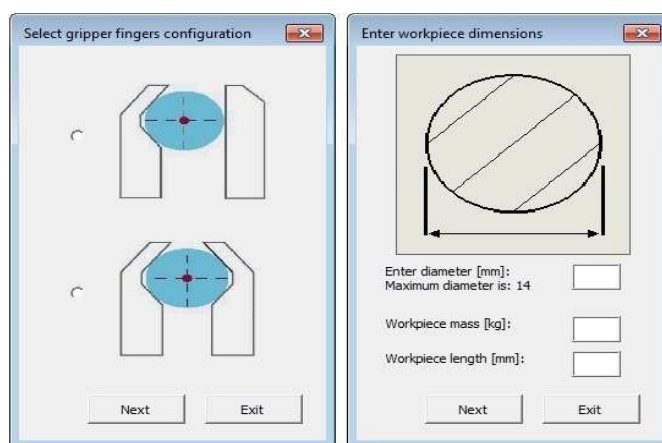


4.4. Автоматизиране проектирането на механични хващачи

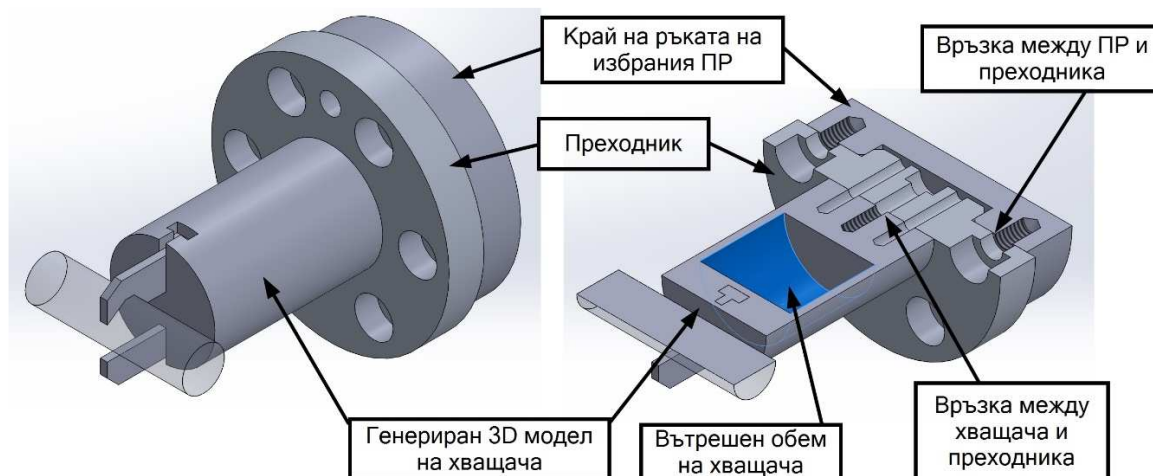
След генерирането на базовия модел трябва да бъде избран типа на крайното изпълнително устройство. При избор на хващач трябва да се посочи типа на хващача, като възможностите са механичен, вакуумен, магнитен или електро-статичен.

При посочване на механичен хващач трябва да се посочи конфигурацията на пръстите на хващача. На този прозорец се представя избор – за създаването на нов хващач или за използването на вече съществуващ, като то може да бъде избран от предварително избрани производители на хващачи за ПР. След избор на съществуващ трябва да бъде избран производител, като макро файла ще предостави бърза връзка към онлайн базата данни на избрания производител. В системата ще бъде създадена сглобка между базовия модел и модел на преходник, чрез който се цели да се улесни монтажа на хващача към ПР.

При избор на създаване на нов хващач, на следваща стъпка трябва да се посочи формата на напречното сечение на детайла (фиг. 4.25). След това трябва да се въведат размерите и масата му. При потвърждаване на въведените данни, макро файла автоматично създава модела на новия механичен хващач (фиг. 4.28).



Фиг.4.25 Диалогови прозорци при избор на напречно сечение окръжност



Фиг.4.28 3D модел на новосъздаден механичен хващач

Макросът извършва автоматична проверка на размерите и ориентацията на отделните компоненти и осигурява съвпадане на присъединителните им повърхнини, гарантиращо възможността за тяхното сглобяване. Базовият

модел на проектираният хващач е съобразен с въведените от потребителя данни за формата и размерите на манипулирания детайл.

Възможно е и създаването на механичен челюстен хващач с два захващащи механизма, като това се извършва автоматично при въвеждането на дължина на детайла, по-голяма от диаметъра на преходника плюс определена стойност.

4.5. Автоматизиране проектирането на вакуумни хващачи

При създаването на нов вакуумен хващач, след избора за това, трябва да се посочи формата на вакуумните вендузи, които ще бъдат използвани. В този диалогов прозорец трябва да се въведе и силата на вакуума, с която те ще действат на детайла.

В следващия диалогов прозорец (фиг. 4.31) трябва да се въведат основните данни за изчисленията за новия вакуумен хващач. Нужните данни са маса, дължина и ширина на манипулирания от ПР обекта и диаметър на основата на хващача, на която ще бъде поставена рамка, към която ще бъдат свързани отделните вакуумни вендузи.

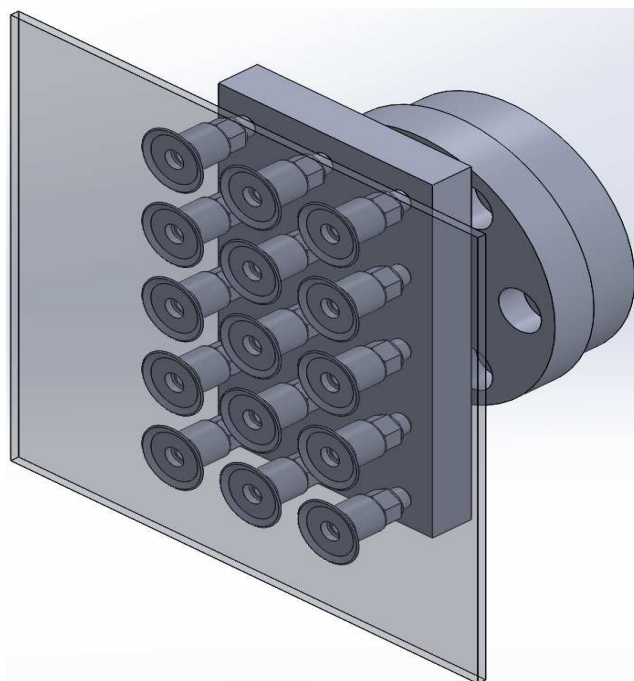
На базата на въведените данни, макро файлът представя списък с различните конфигурации за разположението на вакуумните вендузи в малкия прозорец. За да продължи работата си макро файла, една от тях трябва да бъде посочена.

Като последна стъпка от създаването на вакуумен хващач, от потребителя се изисква да потвърди въведените данни (фиг. 4.33).

Фиг.4.31 Прозорец за въвеждане на данни за изчисления за вакуумен хващач

Фиг.4.33 Обобщена информация за нов вакуумен хващач

При потвърждение, макро файлът започва работата си и като краен резултат се създава хващач с вакуумни вендузи, разположени по избраната конфигурация (фиг. 4.34).



Фиг.4.34 3D модел на новосъздаден вакуумен хващач

4.6. Автоматизиране проектирането на магнитни хващачи

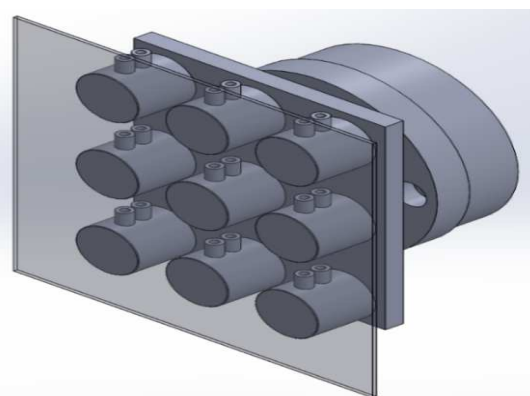
Създаването на нов магнитен хващач следва подобна логика като тази на вакуумен, като има възможност да се избере типа на контактната повърхност на детайла – дали тя да е равнина или част от цилиндър (фиг. 4.36).



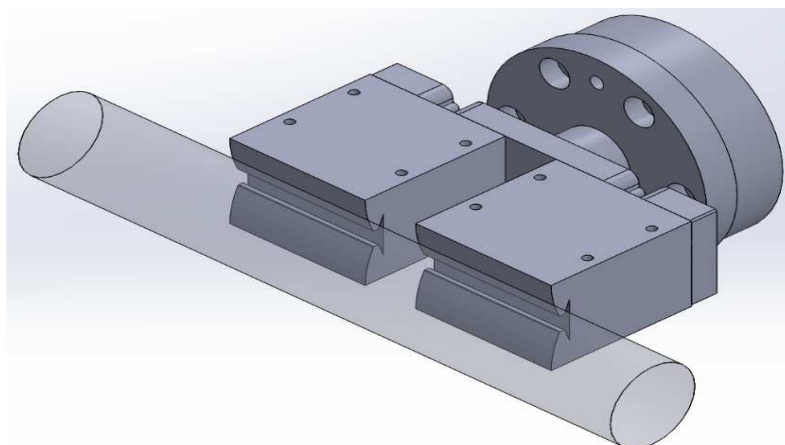
Фиг.4.36 Възможни типове контактна повърхност

При избор на контактна повърхнина равнина, следващите прозорци са конфигурирани по същия начин като при създаването на вакуумен хващач. При избор на цилиндрична контактна повърхност трябва да се въведат само дължината на детайла и радиуса на окръжността.

След въвеждане на стойности и потвърждаването им се създава нов хващач според избраната контактна повърхност (фиг. 4.39), (фиг. 4.40).



Фиг.4.39 3D модел на новосъздаден магнитен хващач за равнинен детайл

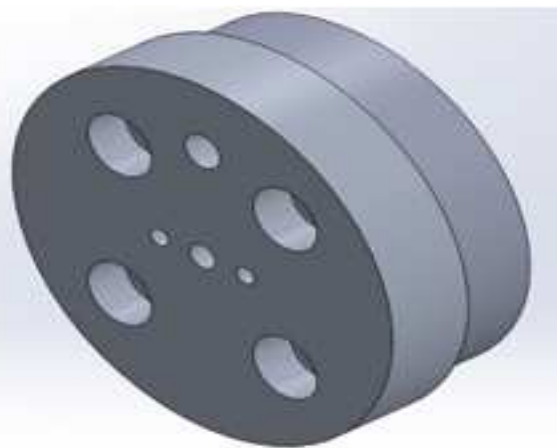


Фиг.4.40 3D модел на новосъздаден магнитен хващач за детайл цилиндър

4.7. Автоматизиране избора на инструменти за ПР

Освен създаването на нови хващачи, макро файлът дава възможност и за избор инструменти чрез осигуряване на бърза връзка към базите данни на производителите на инструменти. За тази цел, на диалоговия прозорец за избор на типа на крайното изпълнително звено трябва да се избере то да бъде инструмент.

След това трябва да бъде направен избор от един от производителите чрез конфигурираните бутони за тази цел. Като резултат от работата на макро файла в SolidWorks се създава сглобка на присъединителните повърхнини на избрания типоразмер ПР и вече споменатата преходна пластина или преходник, който може да бъде променян за осигуряване сглобката между ПР и инструмента (фиг. 4.43). Освен това, чрез кода на макро файла, се стартира интернет браузър по подразбиране на операционната система, който осигурява достъпа до интернет страницата на избрания производител, където 3D моделът на инструмента може да бъде намерен.



Фиг.4.43 3D модел на сглобката

Определени са изискванията за правилната работа на създаденият макро файл.

4.8. Изводи

Решенията в глава 4 задачи са:

- ☐ Разработен е алгоритъм за създаване на 3D модели на крайни изпълнителни звена за промишлени работи.
- ☐ Разработеният алгоритъм е използван при създаването на макрос за

автоматизиране проектирането на крайни изпълнителни звена за ПР, работещ в средата на CAD системата SolidWorks.

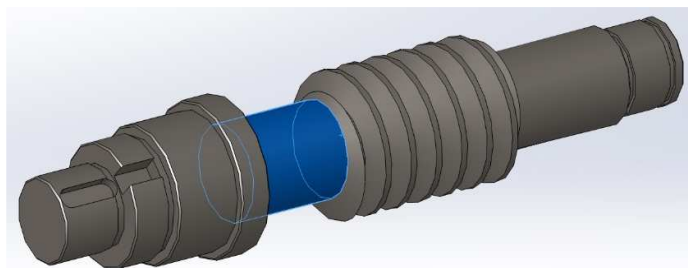
- ❑ Разработен е подход за автоматизиране генерирането на 3D модели на присъединителните повърхнини на ПР, които е приложен при създаването на макроса.
- ❑ Анализирана е достъпната информация за присъединителните повърхнини на ПР произвеждани от фирмите ABB, FANUC и Kawasaki, като получените данни са използвани при създаването на 3D модели на присъединителните повърхнини, за съответните типоразмери ПР.
- ❑ Създаден е макрос за автоматизиране проектирането на крайни изпълнителни звена за ПР, работещ в средата на CAD системата SolidWorks и е разяснена неговата работа.
- ❑ Дадени са необходимите предпоставки за безпроблемна работа на създадения макрос.
- ❑ Разработеният алгоритъм може да бъде прилаган за автоматизиране работата на различни CAD системи, при създаване на 3D модели на крайни изпълнителни звена за ПР, с използване на различни езици за програмиране.
- ❑ Създаденият макрос може да се използва от всички потребители на CAD системата SolidWorks, при спазване на посочените изисквания.

ГЛАВА 5. ПРОВЕРКА НА РАБОТАТА НА СЪЗДАНИЯ МАКРОС

5.1. Проектиране на механични хващачи

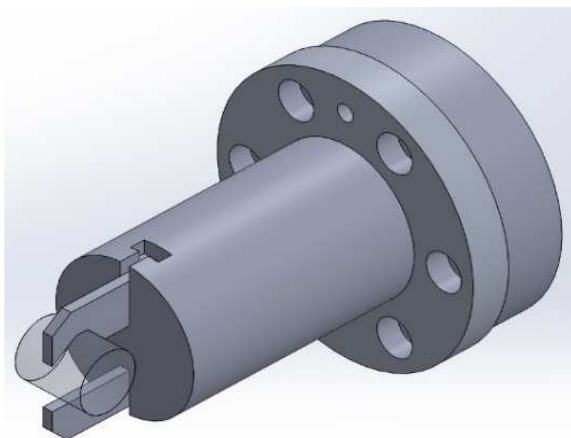
5.1.1. Проектиране на механичен хващач за детайл „Вал за червячно задвижване“

Описани са стъпките за създаването на нов механичен хващач за детайла на фиг. 5.1. Определени са физико-механичните характеристики на модела, след като е избран материал. Масата на детайла, зоната за захващане и нейните характеристики са дефинирани.

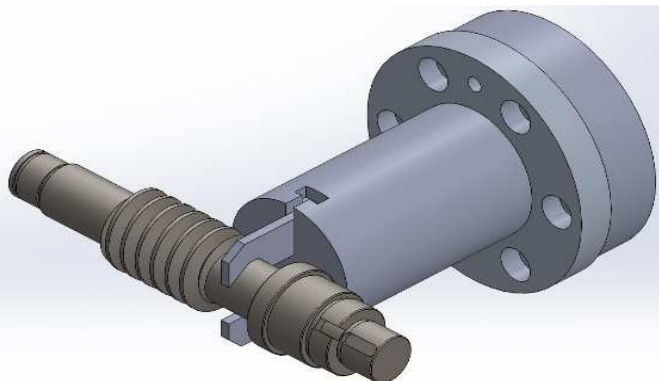


Фиг.5.1 3D модел на вал, за който ще бъде създаден нов механичен хващач

Показани са основните стъпки, през които трябва да се премине – избор на производител на ПР, типоразмер, определяне типа на крайното изпълнително звено като хващач, определяне формата на детайла и конфигурацията на пръстите на хващача, въвеждане на данните на модела на вала, нужни за работата на макро файла, и накрая създаването на готовия модел на нов механичен хващач (фиг. 5.10), (фиг. 5.11).



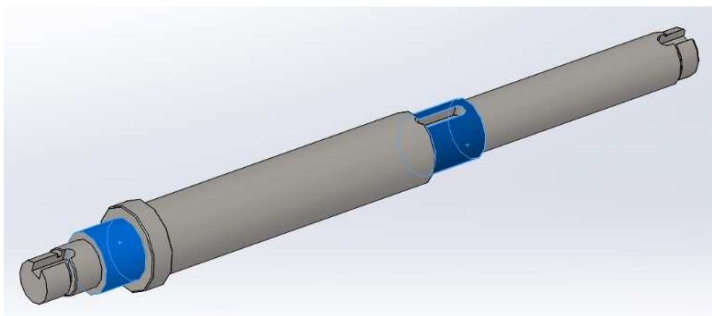
Фиг.5.10 Новосъздаден 3D модел на механичен хващач



Фиг.5.11 Сглобка на новосъздадения механичен хващач и 3D модела на вала

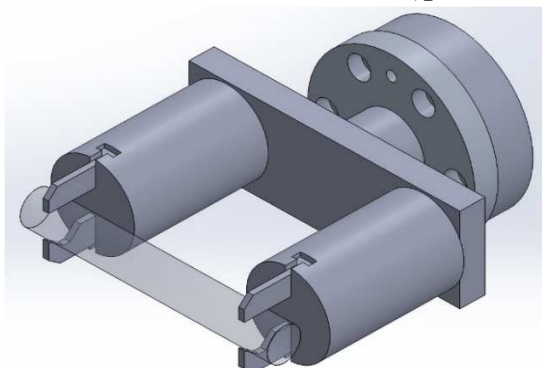
5.1.2. Проектиране на механичен хващач за детайл „Вал“

В тази част е описано създаването на механичен хващач с два захващащи механизма, като това не може да бъде избирано от потребителя – заложено е в логиката на работа на макро файла след въвеждането на дължината на детайла. На фиг. 5.12 е показан детайла „Вал“, за който ще бъде създаден механичен хващач.

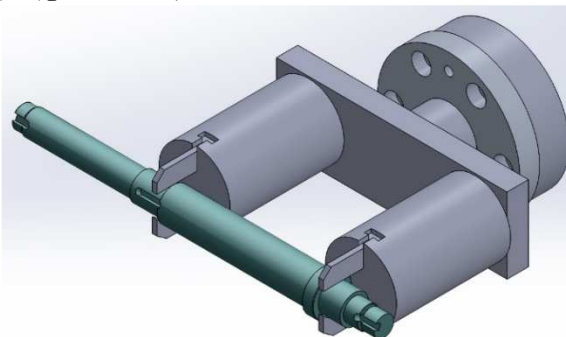


Фиг.5.12 3D модел на вал, за който ще бъде създаден нов механичен хващач с два захващащи механизма

След въвеждането на данните за детайла, следвайки стъпки, аналогични на описаните в предишната част, системата създава нов механичен хващач с два захващащи механизма (фиг. 5.14), (фиг. 5.15).



Фиг.5.14 3D модел на нов механичен хващач с два захващащи механизма



Фиг.5.15 3D сглобка на модела на новосъздадения хващач и вала

5.2. Проектиране на вакуумни хващачи

5.2.1. Проектиране на вакуумен хващач за детайл „Капак на оптично устройство“

Работата на създаденият макрос е проверена при създаване на вакуумен хващач за детайл капак на оптично устройство (фиг. 5.16).

Разгледани са основните стъпки от работата на макроса, започвайки от избора на производител на промишлени роботи и типоразмер робот до въвеждането на размерите и теглото на детайла.

Като първа стъпка е създаден 3D модел на детайла, след това са определени неговата маса и размерите на контактната повърхност, подходяща за вакуумен контакт.

След стартирането на макро файла отново е направен избор за производител и типоразмер ПР, както и за създаване на вакуумен хващач. След това е избрана формата и силата на вакуума на вендузите, които ще се използват.

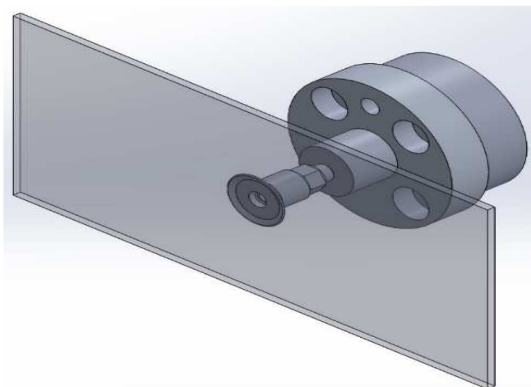
На следващата стъпка трябва да се въведат данните, получени по-рано от 3D модела на детайла. При въвеждането им, макрото калкулира колко от избраните вакуумни вендузи биха били нужни за правилната работа на хващача (фиг. 5.21), и предлага възможни конфигурации за тяхното разположение спрямо въведените по-рано данни.

След избора на конфигурация и потвърждение на въведените данни, макрото създава нов вакуумен хващач за детайла (фиг. 5.23).



Фиг. 5.16 Капак на оптично устройство

Фиг. 5.21 Изчисляване на нужния брой вакуумни вендузи



Фиг.5.23 Новосъздаден 3D модел на вакуумен хващач

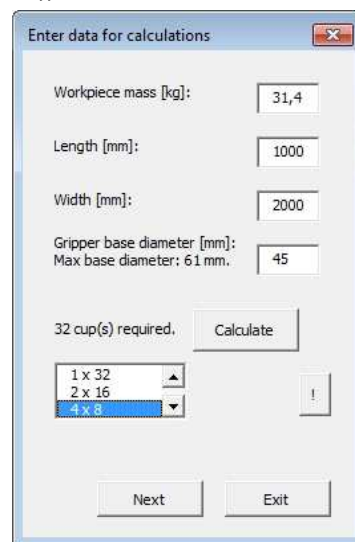
5.2.2. Проектиране на вакуумен хващач за детайл „Стоманен лист“

Като детайл с по-големи размери, за който ще бъде създаден 3D модел на вакуумен хващач, е избран предлаган на пазара промишлен продукт. Това е лист горещо валцувана стомана с дебелина 2 [mm] и размери **1000x2000** [mm] от ХЪС ООД. Според информацията, предоставена от онлайн каталога на компанията, този детайл е с тегло **31,4** [kg].

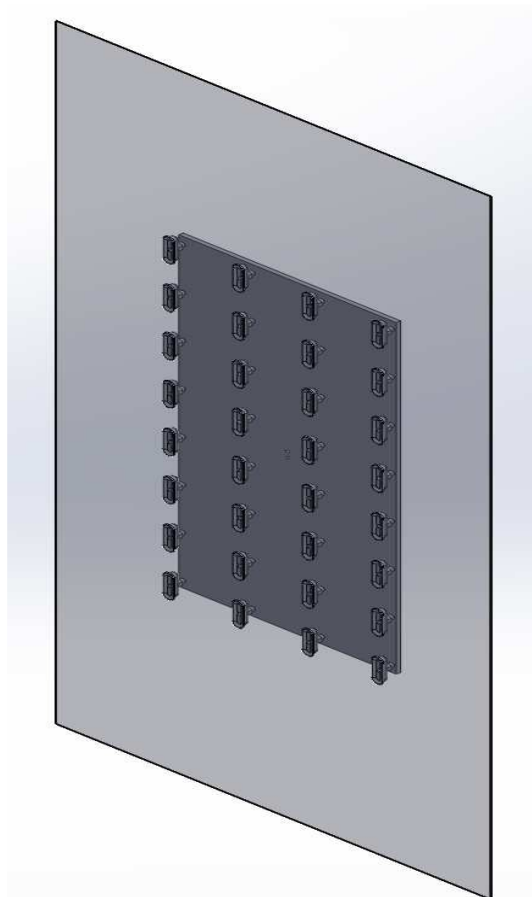
Нужните стъпки са подобни на тези от предишната част, като разликата тук е във формата на избраните вакуумни вендузи – в този случай те ще бъдат с овална форма.

След това отново трябва да се въведат данните за детайла. В резултат на тези данни, макрото изчислява колко вендузи ще са нужни и според размерите на детайла представя възможните конфигурации на тяхното разположение (фиг. 5.28).

След избор на подходяща, макрото създава 3D модел на нов вакуумен хващач за този детайл (фиг. 5.30).



Фиг.5.28 Изчисляване на
нужния брой вакуумни вендузи



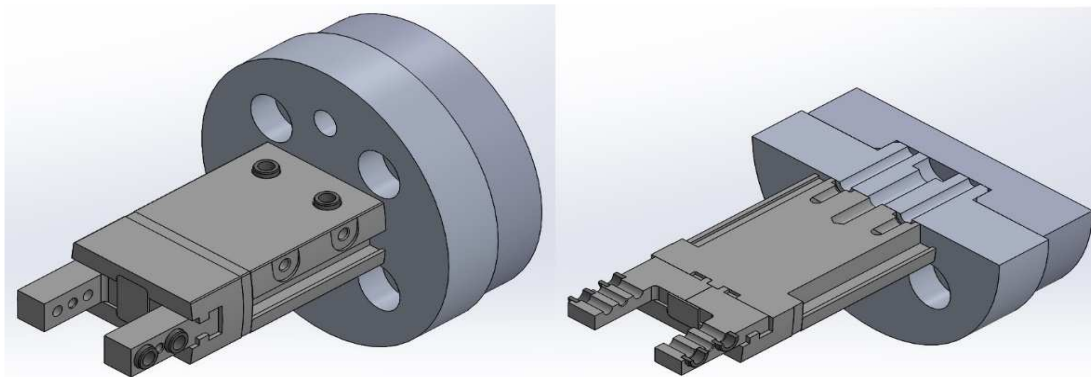
Фиг.5.30 Новосъздаден 3D модел на вакуумен хващач за детайл „Стоманен лист“

5.3. Избор на съществуващ хващач

Макросът може да бъде използван и за създаване на сглобки между съединителните повърхнини на съществуващите типоразмери ПР, създадени за работата му, и 3D модели на различни вече съществуващи хващачи, които могат да бъдат намерени във web-базираните продуктови каталози на техните производители.

Стъпките за това са подобни на тези при създаването на нов хващач. Отново трябва да се избере производител на ПР, типоразмер и тип на крайното изпълнително устройство и производител на избрания тип инструмент от предварително конфигурирани бутони.

В долната част на следващият прозорец се намира бутон, чрез който може да се отвори интернет адреса на базата данни на избрания производител на ПР. След като 3D моделът му бъде свален от сайта, може да бъде ръчно добавен към вече създадената сглобка на присъединителните повърхнини на избрания типоразмер ПР и преходната пластина (фиг. 5.36).

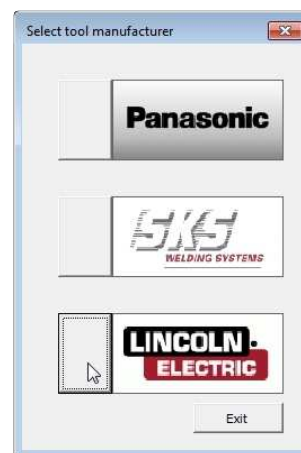


Фиг.5.36 3D модел на хващача добавен към съществуващата сглобка

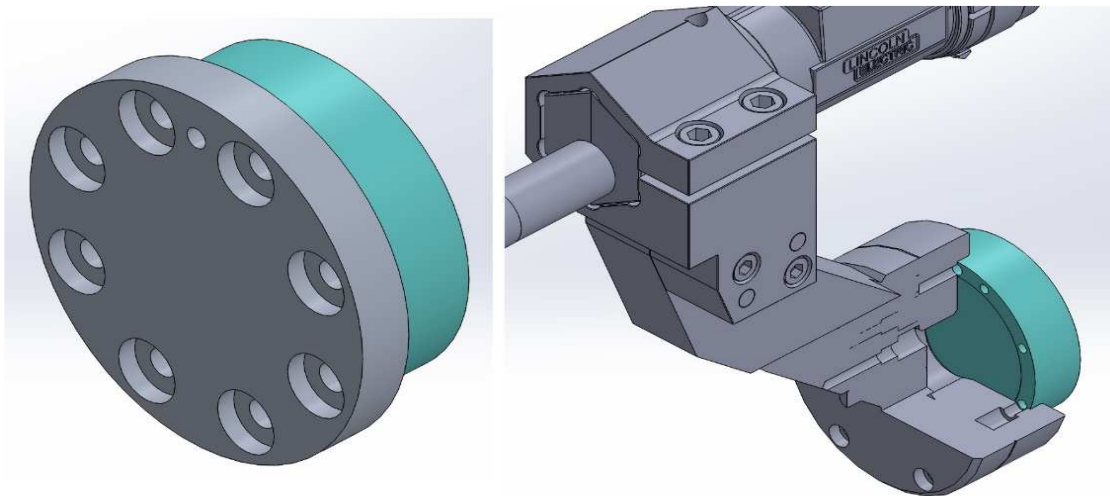
5.4. Избор на инструмент за промишлен робот

Подобно на избора на съществуващи механични хващачи, макроса може да се използва и за избор на инструменти. След избора на типа инструмент, трябва да бъде посочен производител от предварително конфигурирани за тази цел бутони (фиг. 5.38).

На следващата стъпка се представя обобщение на досега направените избори за производител и типоразмер ПР. Чрез бутона в долната част на диалоговия прозорец отново се осигурява достъп до онлайн базата данни на избрания производител, Lincoln Electric, откъдето е свален 3D моделът на инструмент, в този случай заваръчен пистолет. След това той е добавен към създадената в SolidWorks сглобка (фиг. 5.41).



Фиг.5.38 Избор на производител на инструменти



а/Резултат от работата на макро файла б/Добавяне на 3D модел на заваръчен пистолет
Фиг.5.41 Избор на заваръчен пистолет
Magnum PRO Robotic 550 Welding Gun, External Dress - K2647-4

5.5. Изводи

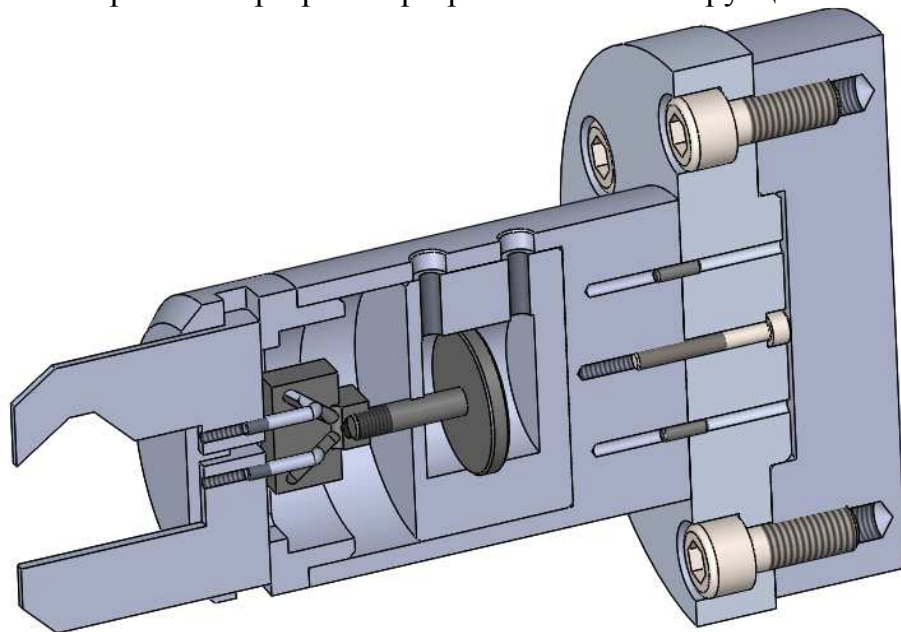
Направените в **глава 5** разглеждания позволяват да се направят следните изводи:

- ☐ Извършена е проверка на работоспособността на разработения макрос файл, при различни входните данни за:
 - проектиране на нови механични хващачи;
 - проектиране на нови вакуумни хващачи;
 - избор на съществуващ хващач;
 - избор на съществуващ инструмент за ПР.
- ☐ В извършените проверки са използвани създадените бази данни с присъединителни размери на различни типоразмери ПР на фирмите ABB, Kawasaki Robotics и Fanuc.
- ☐ Извършените проверки доказват работоспособността на създадения макрос.
- ☐ В макроса са заложили вътрешни проверки, целящи да предотвратят несъответствия между параметрите на избрания ПР, избраното крайно изпълнително звено и детайла, с който ще работи ПР.
- ☐ Макросът позволява коригиране на въвежданите от потребителя данни, при откриване на несъответствие, в резултат на извършваните вътрешни проверки.
- ☐ Създаденият макрос, позволява да се автоматизират отделни етапи от разработването на нови и избора на съществуващи крайни изпълнителни звена за ПР в средата на CAD системата SolidWorks.

ГЛАВА 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА ФУНКЦИОНАЛНОСТТА НА СЪЗДАДЕНИТЕ 3D МОДЕЛИ НА КРАЙНИ ИЗПЪЛНИТЕЛНИ ЗВЕНА

6.1. Използване на създадените 3D модели за доразвиване на конструкцията

За демонстриране на възможностите за доразвиване конструкцията на генерираните с макроса 3D модели, е използван проектираният в **точка 5.1.1** механичен хващач за детайл „Вал за червячно задвижване“ (фиг. 5.11). На фиг. 6.2 е показан вертикален разрез на разработената конструкция.



Фиг.6.2 Вертикален разрез на разработения хващач присъединен към ПР

6.2. Използване на създадените 3D модели за инженерни анализи

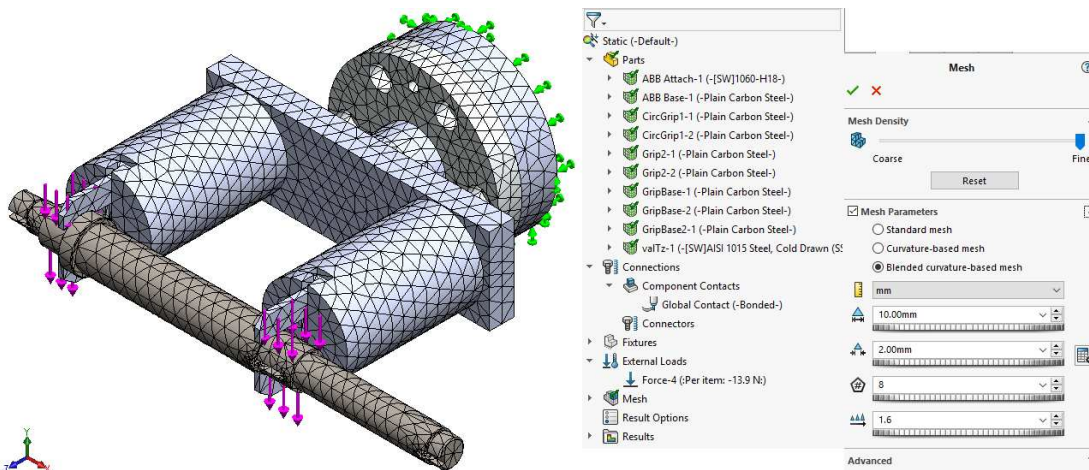
6.2.1. Статични анализи

Възможностите за извършване на различни статични анализи са демонстрирани с използване на 3D модела на механичен хващач за детайл „Вал“ точка 5.1.2 (фиг. 5.15).

На фиг. 6.5 е изобразен изчислителният модел, който е използван в анализ и условията на анализа. Изчислителният модел включва: създадения с макроса 3D модел на хващача; 3D модел на манипулирания детайл; наложените ограничения; натоварвания и генерираната мрежа от крайни елементи.

В таб.6.1 е дадено сравнение на аналитично определената необходима затягаща сила съгласно методиката показна на фиг. 2.14 и определените с помощта на извършения анализ сили в пръстите на хващача.

Както се вижда от данните в таб.6.1 разликата при определените по двата метода сили (при действие на теглото по ос **Z**) е под **12%**, което е допустимо то инженерна гледна точка.



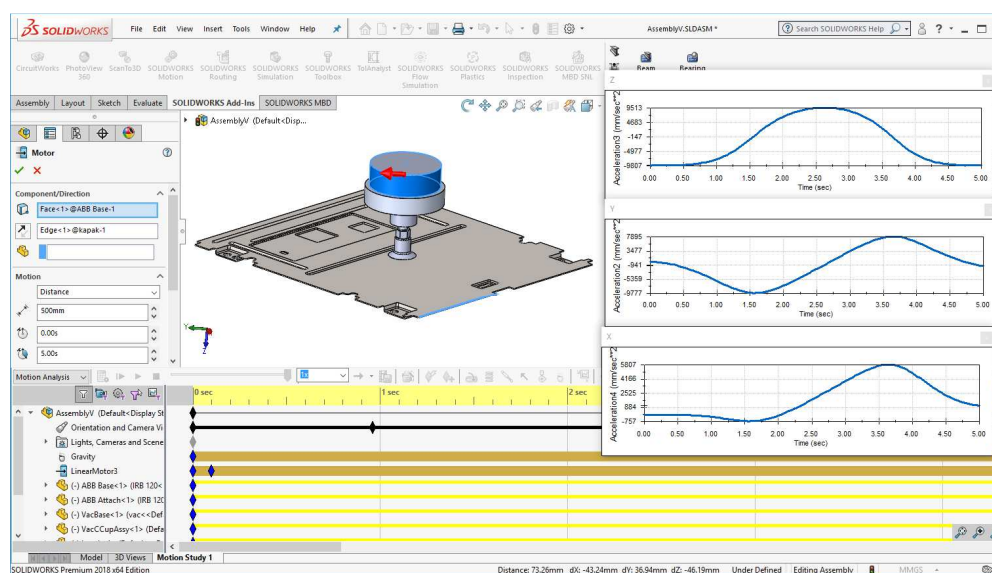
Фиг.6.5 Изчислителен модел използващ генерирания с макроса 3D модел на хващач

Таб.6.1 Сравнение на получените резултати

Аналитично определена сила при действие на тежестта по ос Z [N]	Получени от анализа сили при действие на теглото по ос Z в [N]		Получени от анализа сили при действие на теглото по ос X в [N]		Получени от анализа сили при действие на теглото по ос Y в [N]	
	Десен механизъм	Ляв механизъм	Десен механизъм	Ляв механизъм	Десен механизъм	Ляв механизъм
9,6	4,24	4,21	3,54	2,41	3,76	3,3
	8,45		5,95		7,06	

6.2.2. Кинематични анализи

Възможностите за извършване на кинематични анализи, с използване на генерираните чрез макроса крайни изпълнителни звена, е демонстрирана с използването на SolidWorks Motion. За кинематичния анализ е използван генерирания в точка 5.2.1 3D модел на вакуумен хващач за детайл „Капак на оптично устройство“.



Фиг.6.16 Получени резултати от кинематичния анализ на вакуумен хващач
Извършен е кинематичен анализ при придвижване на детайл „Капак на

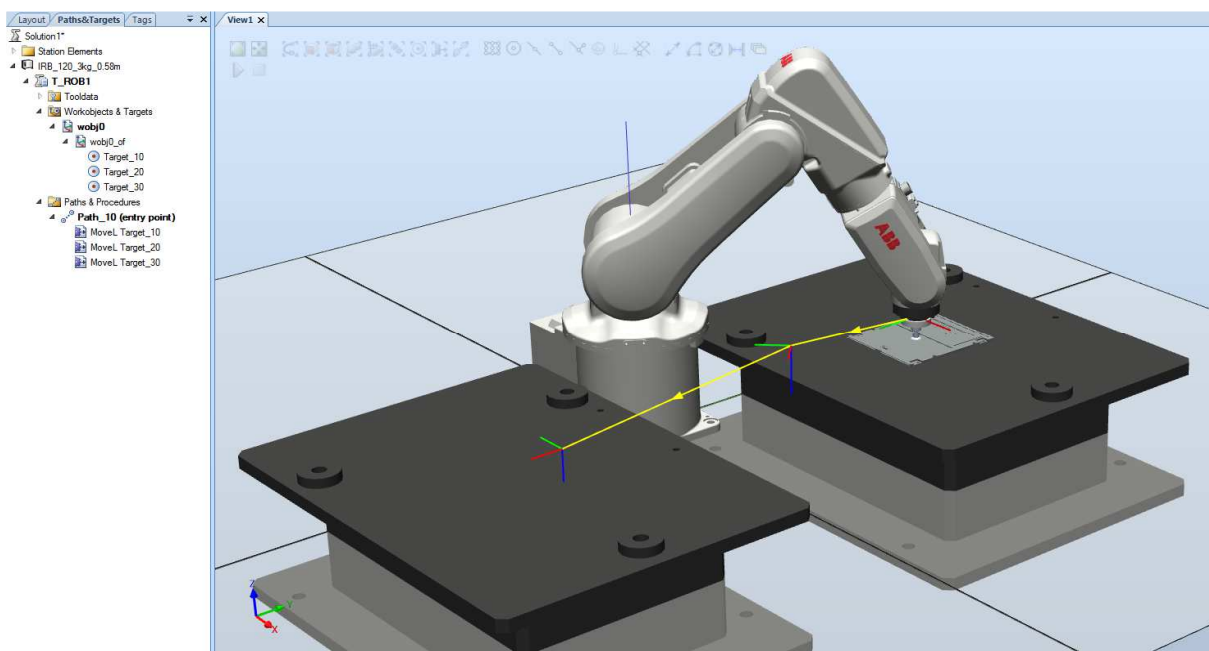
оптично устройство“, със създадения вакуумен хващач при преместване на разстояние **500 [mm]**, по ос **Y**, за време **5 [s]**.

На фиг. 6.16 са показани графиките на получаваните ускорения в направление на трите координатни оси, получени в резултат на извършения анализ.

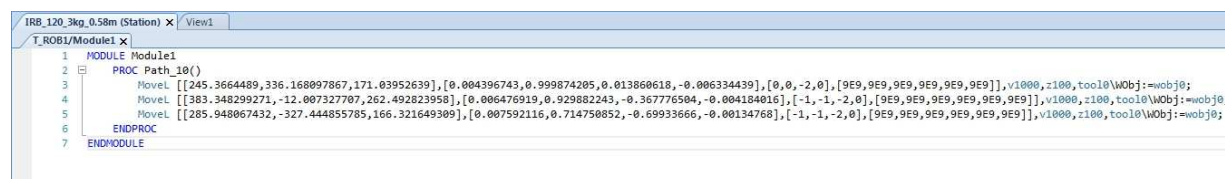
6.3. Използване на новосъздадените 3D модели за off-line програмиране

Разработените с помощта на макроса 3D модели на крайни изпълнителни звена, могат да бъдат използвани директно за off-line програмиране на ПР с използване на специализиран софтуер.

На фиг. 6.21 е показана симулация на преместването на детайл „Капак на оптично устройство“ чрез генерирания с макроса 3D модел на вакуумен хващач и ПР IRB 120 на фирмата ABB. На фиг. 6.22 е показан част от генерирания код за управление на ПР.



Фиг.6.21 Симулация на движението на ПР IRB 120 в RobotStudio на ABB



Фиг.6.22 Код за управление на ПР IRB 120 генериран от RobotStudio на ABB

Използването в този процес на създадения с макроса 3D модел на крайното изпълнително звено увеличава значително нивото на реализъм на симулацията, използвана в процеса на програмиране и предотвратява възникване на колизии със заобикалящото ПР оборудване, при реалното изпълнение на програмата.

6.4. Изводи

Описаните в **глава 6** разглеждания позволяват да се направят следните изводи:

- ☐ Съдържащата се в генерирания с макроса, 3D модел на ново крайно изпълнително звено информация позволява да се продължи разработването на конструкцията му, като осигурява безпроблемното му присъединяване към избрания ПР.
- ☐ Изяснена е последователността на присъединяване на разработените с макроса крайни изпълнителни звена към избраните ПР.
- ☐ Създадените с макроса 3D модели на крайни изпълнителни звена могат да се използват директно в различни инженерни анализи и симулации.
- ☐ Получените с използването на разработените 3D модели данни от статичните и кинематични анализи, са съпоставими с аналитично определяните чрез съществуващите методики за проектиране на крайни изпълнителни звена.
- ☐ Определените при статичните анализи сили могат да се използват за пресмятане на необходимите сили за удържане на манипулираните обекти при разработването на нови хващачи.
- ☐ Използването на създадените с макроса 3D модели на крайни изпълнителни звена при програмиране на ПР с използване на специализиран софтуер, увеличава значително нивото на реализъм на симулацията, използвана в процеса на програмиране и предотвратява възникване на колизии със заобикалящото ПР оборудване, при реалното изпълнение на програмата.
- ☐ Създадените с макрос 3D модели на крайни изпълнителни звена намират приложение като: база за разработване на окончателната конструкция; база за разработване на изчислителни модели при различни инженерни анализи и при off-line програмиране на ПР.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси

- Разработена е класификация на крайните изпълнителни звена за ПР, в която са отчетени: областите на приложението им, методите на въздействие върху манипулираните обекти и техните конструктивни особености.
- Разработена е методика за създаване на макроси с използване на API и VBA в средата на SolidWorks, която може да се използва при работа с различни CAD системи и програмни езици, като се отчитат техните функционални особености.
- Разработен е алгоритъм за създаване на 3D модели на крайни изпълнителни звена за промишлени роботи, които може да бъде прилаган за автоматизиране работата на различни CAD системи, при създаване на 3D модели на крайни изпълнителни звена за ПР, с използване на различни езици за програмиране.

- Създаден е макрос за автоматизиране проектирането на крайни изпълнителни звена за ПР, работещ в средата на CAD системата SolidWorks.
- Извършен е сравнителен анализ на информацията, получавана с използването на генерираните от макроса 3D модели при различни инженерни анализи, с тази получавана от съществуващите методики.

Приложни приноси

- Разработен е подход за автоматизиране генерирането на 3D модели на присъединителните повърхнини на ПР, който е приложен за ПР произвеждани от фирмите ABB, FANUC и Kawasaki, като събраните и анализирани данни са използвани при създаването на 3D модели на присъединителните повърхнини за съответните типоразмери ПР.
- Извършена е проверка на работоспособността на разработения макрос, при различни входни данни, показваща възможностите му за автоматизиране на отделни етапи от разработването на нови и избора на съществуващи крайни изпълнителни звена за ПР в средата на CAD системата SolidWorks.
- Определени са областите на приложение на създадените с макроса 3D модели на крайни изпълнителни звена, които са: база за разработване на окончателната конструкция; база за разработване на изчислителни модели при различни инженерни анализи и при off-line програмиране на ПР.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Nikolov St., G. Kozlev, An approach for design automation of end-effector connecting surface for industrial robots, CAx Technologies, брой 3 декември 2015 г., ISSN1314-9628, (32-36)
2. Козлев Г., Автоматизиране създаването на 3D модели на крайни изпълнителни звена за индустриални роботи в средата на SolidWorks, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXIV, бр. 14(200), юни 2016 г., ISSN-1310-3946, (193-199)
3. G. Kozlev, Macro for automating the design process of mechanical grippers for industrial robots in cad system SolidWorks, Българско списание за инженерно проектиране, брой 32, април 2017г ТУ-София. ISSN 1313-7530, (21-24)
4. Козлев Г., С. Николов, Автоматизиране създаването на 3D модели на вакуумни хващачи за индустриални роботи в средата на SolidWorks, Научни известия на НТС по Машиностроене, година XXV, бр. 2(217), юни 2017 г., ISSN-1310-3946, (388-393)
5. G. Kozlev, Automating the design process of vacuum and magnetic grippers for industrial robots in cad system SolidWorks, Българско списание за инженерно проектиране, брой 34, ноември 2017г ТУ-София. ISSN 1313-7530, (85-90)

AUTOMATING THE DESIGN PROCESS OF END-EFFECTORS FOR INDUSTRIAL ROBOTS

Abstract

This PhD thesis elaborates on the research and development of a methodology used in the automation of the design process of end-effectors for industrial robots.

The first chapter is a historical overview of the development of industrial robots since the creation of the first robot. The types of industrial robots are classified, based on criteria such as mobility, coordinate system type and execution of their programming. The different areas of their application have been studied along with the benefits their use brings and their main components have been examined. An overview of CAD/CAM/CAE systems has been done, describing their connections. Also, methods for automating CAD systems have been explored.

Based on the examination in the first chapter a classification of end-effectors has been created to structure the work of the automation process. Different types of end-effectors are examined, with a strong focus on mechanical, vacuum and magnetic. An overview of different instrument types has been made with relation to the variety of their applications.

In the third chapter the CAD system SolidWorks is chosen based on the advantages it has with relation to the current task. The main characteristics of the system are reviewed and the ways it can be automated. The programming language VBA is chosen for the automation of SolidWorks and its main components are examined. A methodology for the creation of API macro files is created.

The fourth chapter focuses on a newly created algorithm for the creation of end-effectors for industrial robots in SolidWorks. The prerequisites for the automation are explained and the different processes for the creation of mechanical, vacuum and magnetic grippers are shown step by step.

In the fifth chapter the execution of the newly created automation solution is tested by the creation of new mechanical and vacuum grippers. The steps for the automated choice of existing end-effectors, such as mechanical grippers and instruments, are described as well.

In Chapter 6 the models created in the previous chapter are used in applications such as drive mechanism creation for mechanical grippers, strength analysis in order to check their feasibility by comparing the theoretical calculations to the experimental results, kinematic analysis for the calculation of additional forces during robot movement and off-line programming, using specialized software products.